

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОМЕРЕЖАХ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ТА ДОМОГОСПОДАРСТВ

Андрусенко С.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, sergeandrusenko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-9914-0200

Бугайчук О.С., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, bug_os@ukr.net, orcid.org/0000-0001-8646-6263

Будниченко В.Б., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, budnjb@i.ua, orcid.org/0000-0002-1235-3781

Подписнов В.С., Національний транспортний університет, Київ, Україна, vpodpisnov@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8583-1502

BUSINESS CASE FOR APPLICATION OF ENERGY STORAGE UNITS IN URBAN TRANSPORT AND HOME POWER GRIDS

Andrusenko S.I., Ph.D. in Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, sergeandrusenko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-9914-0200

Buhaichuk O.S., Ph.D. in Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, bug_os@ukr.net, orcid.org/0000-0001-8646-6263

Budnychenko V.B., Ph.D. in Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, budnjb@i.ua, orcid.org/0000-0002-1235-3781

Podpisnov V.S., National Transport University, Kyiv, Ukraine, vpodpisnov@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8583-1502

ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОСЕТЯХ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА И ДОМОХОЗЯЙСТВ

Андрусенко С.И., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, sergeandrusenko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-9914-0200

Бугайчук А.С., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, bug_os@ukr.net, orcid.org/0000-0001-8646-6263

Будниченко В.Б., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, budnjb@i.ua, orcid.org/0000-0002-1235-3781

Подписнов В.С., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, vpodpisnov@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8583-1502

Постановка проблеми.

У повсякденному житті постійно присутня ситуація, коли в кожний момент часу кількість виробленої енергії не співпадає з енергетичною потребою і навпаки. Для розв'язання цієї проблеми та оптимізації енергетичних потоків використовують накопичувачі енергії.

Накопичувачем енергії є пристрій, який може акумулювати енергію в разі наявності її надлишків та віддавати накопичену енергію в разі нестачі її виробництва генеруючими установками.

Цікавим з практичної точки зору може бути використання накопичувача, який заряджається за рахунок дешевої енергії, коли до неї є доступ (вночі), та віддає накопичену енергію у потрібний час (вдень). Розвиток таких технологій може дати значний економічний ефект і має велике практичне значення.

Наприклад, в Україні встановлені двозонні та тризонні тарифи на електроенергію [1, 2]. За двозонного тарифу для підприємств у Києві коефіцієнти вартості електроенергії для споживачів (крім населення) становлять 0,35 у нічний період з 23.00 по 7.00 та 1,35 – у денний період. Вартість електроенергії з ПДВ при цьому складає 229,508 коп/кВт·год для споживачів за II класом напруги (до 27,5 кВ).

Для населення [2] за двозонного тарифу в Україні коефіцієнти вартості електроенергії для побутових споживачів становлять 0,5 у нічний період з 23.00 по 7.00 та 1,0 – у денний період. Вартість електроенергії при цьому дорівнює для споживачів 90/168 коп/кВт·год за використання

відповідно до та понад 100 кВт·год на місяць з 1 травня по 30 вересня та 3000 кВт·год – з 1 жовтня по 30 квітня.

Максимальна експлуатація міського електротранспорту, а також витрати електроенергії в підприємствах, організаціях та домогосподарствах припадають на період доби, коли вартість електроенергії найвища. Для зменшення загальних витрат можна заряджати накопичувачі електроенергії вночі й використовувати накопичену енергію вдень. Тому розробка методики оцінки економічної ефективності використання накопичувачів енергії є важливою задачею.

Аналіз відомих нам публікацій. Дослідженню використання електронакопичувачів присвячена велика кількість робіт. Так, у роботі [3] виконана оцінка меж економічно доцільних капіталовкладень у систему накопичення електроенергії, призначену для вирівнювання добового графіку навантаження. На основі порівняння питомих вартостей виготовлення накопичувачів, робиться висновок про перспективність такої технології.

У роботі [4] проаналізована система електропостачання, віддалена від високовольтної енергосистеми. Такі системи зазвичай живляться від автономної електростанції з двома дизель-генераторами, які працюють по черзі. Розглянуті шляхи зменшення витрат дизельного палива. Автори стверджують, що використання поновлюваних джерел і накопичувачів енергії дозволяє знизити вартість 1 кВт·год електроенергії – на 60-80%. У роботі [5] розглянуті питання підвищення ефективності гірничого локомотивного електротранспорту використанням різних типів пристроїв зберігання енергії. Показано, що застосування накопичувачів дозволить зменшити витрати енергії, підвищити стабільність та надійність систем енергопостачання. Робота [6] присвячена розв'язанню проблеми вибору раціонального складу обладнання для живлення комплексу децентралізованого електропостачання споживачів. Основним критерієм оптимальності пропонується обрати чистий дисконтований дохід. У роботі [7] використовується оцінка ефективності постачання електричної енергії від мікрогідроелектростанцій, яка базується на собівартості виробництва електроенергії, але рівняння цільової функції не наводиться. В [8] досліджується ефективність пристроїв зберігання енергії для забезпечення розподілу електроенергії до споживачів, які вимагають безперервного живлення. Використовуються такі показники, як вартість електричної енергії та надійність електропостачання. В [9] показані результати розроблення моделі оптимального керування потужністю та програмне забезпечення, що дозволяє управляти електричною системою в реальному часі. Як параметри оптимального управління використовуються ефективність системи та її швидкодія. В [10] запропоновано використання для оцінювання пристроїв для зберігання електроенергії такі показники, як «питомі енергетичні та потужнісні витрати». Але, на наш погляд, рівняння для визначення цих показників, що наводяться в роботі, не відповідають визначенню.

Аналіз робіт показав, що в більшості досліджень проводяться розрахунки параметрів економічної ефективності окремих технічних рішень, але не пропонується зручний і простий критерій, який би наочно характеризував економічну доцільність реалізації конкретних схем використання електричних накопичувачів енергії для транспорту та домогосподарств з точки зору споживача електроенергії.

Метою даного дослідження є розробка методики та критеріїв визначення економічної доцільності використання накопичувачів електричної енергії в системах живлення муніципального електротранспорту або окремих домогосподарств за умови використання двозонних і трizonних тарифів на електроенергію.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Схема системи живлення споживачів електроенергії (міського електротранспорту або домогосподарств) від джерел енергопостачання різної вартості з використанням накопичувачів електроенергії наведена на рисунку 1.

Відповідно до рисунку 1, кінцевий споживач енергії (електротранспорт, домогосподарство) живиться від двох джерел електричної енергії (стаціонарна електрична мережа з вартістю енергії T_d , грн/кВт·год, та додаткове джерело електроенергії – як-от, наприклад, вітрова установка або сонячні батареї з вартістю електроенергії T_n , грн/кВт·год) чи одного джерела електроенергії з різною вартістю T_d у денний та T_n у нічний час.

Розглянемо більш детально останній випадок. Оскільки режими споживання та генерації електроенергії у денний та нічний час не співпадають, використовується накопичувач електроенергії, який акумулює енергію, вироблену за дешевим тарифом T_n у нічний час, та віддає її споживачам у денний час.

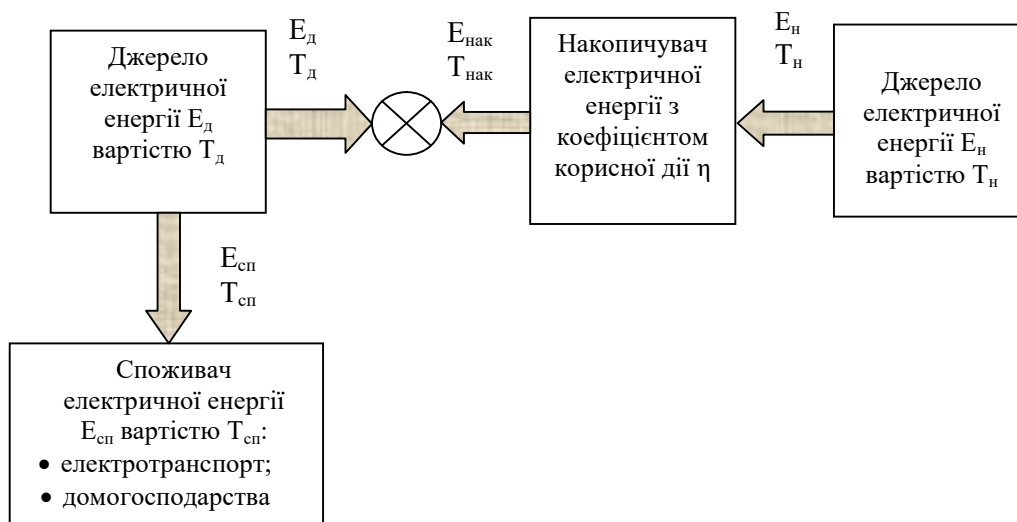


Рисунок 1 – Схема системи живлення споживачів електроенергії від джерел енергопостачання різної вартості з використанням накопичувачів електроенергії

Figure 1 – The scheme of energy consumption when using different sources of energy supply equipped with energy storage units

Кількість енергії, що отримує споживач, дорівнює сумі потоків електроенергії від мережі E_d та енергії від накопичувача E_n :

$$E_{сп} = E_d + E_n. \quad (1)$$

Вартість електроенергії для споживача складе

$$BE_{сп} = BE_d + BE_n + BE_{нак}, \quad (2)$$

де $BE_{сп}$, BE_d , BE_n , $BE_{нак}$ – відповідно вартість електроенергії для споживача, вартості енергії, отриманої від стаціонарного джерела, за денним тарифом і за нічним тарифом, а також вартість енергії, що надається накопичувачем.

Вартість спожитої енергії BE визначається як добуток вартості одиниці кількості електроенергії (тарифу) T на її кількість E :

$$BE = E \cdot T. \quad (3)$$

Виходячи з цього, рівняння (2) матиме вигляд

$$BE_{сп} = T_d \cdot E_d + T_n \cdot E_n + T_{нак} \cdot E_{нак}, \quad (4)$$

де T_d , T_n , $T_{нак}$ – відповідно денний і нічний тарифи електропостачання та питома вартість (тариф) електроенергії, отриманої від накопичувача.

Виходячи зі схеми потоків енергії (рисунок 1), можна пов'язати кількість енергії, спожитої накопичувачем під час заряджання за нічним тарифом, з кількістю енергії, відданої накопичувачем, рівнянням

$$E_{нак} = E_n \cdot \eta \text{ або } E_n = E_{нак} / \eta, \quad (5)$$

де η – коефіцієнт корисної дії накопичувача.

Також можна записати, що

$$E_d = E_{сп} - E_{нак}. \quad (6)$$

Підставимо рівняння (5) і (6) у рівняння (4) і після перетворень отримаємо питому вартість електроенергії (або тариф) у споживача $T_{сп}$:

$$T_{сп} = T_d - (T_d - T_{нак} - T_n/\eta) \cdot E_{нак}/E_{сп}. \quad (7)$$

Із цього рівняння можна зробити висновок, що для того, щоб тариф за схемою з накопичувачем був менший за денний тариф на електроенергію $T_{сп} < T_d$, необхідно виконання умови

$$(T_d - T_{нак} - T_n/\eta) \cdot E_{нак}/E_{сп} > 0, \text{ тобто } T_d > T_{нак} + T_n/\eta. \quad (8)$$

Важливим є визначення величини питомої вартості електроенергії, отриманої від накопичувача $T_{нак}$. Вона залежить від вартості накопичувача, його монтажу та експлуатації, ефективності накопичувача $B_{нак}$, а також від терміну служби. Ця величина може бути визначена за рівнянням

$$T_{нак} = B_{нак}/(E_{нак} \cdot C), \quad (9)$$

де $B_{нак}$ – вартість накопичувача, його монтажу та експлуатації протягом життєвого циклу;

$E_{нак}$ – корисна ємність накопичувача в одному циклі;

C – термін роботи (число циклів заряджання-розряджання).

У разі використання тризонного тарифу на електроенергію за умови, що накопичувач буде заряджатись з урахуванням нічного та напівпікового тарифів, необхідно розрахувати приведений нічний тариф T_n^1 , значення якого використовується замість нічного тарифу T_n у рівняннях (4)–(9):

$$T_n^1 = (T_n \cdot t_n + T_{пп} \cdot t_{пп})/(t_n + t_{пп}), \quad (10)$$

де $T_n, T_{пп}$ – відповідно нічний та напівпіковий тарифи на електроенергію;

$t_n, t_{пп}$ – сумарний час дії нічного та напівпікового тарифів.

Економічний ефект за рік від застосування подібної схеми енергопостачання можна розрахувати за рівнянням

$$\Delta BE_{сп} = (T_d - T_{сп}) \cdot E_{сп, рік}, \quad (11)$$

де $E_{сп, рік}$ – кількість спожитої електроенергії за рік, кВт·год;

T_d – денний тариф на електроенергію, грн/кВт·год;

$T_{сп}$ – питома вартість (тариф) електроенергії у споживача при застосуванні накопичувача, грн/кВт·год.

Вочевидь, економічний ефект від запропонованих заходів має бути позитивним. Це є першою умовою визначення доцільності використання накопичувачів. Другою умовою є достатність цього економічного ефекту для того, щоб термін окупності проекту був прийнятним.

Для розрахунку терміну окупності проекту використаємо метод визначення сподіваної чистої теперішньої вартості проекту (СЧТВ) [11].

Для випадка, коли початкові інвестиції здійснюються протягом одного року, а грошовий потік починає надходити з наступного року, СЧТВ визначається як різниця між сумою теперішніх вартостей майбутніх грошових потоків і сумою інвестицій при реалізації проекту:

$$СЧТВ = \sum_{i=1}^n \frac{p_i \Pi_i}{(1+r)^i} - \Pi, \quad (12)$$

де $\Pi_i = \Delta BE_{сп, i}$ – грошовий потік у i -му періоді, який дорівнює річній економії i -го періоду;

r – безризикова ставка. Може бути прийнята ставка за державними облігаціями в Україні, яка на 2019 рік складала приблизно 18 %;

p_i – коефіцієнт еквівалента впевненості в періоді i (сподівана ймовірність отримання такої економії коштів);

n – кількість років існування проекту;

Π – початкові інвестиції, які дорівнюють вартості накопичувача, інвертора та іншого обладнання, їхньої доставки та монтажу.

Термін окупності проекту – це момент часу, в який величина СЧТВ змінює свій знак з від'ємного на додатний, тобто дорівнює нулю.

Розглянемо ринкову пропозицію обладнання для збереження електричної енергії для промисловості та домогосподарств [12, 13]. Інформацію щодо електронакопичувачів різних виробників для використання у промисловості та в домогосподарствах наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Системи акумулювання електроенергії, наявні на ринку

Table 1 – Energy storage systems available on the market

Марка системи акумулювання електроенергії	Корисна ємність накопичувача в одному циклі, кВт·год	Вартість обладнання, доставки, монтажу, \$/грн	Питома вартість електроенергії від накопичувача, (\$-грн)/кВт·год
Tesla Powerpack	5400,0	3217000/86859000	0,119–3,2
Tesla Powerwall 2	13,5	7000/189000	0,104–2,8
LG Chem RESU	6,5	4500/121000	0,14–3,78
Sunverge	23,0	20000/540000	0,17–4,59
ElectrIQ	10,0	13000/351000	0,26–7,02
Nissan XStorage	4,2	4500/121000	0,21–5,67
Mercedes-Benz	20,0	10000/270000	0,1–2,7
Orison	2,2	1600/43200	0,145–3,92
Sonnen	4,0	5950/160650	0,3–8,1
Powervault c	6,6	3000/81000	0,0909–2,45

Для розрахунків обраний оптимістичний термін роботи системи акумулювання електричної енергії 5000 циклів [3].

Аналіз доцільності використання накопичувачів енергії на міському електротранспорті для заряджання вночі та віддачі енергії вдень виконаємо при двозонному тарифі на електроенергію [1] за таких умов: середньодобовий пробіг тролейбуса 200 км; витрати електроенергії тролейбуса на 1 км пробігу 2,7 кВт·год [14]. Добове споживання електроенергії одним тролейбусом 540 кВт·год. Одна установка Tesla Powerpack (таблиця 1) може забезпечити роботу 10 тролейбусів. Питома вартість електроенергії у споживача в системі з накопичувачем Tesla Powerpack складе згідно із (7) 4,08 грн/кВт·год, що є більшим за денний тариф 3,09 грн/кВт·год. Тобто використання такої схеми електропостачання є невигідним (умова 8). Також підраховано, що в умовах України питома вартість електроенергії від накопичувача не має перевищувати $T_{\text{нак}} = 0,7$ грн/кВт·год, при цьому вартість накопичувача з параметрами Tesla Powerpack (таблиця 1) ємністю 5400 кВт·год має бути менша за 18,9 млн грн. Визначення терміну окупності такої системи в Україні проілюстровано на рисунку 2, з якого видно, що період окупності без врахування інфляції та фактору часу дорівнює 6,39 років, з врахування інфляції 15 % – 7,03 роки, а період окупності за безпечної норми відсотків 17% та врахуванні ризику (імовірність 0,95-0,5) є більшим за 10 років.

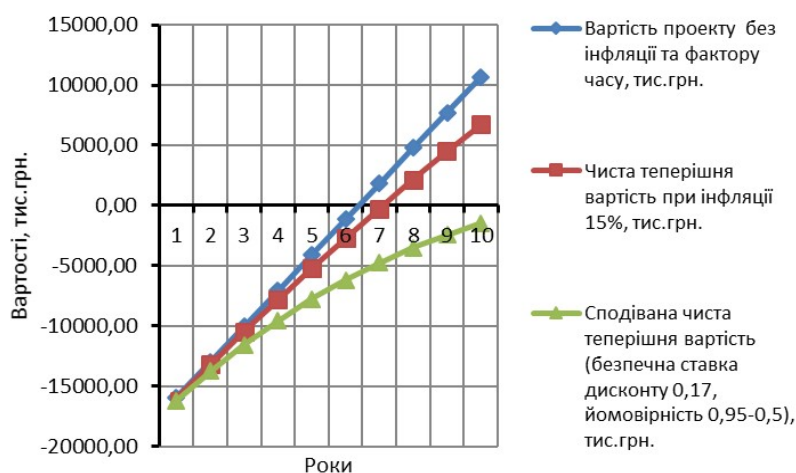


Рисунок 2 – Визначення терміну окупності проекту з накопичувачем електричної енергії для мережі міського електротранспорту ємністю 5400 кВт·год

Figure 2 – Design of payback period for an urban electric transport project with a 5400 kWh energy storage unit

У домогосподарствах вартість електроенергії у споживача за системи живлення з накопичувачем Tesla Powerwall 2.0 складе $T_{\text{сп}} > 3,38$ грн/кВт·год, що значно більше за денний тариф $T_{\text{д}} = 1,68$ грн/кВт·год. Економічний ефект (11) буде від'ємним, і застосування накопичувачів електроенергії з наведеними вище параметрами в домогосподарствах в умовах м. Києва не є доцільним. Для забезпечення прийнятної терміну окупності (<6 років) вартість електроенергії від накопичувача не має перевищувати $T_{\text{нак}} = 0,2$ грн/кВт·год.

Аналіз показав, що економічна доцільність застосування накопичувачів електричної енергії при використанні двозонного тарифу в Україні може мати місце лише за умови існування накопичувачів, величина питомої вартості електроенергії від яких буде менше 0,2...0,7 грн/кВт·год. Вартість такого обладнання має бути значно нижча за існуючу ринкову

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Запропоновано методику визначення економічної доцільності застосування накопичувачів електричної енергії за використання двозонних та трizonних тарифів на електроенергію. Отримано критерій визначення такої доцільності. Для розрахунку терміну окупності проекту використовується метод сподіваної чистої теперішньої вартості проекту. Показано, що за сучасних умов в Україні та існуючих вартісних характеристик систем акумулювання енергії використання таких систем для економії коштів за рахунок низьких нічних тарифів на електроенергію не є доцільним. Показано, що прийнятна вартість такого обладнання має бути значно нижча за існуючу ринкову.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тарифи на електричну енергію для малих побутових споживачів, що приєднані до мереж ПрАТ «ДТЕК Київські електромережі». – Режим доступу: <https://www.kyiv.yasno.com.ua/business/b2b-tariffs>. – Назва з екрану.

2. Тарифи на електричну енергію, що відпускається для різних категорій побутових споживачів. – Режим доступу: <https://www.kyiv.yasno.com.ua/b2c-tariffs>. – Назва з екрану.

3. Чернецкий А.М. Оценка экономической эффективности использования накопителей электроэнергии в энергосистеме / А.М. Чернецкий // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. – 2013. – № 4. – С. 21–28. – Режим доступа: <https://rep.bntu.by/handle/data/5401>. – Загл. с экрана.

4. Chernetsky A.M. Assessment of Economic Efficiency Pertaining to Application of Energy Storage Units in Power System. *ENERGETIKA. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations*. 2013;(4):21–28. (In Russ.)

5. Степаненко В.П. Выбор накопителей энергии / В.П. Степаненко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 3. – С. 228–234. – ISSN 0236-1493. – Режим доступа: http://www.giab-online.ru/files/Data/2017/3/228_234_3_2017.pdf. – Загл. с экрана.

6. Степаненко В. П. Определение параметров накопителей энергии комбинированных силовых установок / В.П. Степаненко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 8. – С. 166–174. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-parametrov-nakopiteley-energii-kombinirovannyh-silovyh-ustanovok>. – Загл с экрана.

7. Сарсикеев Е.Ж. Техничко-экономическая оценка проектов электроснабжения в автономных системах на базе возобновляемых источников энергии / Е.Ж. Сарсикеев, И.И. Шолохова, С.И. Шевелева и др. // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 03 (57). – Ч. 4. – С. 85–90. – Режим доступа: <https://research-journal.org/technical/tehniko-ekonomicheskaya-ocenka-proektov-elektrosnabzheniya-v-avtonomnyh-sistemah-na-baze-vozobnovlyaemyx-istochnikov-energii>. – Загл. с экрана.

8. Лукутин Б.В. Оценка технико-экономической эффективности использования накопителей электроэнергии в автономной микрогидроэлектростанции / Б.В. Лукутин, Е.Ж. Сарсикеев, Е.Б. Шандарова // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2-2. – Режим доступа: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=22874>. – Загл. с экрана.

9. Непомнящий В.А. Роль накопителей электроэнергии в повышении эффективности работы энергосистем и отдельных энергообъектов / В.А. Непомнящий, В.Ю. Кононенко, Д.О. Смоленцев, О.В. Вещунов // Энергоэксперт – 2014. – № 3. – С. 18–25. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/69034437-Rol-nakopiteley-elektroenergii-v-povyshenii-effektivnosti-raboty-energосistem-i-otdelnyh-energoobektov.html>. – Загл. с экрана.

10. Белов В.Ф. Экспериментальная оценка модели оптимального управления накопителем электрической энергии / В.Ф. Белов, С.А. Рожкова, Д.В. Фарафонов // Современные наукоемкие

технологии. – 2016. – № 5-1. – С. 20–26. – Режим доступа: <https://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=35848>. – Загл. с экрана.

11. Любарский Б.Г. Сравнительный анализ накопителей энергии для транспортных средств / Б.Г. Любарский, В.П. Шайда, С.Г. Буряковский // *Залізничний транспорт України*. – 2015. – № 6. – С. 13–21. – Режим доступа: http://web.kpi.kharkov.ua/elmarsh/wp-content/uploads/sites/108/2017/03/2015_16.pdf. – Загл. с экрана.

12. Бланк И.А. Инвестиционный менеджмент. [учеб. курс] / Бланк И.А. – К.: Эльга-Н, Ника-Центр, 2001. – 448 с.

13. Maxim Zalevski. 12 домашних накопителей энергии, которые могут соперничать с Tesla PowerWall 2.0. – Режим доступа: <https://medium.com/@rodovidme/12-домашних-накопителей-энергии-которые-могут-соперничать-с-tesla-powerwall-2-0-e7695d1504e8>. – Загл. с экрана.

14. Tesla Energy Reveals Powerpack Pricing, Starting From 200 kWh Of Storage. – Available at: <https://insideevs.com/tesla-energy-reveals-powerpack-pricing/>. – Title from Screen.

15. Проект «Міський громадський транспорт в Україні». Фінансово-економічне обґрунтування проекту // Міністерство інфраструктури України. – Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/news/27947.html>. – Назва з екрана.

REFERENCES

1. Taryfy na elektrychnu enerhiu dlia malykh nepobutovykh spozhyvachiv shcho pryiednani do merezh PrAT «DTEK Kyivski elektromerezh» [Electricity pricing for small businesses as consumers connected to DTEK Kyiv Electricity Networks]. – Available at: <https://www.kyiv.yasno.com.ua/business/b2b-tariffs>. – Title from Screen.

2. Taryfy na elektrychnu enerhiu shcho vidpuskaetsia dlia riznykh katehorii pobutovykh spozhyvachiv [Electricity pricing for different consumer categories]. – Available at: <https://www.kyiv.yasno.com.ua/b2c-tariffs>. – Title from Screen.

3. Chernetskii A.M. Otsenka ekonomicheskoi effektivnosti ispolzovaniia nakopitelei elektroenergii v energosisteme [Assessment of economic efficiency pertaining to application of energy storage units in power system]. *Energetika. Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii i energeticheskikh obedinenii SNG – Energetika. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations*, 2013, issue 4, pp. 21–28. – Available at: <https://rep.bntu.by/handle/data/5401>. – Title from Screen.

4. Chernetskii A.M. Assessment of Economic Efficiency Pertaining to Application of Energy Storage Units in Power System. *ENERGETIKA. Proceedings of CIS higher education institutions and power engineering associations*. 2013, issue 4, pp. 21–28. (In Russ.)

5. Stepanenko V.P. Vyor nakopitelei energii [Selection of energy storage units]. *Gornyi informatcionno-analiticheskii biulleten – Mining news and analysis bulletin*, 2017, issue 3, pp. 228–234, ISSN 0236-1493. – Available at: http://www.giab-online.ru/files/Data/2017/3/228_234_3_2017.pdf. – Title from Screen.

6. Stepanenko V. P. Opredelenie parametrov nakopitelei energii kombinirovannykh silovykh ustanovok [Design of energy storage units for compound propulsion systems]. *Gornyi informatcionno-analiticheskii biulleten – Mining news and analysis bulletin*, 2016, issue 8, pp. 166–174. – Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-parametrov-nakopiteley-energii-kombinirovannykh-silovykh-ustanovok>. – Title from Screen.

7. Sarsikeev E. Zh., Sholokhova I.I., Sheveleva S.I. and others. Tekhniko-ekonomicheskaya otsenka proektov elektrosnabzheniia v avtonomnykh sistemakh na baze vozobnovliaemykh istochnikov energii [Technical and economical assessment of stand-alone renewable power system projects]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal – International research journal*, 2017, issue 03 (57), part 4, pp. 85–90. – Available at: <https://research-journal.org/technical/tekniko-ekonomicheskaya-ocenka-proektov-elektrosnabzheniya-v-avtonomnykh-sistemakh-na-baze-vozobnovlyaemykh-istochnikov-energii>. – Title from Screen.

8. Lukutin B.V., Sarsikeev E. Zh., Shandarova E.B. Otsenka tekhniko-ekonomicheskoi effektivnosti ispolzovaniia nakopitelei elektroenergii v avtonomnoi mikrogidroelektrostantsii [Evaluation of technical and economic efficiency of the electric energy storage device in stand-alone micro hydro power plant]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia – Modern problems of science and education*, 2015, issue № 2-2. – Available at: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=22874>. – Title from Screen.

9. Nepomniashchii V.A., Kononenko V. Iu., Smolentsev D.O., Veshchunov O.V. Rol nakopitelei elektroenergii v povyshenii effektivnosti raboty energosistem i otdelnykh energoobektov [The role of energy storage units in energy systems and single energy facilities efficiency improving]. *Energoekspert – Energy*

expert, 2014, issue 3, pp. 18–25. – Available at: <https://docplayer.ru/69034437-Rol-nakopiteley-elektroenergii-v-povyshenii-effektivnosti-raboty-energosisistem-i-otdelnyh-energoobektov.html>. – Title from Screen.

10. Belov V.F., Rozhkova S.A., Farafontov D.V. Eksperimentalnaia otsenka modeli optimalnogo upravleniia nakopitelem elektricheskoi energii [Experimental validation of optimal battery scheduling model]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii – Modern high technologies*, 2016, issue 5-1, pp. 20–26. – Available at: <https://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=35848>. – Title from Screen.

11. Liubarskii B.G., Shaida V.P., Buriakovskii S.G. Sravnitelnyi analiz nakopitelei energii dlia transportnykh sredstv [Comparative review of energy storage for vehicles]. *Zaliznychnyi Transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2015, issue 6, pp. 13–21. – Available at: http://web.kpi.kharkov.ua/elmarsh/wp-content/uploads/sites/108/2017/03/2015_16.pdf. – Title from Screen.

12. Blank I.A. *Investitsionnyi menedzhment* [Investment management]. Kyiv, Elga-N Publ., Nika-Tcentr Publ., 2001. 448 p.

13. Maxim Zalevski. 12 domashnikh nakopitelei energii, kotorye mogut sopernichat s Tesla PowerWall 2.0 [12 home energy storage devices that can vie with Tesla PowerWall 2.0]. – Available at: <https://medium.com/@rodovidme/12-домашних-накопителей-энергии-которые-могут-соперничать-с-тесла-powerwall-2-0-e7695d1504e8>. – Title from Screen.

14. Tesla Energy Reveals Powerpack Pricing, Starting From 200 kWh Of Storage. – Available at: <https://insideevs.com/tesla-energy-reveals-powerpack-pricing/>. – Title from Screen.

15. Proekt «Miskyi hromadskyi transport v Ukraini». Finansovo-ekonomichne obgruntuvannia proektu [Project ‘Urban public transport in Ukraine’. Financial and economic justification for the project], *Ministerstvo infrastruktury Ukrainy – Ministry of Infrastructure of Ukraine*. – Available at: <https://mtu.gov.ua/news/27947.html>. – Title from Screen.

РЕФЕРАТ

Андрусенко С.І. Обґрунтування доцільності використання накопичувачів енергії в електромережах міського транспорту та домогосподарств / С.І. Андрусенко, О.С. Бугайчук, В.Б. Будниченко, В.С. Подпіснєв // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

У статті викладена методика обґрунтування доцільності застосування накопичувачів енергії в електромережах міського транспорту і домогосподарств за умови використання дво- і тризонних тарифів на електроенергію та наведений приклад її застосування.

Об’єкт дослідження – електричні мережі з накопичувачами електроенергії.

Мета роботи – розробка методики визначення економічної доцільності використання накопичувачів електричної енергії в системах живлення міського електротранспорту або окремих домогосподарств за умови використання дво- і тризонних тарифів на електроенергію.

Методи дослідження – математичне моделювання процесів.

Зазвичай обсяги виробництва електроенергії та її споживання не співпадають у часі. Тому для оптимізації енергетичних потоків використовують накопичувачі енергії. Накопичувач заряджається, коли є надлишок енергії, і віддає накопичену енергію у систему в моменти її нестачі. Розвиток таких технологій може дати значний економічний ефект і має велике практичне значення. В Україні встановлені двозонні та тризонні тарифи на електроенергію для населення та суб’єктів господарювання. За двозонного тарифу коефіцієнти вартості електроенергії для побутових споживачів становлять 0,5 у нічний період з 23.00 по 7.00 та 1,0 – у денний період. Максимальна експлуатація міського електротранспорту, а також витрати електроенергії в підприємствах, організаціях та домогосподарствах припадають на період доби, коли вартість електроенергії найвища. Для зменшення загальних витрат можна заряджати накопичувачі електроенергії вночі й використовувати накопичену енергію вдень.

Запропоновано методику визначення економічної доцільності застосування накопичувачів електричної енергії за умови використання двозонних та тризонних тарифів. Отримано критерії визначення такої доцільності. Для розрахунку терміну окупності проекту використовується метод сподіваної чистої теперішньої вартості проекту. Показано, що за існуючих вартостей систем акумулювання енергії та тарифів на електроенергію в Україні використання таких систем для економії коштів за рахунок низьких нічних тарифів не є доцільним. Визначено, що економічна доцільність застосування накопичувачів електричної енергії за умови використання двозонного тарифу в Україні може мати місце у випадку існування накопичувачів, величина питомої вартості електроенергії від яких буде меншою ніж 0,2...0,7 грн/кВт·год.

Результати статті можуть бути використані під час проектування електричних систем з накопичувачами енергії.

Прогнозоване припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – визначення умов доцільності використання накопичувачів енергії в схемах живлення споживачів з використанням альтернативних джерел електричної енергії.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЯ, НАКОПИЧУВАЧ, ТАРИФИ, ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТ, ДОМОГОСПОДАРСТВА, ІНВЕСТИЦІЇ, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ, СПОДІВАНА ЧИСТА ТЕПЕРІШНЯ ВАРТІСТЬ, ТЕРМІН ОКУПНОСТІ.

ABSTRACT

Andrusenko S.I., Bugaichuk O.S., Budnychenko V.B., Podpisnov V.S. Business case for application of energy storage units in urban transport and home power grids. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article deals with the methodology of business case for application of energy storage units in urban transport and home power grids while using dual- and three-zone pricing; in addition it provides an example of the methodology application.

The object of study are electrical grids with energy storage units.

The purpose of the work is to develop the business case for application of energy storage units in urban transport and home power grids while using dual- and three-zone pricing.

Methods of investigations – mathematical modeling of processes.

As a rule, the volumes of electricity production and its consumption do not coincide in time. Therefore, energy storage units are used to optimize energy flows. The drive is charged with an excess of energy and transfers the stored energy to the system at the moments of its absence. The development of such technologies can have a significant economic effect and is of great practical importance. In Ukraine, dual-zone and three-zone pricing are set for the population and businesses. When using the dual-zone pricing, the energy price coefficients for households are 0.5 at night from 11 p.m. to 7 a.m. and 1.0 in the daytime. The maximum operation of urban electric transport, as well as power consumption by enterprises, organizations and households, occurs at the time of day with the highest energy price. To reduce overall consumption, you can charge energy storage units at night and use the stored energy during the day.

The methodology for business case for application of energy storage units by using dual-zone and three-zone pricing is proposed. We have obtained the criteria for this need. To calculate the payback period of the project, we use the method of expected current clean price is used. It is shown that at the existing prices of energy storage systems and electricity pricing in Ukraine, the use of such systems to save money due to low night pricing is impractical. It was determined that business case for application of energy storage units when using a dual-zone pricing in Ukraine can take place if only specific electricity pricing from available units is less than 0.2 ... 0.7 UAH/kWh.

The results of the study can be used in the design of electrical systems with energy storage units.

The predicted assumption about the development of the object of study is to determine business case for application of energy storage units in consumer power circuits using alternative sources of electricity.

KEYWORDS: ELECTRICITY, STORAGE UNITS, PRICING, ELECTRIC TRANSPORT, HOUSING, INVESTMENT, ECONOMIC EFFECT, EXPECTED CURRENT CLEAN PRICE, PAYBACK PERIOD.

РЕФЕРАТ

Андрусенко С.И. Обоснование целесообразности использования накопителей энергии в электросетях городского транспорта и домохозяйств / С.И. Андрусенко, А.С. Бугайчук, В.Б. Будниченко, В.С. Подписнов // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье изложена методика обоснования целесообразности использования накопителей энергии в электросетях городского транспорта и домохозяйств при использовании двух- и трехзонных тарифов на электроэнергию и приведен пример ее использования.

Объект исследования – электрические сети с накопителями электроэнергии.

Цель работы – разработка методики определения экономической целесообразности использования накопителей электрической энергии в системах питания городского электротранспорта или отдельных домохозяйств при использовании двух- и трехзонных тарифов на электроэнергию.

Методы исследования – математическое моделирование процессов.

Обычно объемы производства электроэнергии и ее потребление не совпадают по времени. Поэтому для оптимизации энергетических потоков используют накопители энергии. Накопитель заряжается, когда есть избыток энергии, и отдает накопленную энергию в систему в моменты ее недостатка. Развитие таких технологий может дать значительный экономический эффект и имеет большое практическое значение. В Украине установлены двухзонные и трехзонные тарифы на электроэнергию для населения и субъектов хозяйствования. При двухзонном тарифе коэффициенты стоимости электроэнергии для бытовых потребителей составляют 0,5 в ночное время с 23.00 по 7.00, и 1,0 – в дневной период. Максимальная эксплуатация городского электротранспорта, а также расходы электроэнергии на предприятиях, организациях и домохозяйствах приходится на время суток, когда стоимость электроэнергии наивысшая. Для уменьшения общих затрат можно заряжать накопители электроэнергии ночью и использовать накопленную энергию днем.

Предложена методика определения экономической целесообразности применения накопителей электрической энергии при использовании двухзонных и трехзонных тарифов. Получены критерии определения такой необходимости. Для расчета срока окупаемости проекта используется метод ожидаемой чистой приведенной стоимости проекта. Показано, что при существующих стоимостях систем аккумулирования энергии и тарифах на электроэнергию в Украине использование таких систем для экономии средств за счет низких ночных тарифов не целесообразно. Определено, что экономическая целесообразность применения накопителей электрической энергии при использовании двухзонного тарифа в Украине может иметь место при условии существования накопителей, величина удельной стоимости электроэнергии от которых будет менее 0,2 ... 0,7 грн/кВт·ч.

Результаты статьи могут быть использованы при проектировании электрических систем с накопителями энергии.

Прогнозируемое предположение по развитию объекта исследования – определение условий целесообразности использования накопителей энергии в схемах питания потребителей с использованием альтернативных источников электроэнергии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ, НАКОПИТЕЛИ, ТАРИФЫ, ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТ, ДОМОХОЗЯЙСТВА, ИНВЕСТИЦИИ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ, ОЖИДАЕМАЯ ЧИСТАЯ ТЕКУЩАЯ СТОИМОСТЬ, СРОК ОКУПАЕМОСТИ.

АВТОРИ:

Андрусенко Сергій Іванович, кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: sergeandrusenko@gmail.com, тел. +380634720587, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 410А, orcid.org/0000-0002-9914-0200.

Бугайчук Олександр Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: bug_os@ukr.net, тел. +380679955818, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 410, orcid.org/0000-0001-8646-6263.

Будниченко Валерій Борисович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: budnvb@i.ua, тел. +380679318431, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 410, orcid.org/0000-0002-1235-3781.

Подписнов Владислав Сергійович, Національний транспортний університет, асистент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: vpodpisnov@ukr.net, тел. +380989623871, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 410, orcid.org/0000-0002-8583-1502.

AUTHOR:

Andrusenko Serhii I., Ph.D. in Technical Science, Professor, National Transport University, Head of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, e-mail: sergeandrusenko@gmail.com, tel. +380634720587, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 410A, orcid.org/0000-0002-9914-0200.

Buhaichuk Oleksandr S., Ph.D. in Technical Science, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, e-mail: bug_os@ukr.net, tel. +380679955818, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 410, orcid.org/0000-0001-8646-6263.

Budnychenko Valerii B., Ph.D. in Technical Science, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, e-mail: budnvvb@i.ua, tel. +380679318431, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 410, orcid.org/0000-0002-1235-3781.

Podpisnov Vladyslav S., National Transport University, Assistant Lecturer of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, e-mail: vpodpisnov@ukr.net, tel. +380989623871, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 410, orcid.org/0000-0002-8583-1502.

АВТОРЫ:

Андрущенко Сергей Иванович, кандидат технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, заведующий кафедрой технической эксплуатации автомобилей и автосервиса, e-mail: sergeandrusenko@gmail.com, тел. +380634720587, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омельяновича-Павленко, 1, к. 410А, orcid.org/0000-0002-9914-0200.

Бугайчук Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры технической эксплуатации автомобилей и автосервиса, e-mail: bug_os@ukr.net, тел. +380679955818, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омельяновича-Павленко, 1, к. 410, orcid.org/0000-0001-8646-6263.

Будниченко Валерий Борисович, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры технической эксплуатации автомобилей и автосервиса, e-mail: budnvvb@i.ua, тел. +380679318431, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омельяновича-Павленко, 1, к. 410, orcid.org/0000-0002-1235-3781.

Подписнов Владислав Сергеевич, Национальный транспортный университет, ассистент кафедры технической эксплуатации автомобилей и автосервиса, e-mail: vpodpisnov@ukr.net, тел. +380989623871, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омельяновича-Павленко, 1, к. 410, orcid.org/0000-0002-8583-1502.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Шаманський С.Й., доктор технічних наук, доцент, Національний авіаційний університет, доцент кафедри екології, Київ, Україна.

Гришук О.К., кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, проректор з навчальної роботи, Київ, Україна.

REVIEWER:

Shamanskyi S.Y., Doctor of Technical Science, Associate Professor, National Aviation University, Associate Professor, Department of Ecology, Kyiv, Ukraine.

Hryshchuk O.K., Candidate of Science (Engineering), Professor, National Transport University, Vice Rector for Academic Affairs, Kyiv, Ukraine.

ФОРМУВАННЯ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАНЬ ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ШВИДКОПСУВНИХ ВАНТАЖІВ

Ануфрієва Т.Г., Національний транспортний університет, Київ, Україна,
anufriyeva11@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8052-0852

FORMATION OF SUPPLY CHAINS FOR THE TRANSPORT OF PERISHABLE GOODS

Anufriyeva T.G., National Transport University, Kijv, Ukraine, anufriyeva11@gmail.com,
orcid.org/0000-0002-8052-0852

ФОРМИРОВАНИЕ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ

Ануфриева Т.Г., Национальный транспортный университет, Киев, Украина,
anufriyeva11@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8052-0852

Постановка проблеми. Поняття «ланцюгів постачань» на сьогоднішній день в логістиці має широке застосування, постійно вдосконалюється. На сьогоднішній день при доставці швидкопсувного вантажу інформаційні потоки обміну інформацією про особливості перевезень швидкопсувних вантажів, температурний режим, вибір розподільчого центру, оформлення документів – вся ця інформація повинна враховуватися на всіх етапах формування ланцюга постачань. Для швидкопсувних товарів з обмеженим терміном придатності має значення термін доставки та термін зберігання. Тому ця тема є актуальною і потребує дослідження.

Аналіз публікацій. Питанням формування ланцюгів поставок приділяється велика увага з боку зарубіжних та вітчизняних вчених. Зокрема, у працях науковців [1–4] представлені досить різні, часом навіть цілком протилежні, погляди стосовно формування та розвитку ланцюга постачань. Проблеми визначення, формування та ефективності ланцюгів постачань досліджувались різними вченими. Даний напрямок досліджень знайшов відображення в роботах таких вчених як: Д. Іванов, В. Дибська та інші. Розглядали структури ланцюга постачань; встановлення його довжини або кількості ланок. Найбільша увага дослідників була привернута до проблеми управління ланцюгами постачань. Але більшість науковців зосереджували увагу на концепції управління ланцюгами поставок, в той час як визначення поняття ланцюга поставок залишається дискусійним та потребує уточнення в контексті необхідності підвищення ефективності логістичної діяльності для перевезення швидкопсувних вантажів.

Формулювання цілей статті. Метою статті є узагальнення теоретичних підходів до визначення поняття «ланцюга постачань» та розглянути формування ланцюгів постачання, обґрунтовуючи необхідність враховувати умови перевезення швидкопсувних вантажів. Також треба проаналізувати різні класифікації ланцюгів постачань, типи та види за кількістю посередників, щоб більш детально розглянути формування ланцюгу постачань для швидкопсувних вантажів.

Виклад основного матеріалу. На сучасному етапі розвитку логістики та переміщення потоків матеріалів і готових товарів виходить за межі окремих підприємств і формує логістичні взаємовідносини між окремими підприємствами, що становлять окремі ланки ланцюга постачання і збуту. Як результат взаємної співпраці постачальників, виробників, транспортно-експедиційних підприємств, торговельних посередників і кінцевих споживачів створюються групи суб'єктів господарювання, так звані «ланцюги поставок». Дослідження у сфері логістики і логістичного управління все частіше вказують на зростання значення ланцюгів поставок.

В сучасній літературі немає єдиного визначення, деякі вчені розуміють під ланцюгом постачань – послідовність процесів та інформації, які доставляють товар від постачальника до споживача. Ось де-які визначення ланцюга постачань:

– ланцюг постачань – це пов'язана структура бізнес-одиниць, яка об'єднана відношенням «постачальники – фокусне (головне) підприємство – споживачі» у процесі створення і реалізації товарів, що мають цінність для кінцевого споживача, відповідно до вимог ринку [1];

– ланцюг постачань ототожнюється з фізичною мережею, яка проходить від початкового постачальника до клієнта [2];

– ланцюг постачань можна також визначити, як мережу взаємопов'язаних між собою організацій, залучених у різні процеси і дії, метою яких є доставка кінцевому споживачу повної пропозиції продуктів та послуг [3];

– ланцюгом постачань є лінійно впорядкована чисельність фізичних чи юридичних осіб (постачальників, виробників, посередників та ін.), які виконують логістичні операції, спрямовані на доведення зовнішнього матеріального потоку від однієї логістичної системи до іншої чи до кінцевого споживача [4].

Всі визначення є об'єктивними, але, на нашу думку, сутність їх полягає у розгляді ланцюга постачань, як логістичної системи, що складається із безліч ланок, пов'язаних між собою інформаційними, грошовими та товарними потоками. Ланцюг постачання починається з придбання сировини у постачальників і закінчується продажем товарів і надання послуг споживачу. Для швидкопсувних вантажів треба більш детально розглянути формування ланцюга постачань, так як термін придатності товару обмежується певним часом.

Одні ланки можуть цілком належати до однієї організації, інші – компаніям-контрагентам (клієнтам, постачальникам і дистриб'юторам). Таким чином, в ланцюг постачань, звичайно, входять кілька організацій. Для швидкопсувного товару є умови перевезення, зберігання в необхідному температурному режимі, тому ці особливості повинні враховуватись на всіх ланках.

Можна зазначити, що ланцюги постачання мають такі переваги:

- 1) переміщення матеріальних потоків стає більш зручним, за рахунок планування маршрутів перевезень;
- 2) постійне корегування між попитом та пропозицією;
- 3) зменшення витрат на збереження товару на складі (вигідно для швидкопсувних вантажів);
- 4) зменшення витрат на доставку товару, на транспортування постійне корегування графіків доставки та планування маршруту перевезення для задоволення потреб споживачів;
- 5) спільне удосконалення параметрів матеріальних та інформаційних потоків.

Не існує загальної єдиної класифікації ланцюгів постачань, але можна розглянути, як пропонує Іванов Д.А. [1] за наступними критеріями (рисунок 1).

Формування ланцюгів постачань проходить шляхом взаємовигідного партнерства всіх учасників. Існують різні форми взаємовідносин, що характеризуються різною тісністю зв'язку між підприємствами. На практиці, більшість підприємств отримують товари від безлічі різних постачальників і потім передають продукти різним споживачам. При цьому товари проходять через різні рівні постачальників по різних ланцюгах постачань і переміщаються через різні рівні до споживачів, а потім знову розподіляється. Тому при формуванні ланцюгів постачань треба враховувати їх характеристики, такі як: типи, види, довжина і ширина ланцюгів постачань.

Основні характеристики при формуванні ланцюгів постачань:

1. Довжина ланцюга постачання визначається кількістю посередників, через яких, товар проходить від початку його виробництва до місця призначення (кінцевого споживача). За даною характеристикою ланцюги поставок класифікуються на короткі й довгі.

2. Ширина ланцюга поставок – це число паралельних маршрутів, за якими може переміщатися продукція. У свою чергу довгі ланцюги поставок поділяються на вузькі, помірної ширини й широкі.

Типи і види ланцюгів поставок представлені в таблиці 1.

Але при формуванні ланцюга постачань для перевезення швидкопсувних вантажів, слід враховувати вимоги до перевезення цих вантажів, тому використання довгого та широкого ланцюга постачань буде пов'язане з проблемами передачею інформаційних потоків на всіх ланках та організацією оптимальної доставки товару, враховуючи всі температурні вимоги. Тому, при формуванні ланцюга постачань для швидкопсувних вантажів, треба враховувати, які посередники приймають участь в доставці, якщо перевезення виконується в торговій мережі, чи має вона склади з необхідним температурним режимом. Для товарів з обмеженим терміном придатності при формуванні ланцюгів постачань треба враховувати температурні можливості складів, сумісність зберігання цих товарів, місцезнаходження складів. Більш того, це буде впливати на вибір посередника та їх кількості, місця розташування складів з температурним режимом та розподільних центрів, транспорту (рефрижераторів) та ін. Тому при формуванні ланцюгів постачань при перевезенні швидкопсувних вантажів потрібно додатково розглянути такі питання: 1) наявність спеціалізованих складів і структури ланцюгів постачань; 2) забезпечення узгодженої взаємодії (передачі точної інформації) між ланками логістичного ланцюга. Потрібно розглянути, як відбувається формування ланцюгів постачань на прикладі відомих торговельних мереж. В Україні етап розвитку роздрібної торгівлі характеризується структурними змінами, пов'язаними з появою нових торговельних структур – торгових мереж. Особливо активно торговельні мережі розвиваються у роздрібній торгівлі продовольчими товарами у найбільших містах України – Києві, Дніпропетровську, Харкові, Запоріжжі, Одесі, Львові. Для українських торгових мереж отримання

логістичних послуг ускладнюється тим, що логістика в Україні – сфера нерозвинена і на ринку недостатня кількість професійних логістичних операторів, що б надавали логістичні послуги в будь-якому регіоні країни з гарантованим високим рівнем сервісу, а також недостатня кількість професійних розподільних центрів та логістичних центрів з різними температурними режимами.

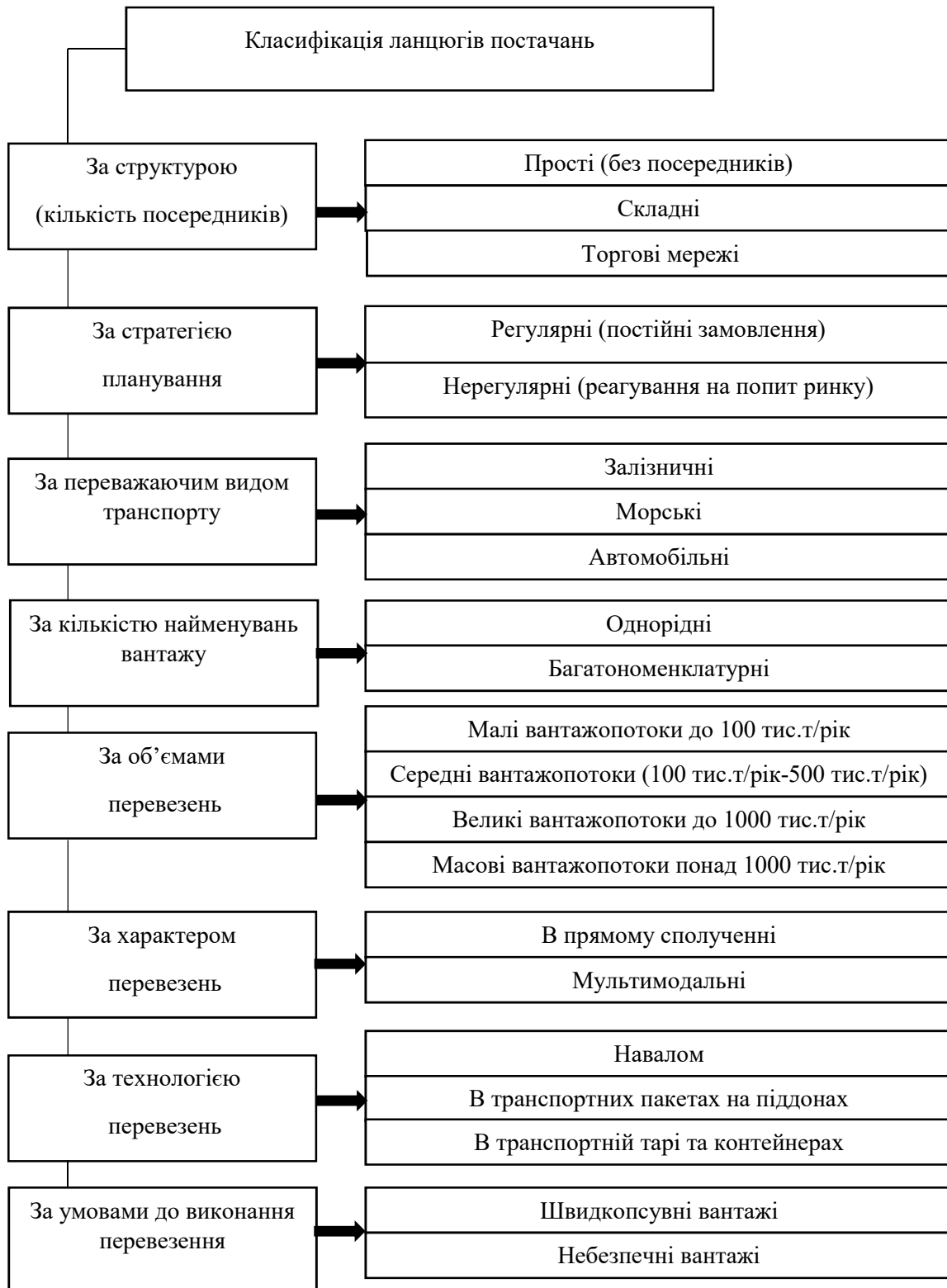


Рисунок 1 – Класифікації ланцюгів постачань за певними критеріями

Рисунок 1 – Classifications of chains of supplies on certain criteria

Розглянемо, як ситуація склалася у Україні з посередниками в ланцюгах постачань, на прикладі відомих торговельних мереж.

В Україні за темпами розвитку торговельних мереж лідерами є: «АТБ», «Фуршет», «Фоззі», «Велика Кишеня», «Сільпо», «Метро», «Фора» та інші

Аналіз ланцюгів постачань цих торговельних мереж представлені у таблиці 2.

Таблиця 1 – Типи і види ланцюгів постачань

Table 1 – Types and types of chains of supplies

Тип ланцюгів постачань	Вид ланцюгів постачань	Учасники процесу
Короткий		Виробник ⇨ споживачі;
Довгий	Вузький	Постачальник сировини, матеріалів виробник ⇨ посередник ⇨ споживачі
	Помірної ширини	Постачальник сировини, матеріалів ⇨ виробник ⇨ оптовики ритейлери ⇨ споживачі
	Широкий	Постачальники сировини та їх посередники ⇨ виробник-організація, де здійснюються операції з доведення продукції ⇨ логістичні центри ⇨ склади ⇨ оператори-посередники ⇨ транспортно- експедиційні підприємства (компанії) ⇨ оптовики, ритейлери й інші учасники ⇨ споживачі

Таблиця 2 – Аналіз ланцюгів постачань торговельних мереж

Table 2 – Analysis of chains of supplies of trade networks

Компанія	Формат	Кількість торгових точок (магазинів) в Україні	Наявність власного розподільчого центру та їх кількість	Наявність складів
АТБ- маркет	Супермаркети, що продають товари за зниженими цінами	372	4	–
Фуршет	Супермаркети, що продають товари за зниженими цінами	98	–	Орендовані склади
Фоззі	Гіпермаркети та супермаркети, що продають товари за зниженими цінами	292	5	–
Велика Кишеня	Гіпермаркети та супермаркети	45	1	–
Еко-маркет	Супермаркети, що продають товари за зниженими цінами	68	–	Орендовані склади
Ашан	Гіпермаркети	7	–	Склади логістичної компанії
Metro	Кеш енд кері	25	2	+

Торговельна мережа «Metro» має два розподільчих центри в Києві та Дніпропетровську. «Metro» використовує систему поставок «stock-on-line», коли товар приймається за кількістю і якістю та негайно поставляється на прилавки супермаркетів. Складське зберігання товарів у магазині

відсутнє. Торговельна мережа супермаркетів «Велика Кишеня» має один розподільчий центр. ТОВ «АТБ-маркет» має чотири власних розподільчих центри класу «В». А торгова мережа «Еко – маркет» використовує орендовані склади своїх посередників.

Тобто, ситуація в Україні з основними торговельними мережами складається наступним чином, більшість з них мають розподільчі центри, а для задоволення потреб користуються послугами орендованих складів логістичних компаній. А для складів, які використовуються для зберігання швидкопсувних вантажів, логістичний посередник повинен враховувати принцип сумісності товарів зберігання та постійно прогнозувати об'єми продаж цих товарів.

Український ринок продовжує вимагати додаткової оптимізації витрат на логістику, побудови ефективніших систем забезпечення магазинів потрібним асортиментом. Це зумовлює розвиток багаторівневих ланцюгів поставок торгових мереж. Торгові мережі, намагаючись підвищити ефективність своєї діяльності, прагнуть розширити свій контроль над ланцюгом поставок і здійснювати всі логістичні операції в межах єдиної системи каналів. Отже, відбуваються структурні зміни у ланцюгах поставок торгових мереж, що зумовлює об'єктивну необхідність у розробленні нових підходів до управління ланцюгами поставок. Формування «холодового» ланцюга як оптимальній технології доставки швидкопсувних вантажів нині викликає підвищений інтерес у сфері логістики перевезень швидкопсувних вантажів. В умовах напрямів і протяжності вантажопотоків продовольчих товарів, вантажовідправникам виключно важливо бути упевненим у збереженні і доставки в позначений термін їх вантажу. Для компаній логістичних провайдерів ефективна система контролю і моніторингу заданої температури вантажу може бути визначальним параметром конкурентоспроможності.

Висновки: Отже, проведення аналізу поняття ланцюга поставок дозволило виявити відсутність в існуючих трактуваннях зв'язку цього поняття з такою метою формування підприємствами ланцюгів поставок для перевезення швидкопсувних вантажів. Розглянуто види та типи ланцюгів постачань, які складаються з великої кількості посередників, а для оптимальної роботи всіх посередників необхідно враховувати особливості доставки швидкопсувних вантажів.

Наступним кроком після формування ланцюгів поставок є впровадження концепції управління ланцюгами поставок для швидкопсувних вантажів, знаходження моделі управління, яка б враховувала особливості доставки швидкопсувних вантажів, яка буде предметом подальших наукових досліджень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Иванов Д.А. Управление цепями поставок / Иванов Д. А. – СПб.: Издательство СПбГПУ, 2009. – 660 с.
2. Хэндфилд Р. Б. Реорганизация цепей поставок. Создание интегрированных систем формирования ценности / Р. Б. Хэндфилд, Э. Л. Николс-мл. ; [пер. с англ.]. – М. : Вильямс, 2003. – 416 с
3. Кристофер М. Логистика и управление цепочками поставок / М. Кристофер ; [под. общ. ред. В. С. Лукинского]. – СПб. : Питер, 2004. – 316 с
4. Наконечна Т. В. Формування та управління логістичним ланцюгом поставок на ринку металопластикової продукції / Т. В. Наконечна // Вісник Хмельницького національного університету. Серія «Економічні науки». – 2009. – Т. 3, № 5. – С. 17 – 174
5. Смирнова Е. А. Управление цепями поставок: учеб. пособ. / Смирнова Е. А. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2009. – 120 с.
6. Сергеев В. И. Проектирование цепей поставок на основе Референтной модели операций в цепях поставок (SCOR-mod – Supply Chain Operations Reference model): методические рекомендации / В. И. Сергеев Т. В. Левина – М., 2013. – 156 с.
7. Connecting to Compete 2010. Trade logistics in the Global [Електронний ресурс] : Economy – Режим доступу: <http://www.worldbank.org>

REFERENCES

1. Ivanov D.A. Upravlenie tsepyami postavok / Ivanov D. A. – SPb.: Izdatelstvo SPbGPU, 2009. – 660 s.
2. Hendfield R. B. Reorganizatsiya tsepey postavok. Sozdanie integrirovannyih sistem formirovaniya tsennosti / R. B. Hendfield, E. L. Nikols-ml. ; [per. s angl.]. – M. : Vilyams, 2003. – 416 s
3. Kristofer M. Logistika i upravlenie tsepochkami postavok / M. Kristofer ; [pod. obsch. red. V. S. Lukinskogo]. – SPb. : Piter, 2004. – 316 s

4. Nakonechna T. V. Formuvannya ta upravlinnya logistichnim lantsyugom postavok na rinku metaloplastikovoYi produktsiYi / T. V. Nakonechna // Visnik Hmel'nitskogo natsionalnogo univ'sitetu. Seriya «EkonomichnI nauki». – 2009. – T. 3, # 5. – S. 17 – 174

5. Smirnova E. A. Upravlenie tsepyami postavok: ucheb. posob. / Smirnova E. A. – SPb.: Izd-vo SPbGUEF, 2009. – 120 s.

6. Sergeev V. I. Proektirovanie tsepy postavok na osnove Referentnoy modeli operatsiy v tsepyah postavok (SCOR-mod – Supply Chain Operations Reference model): metodicheskie rekomendatsii / V. I. Sergeev T. V. Levina – M., 2013. – 156 s.

7. Connecting to Compete 2010. Trade logistics in the Global [Elektronnyi resurs]: Economy – Режим доступу: <http://www.worldbank.org>

РЕФЕРАТ

Ануфрієва Т.Г. Формування ланцюгів постачань при перевезенні швидкопсувних вантажів / Т.Г. Ануфрієва // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

Метою статті є узагальнення теоретичних підходів до визначення поняття «ланцюга постачань» та розглянути формування ланцюгів постачання, обґрунтовуючи необхідність враховувати умови перевезення швидкопсувних вантажів

В статті проведено аналіз основними характеристиками ланцюга постачань, якими він відрізняється від звичайного перевезення вантажу є те, що в ньому, компанії є партнерами, а не конкурентами, які налаштовані на отримання прибутку, за рахунок оптимальної доставки товару між всіма ланками ланцюга. Але не враховано характеристики швидкопсувного продукту, який обмежує використання існуючих ланцюгів постачань для продуктів з необмеженим терміном придатності і потребує дослідження у напрямку вивчення закономірностей формування логістичних ланцюгів доставки швидкопсувних вантажів.

У статті встановлено, що формування ланцюгів постачань не враховують особливості доставки швидкопсувних вантажів, які мають обмежений термін придатності.

В Україні в торговельних мережах не завжди є склади для зберігання цих вантажів, тому при формуванні ланцюга постачань треба враховувати ці особливості та також більш детально розглянути при виборі моделі управління ланцюгами постачань.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЛАНЦЮГ ПОСТАЧАННЯ, ДОВЖИНА ЛАНЦЮГА ПОСТАЧАНЬ, ШИРИНА ЛАНЦЮГА ПОСТАЧАНЬ, ШВИДКОПСУВНІ ВАНТАЖІ, ТОРГОВЕЛЬНІ МЕРЕЖІ.

ABSTRACT

Anufriyeva T.G. Formation of supply chains for the transport of perishable goods. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article is a synthesis of theoretical approaches to the definition of «supply chain» and to consider the formation of supply chains, justifying the need to consider the conditions of transportation of perishable goods.

In the article analyzes the main characteristics of the supply chain in which it differs from the usual shipping is that it, companies are partners, not competitors, which are set to profit by due to the optimal delivery of goods between all links of the chain. But do not take into account the characteristics of perishable products, which limits the use of existing supply chains for products with unlimited shelf life and requires research in the study of patterns of logistic chains delivering perishable goods.

In the article found that the formation of the supply chain do not address specific delivery of perishable goods with limited shelf life. In Ukraine, the commercial network not always warehouses for storage of goods, so forming supply chain must consider these characteristics and also in more detail to consider when choosing a model of supply chain management

KEYWORDS: SUPPLY CHAIN, SUPPLY CHAIN LENGTH, WIDTH OF SUPPLY CHAIN, SHIPPING LOADS, TRADE NETWORKS.

РЕФЕРАТ

Ануфрієва Т.Г. Формирование цепей поставок при перевозке скоропортящихся грузов. / Т.Г. Ануфрієва // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1(46).

Целью статьи является обобщение теоретических подходов к определению понятия «цепи поставок» и рассмотреть формирование цепей поставок, обосновывая необходимость учитывать условия перевозки скоропортящихся грузов

В статье проведен анализ основными характеристиками цепи поставок, которыми он отличается от обычной перевозки груза является то, что в нем, компании являются партнерами, а не конкурентами, которые настроены на получение прибыли, за счет оптимальной доставки товара между всеми звеньями цепи.

Но не учтены характеристики скоропортящегося продукта, который ограничивает использование существующих цепей поставок для продуктов с неограниченным сроком годности и требует исследования в направлении изучения закономерностей формирования логистических цепей доставки скоропортящихся грузов.

В статье установлено, что формирование цепей поставок не учитывают особенности доставки скоропортящихся грузов, имеют ограниченный срок годности. В Украине в торговых сетях не всегда склады для хранения этих грузов, поэтому при формировании цепи поставок надо учитывать эти особенности и также более детально рассмотреть при выборе модели управления цепями поставок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА : ЦЕПЬ ПОСТАВОК, ДЛИНА ЦЕПИ ПОСТАВОК, ШИРИНА ЦЕПИ ПОСТАВОК, СКОРОПОРТЯЩИЕСЯ ГРУЗОВ, ТОРГОВЫЕ СЕТИ.

АВТОРИ:

Ануфриєва Тетяна Геннадіївна, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, e-mail: anufriyeva11@gmail.com, «тел. +38(096)924-82-82 , Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 437, orcid.org/0000-0002-8052-0852.

AUTHOR

Anufriyeva Tetyana G., National Transport University, senior lecturer, department of International transportation and customs control, e-mail: anufriyeva11@gmail.com, «тел. +38(096)924-82-82 , Ukraine 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str. 1, of. 437, orcid.org/0000-0002-8052-0852.

АВТОРЫ:

Ануфриєва Татьяна Геннадиевна, Национальный транспортный университет, старший преподаватель кафедры международных перевозок и таможенного контроля, e-mail: anufriyeva11@gmail.com, «тел. +38(096)924-82-82 , Украина, 01010, г. Київ, ул. М.Омельяновича-Павленко, 1 , к. 437, orcid.org/0000-0002-8052-0852.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Чернецька-Білецька Н.Б., доктор технічних наук, професор, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, завідувач кафедрою «Логістичне управління та безпека руху на транспорті», м. Сєвєродонецьк, Україна.

Прокудін Г.С., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедрою «Міжнародні перевезення та митний контроль», м. Київ, Україна.

REVIEWER:

Chernetskaya-Beletskaya N.B., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University, Head Department of logistics management and traffic safety vehicle, Severodonetsk, Ukraine.

Prokudin H.S., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, Head Department of International transportation and customs control, Kyiv, Ukraine.

ІНФОЛОГІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ СТВОРЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ СКЛАДЕНИХ МАТЕРІАЛІВ

Баранов Г.Л., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна
baranovgl2018@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2494-8771

Комісаренко О.С., Національний транспортний університет, Київ, Україна,
olenakomisarenko@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7436-6473

Прохоренко О.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна,
prohorenko_s@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7451-3242

INFOLOGICAL MODELING TECHNOLOGY PROCESSES OF PERSPECTIVE FOLDED MATERIALS

Baranov G.L., Doctor of Technical Science, National transport university, Kyiv, Ukraine,
baranovgl2018@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2494-8771

Komisarenko O.S., National transport university, Kyiv, Ukraine, olenakomisarenko@ukr.net,
orcid.org/0000-0002-7436-6473

Prohorenko O.M., National transport university, Kyiv, Ukraine, prohorenko_s@ukr.net,
orcid.org/0000-0002-7451-3242

ИНФОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СЛОЖЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Баранов Г.Л., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, baranovgl2018@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2494-8771

Комисаренко Е.С., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, olenakomisarenko@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7436-6473

Прохоренко А.М., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, prohorenko_s@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7451-3242

Постанова проблеми. Методи моделювання особливо нових об'єктів практичного застосування прискорюють подальший розвиток транспортної, як інших системноутворюючих галузей людської діяльності. Кожна ефективна модель з одного боку спрощена й обмежена. Вона з іншого дозволяє знаходити нові прогресивні, інноваційні рішення у дуже складних ситуаціях людської діяльності [1-7]. Тому існують відповідно різні моделі, як носії інформації. Все залежить від задач, що треба отримати про складні динамічні об'єкти, комплекси та системи. У залежності від пріоритетних задач практики відповідно до реальних (чи прогнозно-проектних) об'єктів формуються раціональні моделі з застосуванням теорії розмірності та подібності гетерогенних явищ. Вони визначають конкретний предмет дослідження в умовах його обчислювальної складності й пошуку нових техніко-технологічних рішень (ТТР) [8-14] для прогресивно складених матеріалів (ПСМ).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З моделювання взаємодії складних динамічних систем (СДС) та середовища, що його збурює. Інформаційні й інтелектуальні технології (ІТ) на сучасних етапах їх практичного застосування пропонують відповідні програмні процедури для різноманітних електронних приладів, що дозволяють вводити завдання та отримувати очікувані результати [10-18]. Значне ускладнення реальних об'єктів практики не завжди можливо за один крок відобразити адекватно за вимогами теорії розмірності й подібності. Це можливо лише для випадків конструктивного опису (досягаємо) розумної складності інтегрованої моделі [19, 20]. Мета відповідності складного натурального об'єкта моделі вимагає (подібності) та однозначності. Треба проводити декомпозицію та синтез багаторазово. Компроміс знаходимо для узгодження часткових результатів з описами реального гетерогенного різноманіття природного явища. Відомі ІТ та програмно-апаратні комплекси все частіше інтегруються (взаємодіють) в мережах Internet. Двобічний діалог за принципами «хмарних» відношень спрямовано до спрощених форм <запит-відповідь>. Але для реальних ITS такі підходи будуть результативними лише за рахунок додаткових зусиль у тому числі за напрямом інфологічного моделювання засобами ІТ невідомої, але перспективної СДС.

Обґрунтування проблеми. Глобальний розвиток ноосфери за напрямом впровадження інноваційних інформаційних технологій (ІТ) змінює форми та техніко-технологічні рішення (ТТР) на покращення засобів комунікації [15-20]. Взаємодії на всіх ієрархічних рівнях соціальної структури змінюють ергатичну систему управління (ЕСУ – Human-machine-control) об'єктами в різних галузях людської діяльності. Об'єкти сучасної та прогнозованої інноваційної техніки й технології, включаючи всі види транспорту, суттєво ускладнюються. Поява нових форм взаємодії існує за рахунок майже неперервної тенденції розширення сфери застосування, наприклад, ракетно-космічної техніки (РКТ), авіаційно-космічної техніки (АКТ), наземних та водних транспортних засобів (НТЗ, ВТЗ). Нові масштабні вимоги, потреби, запити суспільства зачіпають ЕСУ майбутніх ускладнених об'єктів [7].

Таблиця 1 – Класифікація типів невизначеності і їх зв'язок з суттєвим ризиком ЗНОС
Table 1 – Classification of types of uncertainty and their relation to the significant risk of the WEEE

Характеристики системної невизначеності СДС ITS			Ризики
№ та тип	Опис	Джерела	Причини
1 Перспективна	Система не до кінця досліджена, можлива поява невідомих факторів.	Складність системи, непередбачувані зовнішні впливи. Немоżliвість отримання даних.	Відхилення значень ключових параметрів, з негативними наслідками для запланованих.
2 Ретроспективна	Повна або часткова відсутність даних про поведінку системи у минулому.	Низька ефективність обробки інформації про систему. Втрата даних та визначальних значень.	Коливання параметрів ПСМ. Значні відхилення процесу у часі.
3 Технічна	Недостатня точність наявних інструментів аналізу та обробки.	Неефективність методів прогнозування. Суб'єктивність ОПР.	Інструментальна неточність оцінювання та кваліфікації.
4 Ситуаційна	Ймовірність повної або часткової зміни випадкової ситуації.	Складність системи. Немоżliвість передбачення змін. Непередбачувані зовнішні екстремальні впливи.	Ймовірні похибки значень ключових параметрів від запланованих та помилки.
5 Стохастична	Стохастичні процеси, що досліджуються.	Стохастичні параметри системи або процесів.	Схована стохастика у тенденціях і поведінці НТЗ ITS.
6 Структурна	Невизначеність складу керованих елементів.	Складність системи або процесу. Багатоваріантність.	Відсутність класифікації та планування. Ризик негативних наслідків.
7 Критеріальна	Невизначеність критеріїв по яким приймається рішення.	Неефективність системи багато параметричної обробки даних. Суб'єктивність ОПР.	Не формалізовано оцінювання параметрів системи (процесу). Неоднозначність умов.
8 Природна	Повне або часткове незнання реальних природних умов при прийнятті рішень.	Неможливість контролювати глобальні процеси природного середовища.	Екологічні та технологічні кумулятивні стрибкоподібні явища ПСМ.
9 Конфліктна протидія	При двосторонній взаємодії повна або часткова відсутність інформації про наміри сторін.	Різні цілі учасників. Активна і пасивна ієрархічна протидія.	Різні типи ризиків антиподні дії: (економічні, екологічні, технічні, політичні) та інші.
10 Конфліктні цілі	Необхідність врахування декількох цілей, у тому числі протилежних.	Наявність багатьох учасників, які мають різні цільові вектори дії. Неузгоджені стрибки.	Ризик зниження ефективності процесу. Ризик недосягнення цілей ПСМ ITS.

Наприклад, вимоги суттєвого зменшення шкідливих (отруйних) викидів (забруднень) від вуглеводного палива (РКТ, АКТ, НТЗ, ВТЗ) та забезпечення екологічної незалежності України стимулює до інноваційних технологій відновлюваної енергетики з прискореним розвитком електротранспорту різноманітного призначення. За прогнозами експертів парк електромобілів до 2030 року у світі буде складати біля 20% світового автопарку [1-3]. Вже зараз на шляхах України працюють 1200 електромобілів. Провідні країни з сучасного розвитку електротранспорту це Ісландія, Швеція, Норвегія, Китай, де чистота екології біологічного довкілля є ключовим критерієм при реалізації багатокритеріальних ТТР в ЕСУ інтелектуальних транспортних систем (ITS – intellectual transport systems) [6-7]. Саме значне зростання складності інтегрованої гетерогенної взаємодії СДС ITS та факторів нестаціонарного зовнішнього навколишнього оточуючого середовища (ЗНОС) є джерелом протиріччя та наслідком чому ситуація перехідного режиму (трансформації) розтягується. Фундаментальні знання, щодо стану навколишнього природного середовища надають національні офіційні доповіді [4]. Документи відповідно до існуючих та прогнозних гранично допустимих норм забруднення у локальних місцевостях сприяють вчасно визначати для ІАС сутність ризиків [5] та природоохоронних заходів для покращення екологічної ситуації з боку транспортної галузі за допомогою нових методів [6,7] обізнаності згідно реальних обмежень на ресурси включаючи задокументовані знання ІТ кожного інтелектуального агента системи (ІАС) для створення і масштабного застосування ЕСУ ITS.

Складність інноваційних проєктів, щодо реалізації актуальних техніко-технологічних завдань (ТТЗ), потребує уваги до засобів систем підтримки прийняття рішень (СППР) у єдиному інформаційному просторі (ЄІП), коли реалізується етап технологічної діагностики та контролю (ТДК) конкретного робочого процесу, як ключового елементу цілісної ЕСУ ITS. Такий консолідований інформаційний ресурс [8-11] у вигляді цілісного опису ТТА разом фіксує топологічно різні напрямки: а) потік (вхід→вихід) даних процесу перетворення за даною функціональністю; б) керуючі засоби та ресурс без яких неможливо отримати результат; в) ієрархічні відношення щодо подальшої корисності та ефективності у глобальних трансформаціях згідно цільового ТТЗ означених ІАС [20]. Саме суттєве розширення спектру актуальних (гетерогенних) взаємодій породжує додаткові складності при моделюванні перехідних процесів у СДС, що реагують на поточні та прогнозні фактори впливу ЗНОС. Подолання визначених у (табл. 1) об'єктивних складностей для задач моделювання процесів створення й застосування інноваційних матеріалів дорожнього одягу [12] є актуальним напрямом [19, 20, 21] наукових досліджень для подальшого розвитку НТЗ з глобалізованих ITS.

Мета та задачі дослідження. Мета роботи полягає у розробці методологічних основ процесорного інформатичного моделювання ПІМ для створення засобів прогнозування та випробування техніко-технологічних рішень, які гарантують якість функціонування конструктивно складених шарів завдяки ПІМ з замовленими багатокритеріальними властивостями для безпеки майбутнього транспорту.

Об'єкт дослідження – процеси автоматизованих хмарних обчислень з застосуванням ресурсів віддалених співвиконавців ІТ, компетентність ІАС яких прискорює синтез ПІМ з інноваційними фізико-хімічними властивостями за замовленнями, наприклад, для дорожнього одягу ділянок вулично-дорожніх мереж (ВДМ) та транспортно-дорожніх комплексів (ТДК) держави.

Предмет дослідження – моделі, методи та інструментальні засоби системи КМ-ПД з складових інтелектуальних інформаційних технологій ергатичного обґрунтування техніко-економічних показників на базі місцевої сировини та промислового виробництва за умов застосування інноваційних ПІМ з особливо замовленими властивостями.

Методи досліджень базуються на працях Lotfi A. Zadeh, який [13,14,19,20] розробив апарат fuzzy логіки та ситуаційного комплексування з названою fuzzy situational approach (FSA) [14]. Комплексна інтеграція компетенції ресурсів в ергатичній системі передбачає застосування: fuzzy класифікації, fuzzy логічного висновку, багатокритеріальної оцінки, порівняння та наближення до заданих вимог на графових структурах (net) [13].

Основні результати дослідження.

Семіотика базових концептів зі знаків й символів єдиного інформаційного простору програмно-апаратного комплексу (ПАК). Опис ергатичних цілей в межах складної системи взаємозв'язків, трансформації знакових ситуацій природної дійсної структури, пов'язано з визначенням типових елементів. Мета сенсу описів це ІТ для утворення знання комплексних знаків та часткових моделей. Сенсовий зміст моделі створює за часом нові символічні вивідні знання. Отримані ІАС деталі не зводяться до первинних значень окремих знаків. В практичному застосуванні семіотики засобами ІТ, створюються описи знакових моделей та реальних ситуацій. Модель згідно

стандартів [ISO-OSI,16] має семантичне, синтаксичне та прагматичне значення. Приклади символічних визначень операторів й операндів (табл. 2) для трьох класів базових операцій ПАК відома. У взаємопов'язаних та взаємообумовлених процесах ІТ застосування нової кожної пари семіотики потребують їх відповідної інтерпретації. Для майбутніх ІТ доцільно розрізняти та фіксувати процеси: декомпозиції – розмежування складних задач на прості з утворенням означеного алгоритмічного зв'язку між ними; прискореного числення операцій та функцій аналізу, пошуку, синтезу future object; побудови конструктивних адекватних робочих моделей; інтерпретації результатів вирішення вищезначених «простих» задач; обслуговування архівів та бібліотек при наявності операндів – вихідних даних (заданих моделей) та операторів програмно-інформаційних середовищ; гарантовано-адаптивне управління, яке включає оцінки ситуацій, прийняття рішення та синхронізації подій [8,9,13-20].

Таблиця 2 – Три класи базових операцій, що символічно визначені засобами ПАК КМ-ПД та реалізують дії, як оператори над операндами (типу X та Y, які означені як Data) в ІТ

Table 2 – Three classes of basic operations, symbolically defined by the PAK KM-PD and implementing actions as operators over operands (type X and Y, which are designated as DATA) in IT

№ п/п	1 – алгебраїчні й арифметичні			2 – логічні оператори		3 – відношення змінних	
	Знак	Опис дії	Семантика області дії	Опис умови	Значення типу Boolean	Опис порівняння	Сутність результату обчислення
1	+	x+y	Додавання	x and y	Множення	x>y	Більше
2	-	x-y	Віднімання	x not y	Заперечення	x<y	Менше
3	-	-x	Зміна знаку	x xor y	Виключне або (значення x та y не співпадають)	x+>=y	Більше або дорівнює
4	*	x*y	добуток	x or y	Двобічний вибір	x<=y	Менше або дорівнює
5	/	x/y	Ділення	x eqv y	Еквівалентність (значення x та y одночасно відповідні true або False)	x<>y	Немає тотожності
6	\	x\y	Зменшення x на y	x imp y	Імплікація якщо {x true} тоді [y false]	x=y	Рівність тотожна
7	Mod	x mod y	Обчислення решти	F=W	Призначення дії formula=(опис операторів та операндів)	x is y	Посилання між об'єктами
8	^	x^y	Степеневе обчислення	Function	Комбінація об'єктів, символів, змінних, функцій, процедур	x like y	Є схожість або подібність

Таким чином відбувається зростання обізнаності ІАС, як знання символічного творення, а також узагальнення, візуалізації, класифікації та формування цілісної єдиної інформаційної моделі (ЄІМ) ІТ [21].

Вирішення засобами ІТ складних задач практики й створення ПСМ пов'язано з активними, цілеспрямованими процесами: генерації, перетворення, передачі, формування різних знакових моделей. Згідно отриманих понять ІАС, що перетворюють їх засобами ІТ у конкретні ТТР. В означені моменти й фази процесів створення ПСМ виконавчими органами СДС виконується реалізація управління запланованими діями.

Багаторівневість та багатоетапність процесів, щоб отримати знання, яке створює факти і результати, вирішення складних задач пов'язані з появою в знаках, регулюючої інформації, як системи відношень сигналів змісту в значущих об'єктах. Знак не лише визначає денотат (те, що визначається даним знаком КМ-ПД), але і зображує системні властивості денотатів в системі реалій та в тезаурусі. Такі властивості ІТ фіксують в концептуальних моделях, які узагальнюють роль знаку (мета знань) в усіх процесах ПЕВО. Нами запропоновані форми таблиць, що послідовно означаємо та подаємо аналогічно відношенням між оригіналом об'єкта та модельними зображеннями.

К1 – *постановка задачі*. Опис інформації, як ідеальний задум, АВІДО-передбачення (опис ПСМ або існування майбутнього цільового ξ ШКМ).

К2 – *«Штурм розумом»*. Це пошук аналогів, прототипів обґрунтування вибору початкових smart геоматеріалів. Природні наявні об'єкти (джерела відомі) звичайно існують у вигляді продукту, товару, та послуг на постачання згідно замовлення ПЕВО ITS.

К3 – *систематизація моделей, класифікація*. Опис, як ситуаційне формотворення (очищених відфільтрованих рафінованих геоматеріалів) сировини у початкові нові продукти згідно АВІДО.

К4 – *модельовання взаємодії*. Опис коли поки ще невизначені реальні цільові витрати (маси m , сил $F=m \cdot a$ та енергії $E = \frac{mv^2}{2}$). Можливе покрокове ітераційне викладення Big Data більш детальне. Наприклад, описуємо конкретні етапи самосинтезу (гетерогенного фіз-хім-мех перетворення) вхідних хімічних сполук. Або фіксуємо (стани розв'язку задач) у синтезовану нову форму базових речовин матеріальних компонентів майбутнього ПСМ.

К5 – *ефективне доведення*. Опис отримання компонент виробничого напівпродукту ПСМ разом з допоміжними реагентами. Застосовують сукупності (молі, об'єми, маси, заряди) концентрованих часток.

К6 – *адресна раціоналізація*. Опис ПСМ передбачає покрокове доведення створення напів та ПСМ продукту у замовлені товарні форми.

К7 – *кінцеві результати й інтерпретація*. Зміст опису гетерогенних процесів СТДК (тестування, випробування, вимірювання ξ цільових фізико-хімічних властивостей) вихідного товарного продукту замовленого ITS. Описи для АСІД містять створення технологічних, інформаційних файлів. Паспорт (документ) – супроводження відвантаженого ПСМ потрібен для постачання замовнику ПЕВО на застосування результатів. В технологічних процесах (транспортної галузі ПЕВО ITS) маємо опис всіх ТТР. Для цього спрямований кожен (інтегрований електронний накопичений документ-принт. ВІН, як результат програмованих операндів, операторів ІТ комунікації відповідним чином стратифікований, структурований, зразковий згідно ДСТУ [3,4].

Мова семіотики управління режимами роботи ПАК КМ-ПД зрозуміла, але вихідні дані на початку дослідження СДС ініціюють концептуально-семантичну цільову модель (КСЦМ). Це сприймає спеціальний диспетчер управляючими модулями (ДУМ) КМ-ПД. Базові символічні поняття йому потрібні для оцінки завершення процедур, що активізують УМ вирішення задач. В наслідок орієнтованості на функції прийняття рішень, згідно КСЦМ стає достовірним факт, чи ситуативно згідно завдань ІАС створені (складені) оперативні робочі комплекси моделей відповідають: меті та задачам дослідження заданого об'єкта; вимогам та умовам, які висуваються до об'єкта; мовній формі цього цільового поняття та фактам практики ІТ, включаючи файлові інтерфейсні обміни сучасними каналами комп'ютерних мереж ПЕВО та Internet.

Семіотика процесорних інфологічних моделей методами конструктивного опису завдань і функцій для синтезу задачних об'єктів. Матеріальна основа процесів, що застосовують ІТ у будь-яких майбутніх та сучасних ринкових відношеннях між ПЕВО фіксує важливість базових техніко-технологічних характеристик кожної складової частки (елемента, модуля, агрегату, підсистеми) в цілісній фізично реальній СДС. Саме природна основа визначає економічні показники конкретних ресурсів ІТ, які згідно певної технології створюють: продукти, товари, послуги. Вони мають інтегровану вартість капітальної складової (ВКС). Активний вплив людини-оператора, яка приймає рішення в трудових відношеннях (ОПР є особою (ІАС) ПЕВО) та засобів відповідних ІТ разом визначають управлінську складову ITS. Різноманіття СОС форм, задач й завдань ергатичного управління формують лише додаткову інтелектуальну вартість (ДІВ). Реальні рух електронної складової-носіїв надає інформаційні дані для розв'язання постійно варіюємих задач управління. Енергоспоживання на живлення засобів ПАК, ІТ та Internet витрачається постійно. Тому що воно варіюється відповідно тарифів на ринках послуг телекомунікації в інвестиційно-трудоному та операційному процесі ПЕВО. Незважаючи на різноманіття матеріально-виробничих основ вони відносяться до понять ресурсів та запасів з певними техніко-технологічними обмеженнями

параметрів чисельних значень кількості та якості атрибутів природних носіїв. Складові витрат управління означають процеси обліку (аудиту), контролю, обчислень. Для досягнення мети, результатів, ефекту, користі треба далі робити оцінювання. Факт прийняття ТТР надає опис – визначення {що саме, коли, де, скільки, навіщо}. Предикативна форма факту логічних висловлювань у відповідях складає основу графіків подальших планових робіт. Вони описують режими функціонування, способи кооперації та логістичні композиції форм обслуговування. Оптимізація застосування різних засобів ІТ породжує методи автоматизації функцій і завдань виробничого й організаційного управління [21]. Тому в КМ-ПД за критеріями ефективності функціонування СДС сформовано процесорні інфологічні моделі (ПІМ). Вони аналогічно типу А, В, С мультипрограмного багатозадачного управління ресурсами та запасами даних й знань на всіх ієрархічних рівнях ПЕВО. Тому КСЦМ обслуговують ДУМ у межах ПАК типу КМ-ПД. Головне функціональне призначення ПІМ полягає у чіткому предикативному визначенні ключових відповідальних факторів А, В, С. Тоді ПАК КМ-ПД автоматизує процесорні режими взаємодії. ПІМ для *n*-х кроків визначають «що, як, навіщо» робити для гарантованого досягнення цілей управління у формі ТТР. На стратегічних, тактичних та операційних етапах використання інформативно-аналітичного забезпечення КМ-ПД застосування ПІМ проявляється як результат, що збільшує ККД ПЕВО. У наслідку відбуваються інтеграційні ефекти емергентності СДС у вигляді: підвищення продуктивності й якості продукції ІТ; покращення рентабельності й продуктивності ПАК; удосконалення збалансованості економічних активів й описів; розширення сфери застосування КСЦМ, ПІМ включаючи інвестиційну привабливість КМ-ПД, а також досвід керованого розвитку ІТS.

Аналогія з відомою системою Mathcad. Для класу засобів вирішення математичних задач застосовано текстові редактори, електронні таблиці та пакети. Для КМ-ПД маємо розширення професійної діяльності ІАС за рахунок подання чітких, достовірних, верифікованих ПІМ. Мова візуалізації речень управління за принципами зрозумілих лінгвістичних замовлень не змінює автоматичне швидке з'єднує приєднання кодових описів ПІМ, що зєднують повноту функцій, завдань і результатів обчислень.

Форми здійснювання кортежів зі складеними ІАС математичними формулами у символічному за концепцією КМ-ПД вигляді подібні аналоговим функціям. Класичне програмне вікно містить: верхній рядок заголовку; головне меню; панелі інструментів; робочу область, внизу рядок стану. Інтерфейс звичайно застосовує ribbon (рядок з базовими елементами). Відкриття нового документу за концепцією АСІД обумовлює назви Untitled в рядку назв файлів заголовку.

Розглянемо етап Plan за концепцією Agile для руху почергових перетворень ІТ від $t_0 \equiv begin$ моменту початку. Через k кроків з витратою певних відповідних гетерогенних TESIMFO ресурсів [21]. Кожний співвиконавець [21] на визначеному інтервалі часу Δt_i передає свій напрацьований результат. Коли повний технологічний контроль підтверджує, що всі m пакети узгоджені, а також вимоги, критерії, режими функціонування задовольняють тактико-технічному завданню – ТТЗ, можливі подальші дії. Головним виконавцем ПЕВО інтегрованого кооперативного використання до

остаточного заключного кроку ($t_n \equiv end$). За принципами Agile у момент $T_n \neq \sum_{n=1}^m t_{jn}$ коли якісь окремі

параметри (термінального) стану поки ще не відповідають ТТЗ, тільки тоді похибки, відхилення та недоліки корегуються. Асинхронно у межах динамічного інтервалу застосовують засоби для задоволення всіх m вимог до термінального S_{mk} стану цільового об'єкту СДС. Таким чином опис на символічних означеннях часткових моделей (табл. 3) у межах КСЦМ Plan забезпечує достовірність, повноту, гнучкість КМ-ПД. У можливих ризикованих обставинах фіксуємо план (варіанти) реалізації ІТ на принципах запропонованого ергатичного моделювання.

На інтервалі часу Δt_{0jk} , де j кількість одночасно лише на k -кроці виконуваних процесів $j=2, 3, 4, \dots$ на першій фазі $k=1$ паралельної, тобто автономної роботи. На кінці цього інтервалу у момент $T_1 = \Delta t_{0j1}$ буде інтегрований стан S_1 праці групи учасників j по узгодженому локальному коротко частковому етапі плану – програмі на означену фазу координації співвиконавців разом з головним виконавцем. На всіх наступних фазах $x_1 < k < n$ маємо двобічні дискретні події. Контролюємо чітко початковий стан та ланцюг $S(i-1)ji(k-1)$ до завершення спільних робіт

результату S_{ijk} за рахунок досягнення тривалості часу $0 < \Delta\tau_i \leq \tau_k$. Завершення без похибок, без порушень всіх вимог до доцільності, якості, надійності, ефективності означає факт виконання паралельних робіт даної кількості співвиконавців на даному етапі. Під кожним етапом k фази виконання плану-графіку спільних робіт розуміється наступне. Безумовно виконуються всі необхідні супроводження у частині забезпечення TESIMFO ресурсів, що необхідні й достатні у конкретних обсягах за конкретними показниками якості [21]. Таким чином умовно діє аксіома про самовідповідальність кожного ТПМ або співвиконавця ДУМ для головного виконавця з гарантованими режимами самоконтролю, управління та логістичного забезпечення. Таким чином всі TESIMFO якісні ресурси чітко описані, включаючи кількісні рівні обмежень. Саме така автоматизація, за явних умов дії наявними ресурсами, теоретично розриває «порочні кола нескінченності», що завжди обмежені конкретною практикою самонавчання.

Таблиця 3 – Agile інтегрована єдність функцій та завдань управління в циклах ергатичного моделювання перспективних об'єктів

Table 3 – Agile Integrated Integrity of Functions and Management Tasks in Ergonomic Perspective Cycles

Задачі кроків в циклах моделювання		Деякі приклади фазових процедур створення ШКМ		
		Вхідна речовина ШКМ	Головні функції	Конструктивні комплектуючі
1 – Plan Планування		Прогнозування постачання ресурсів	Режими роботи ланцюгових каскадів	Почерговість функцій зміни відновлення та робочих дій
2 – Decian Побудова моделей		Розрахунок параметрів	Розрахунок еквівалентних характеристик	Еквівалентування мережних несучих
3 – Build	Системна оптимізація	Рівень гарантованих навантажень	Розподіл ресурсів	Втрати міцності під час напрацювання на відмову
	Розрахунковий аналіз РБМ	Стійкість та навантаження	Надійність, стійкість, перехідні процеси	Експлуатаційний режим збурення, стійкість
4 – Test	Оцінка роботи РОМ	Комплексний вузол навантаження	Запас стійкості	Режими критичних зон
	Прийняття рішення	Вибір активів дії	Вирішення ремонтних заявки	Вибір параметрів під час експлуатації
5 – Review Формування результатів		Текстові документи математичного звіту	Системи відображення інформації	Графічні характеристики якості ШКМ

Зафіксовані вхідні умови за описом виду роботи дозволили формалізувати відношення $r_{ijk} \in R$ за чітким критерієм попередника. Для кожного учасника плану взаємодії на дискретній решітці простору реалізації завдань зафіксована пара (замовлень й одночасно заборон на завершення виконання) до моменту повного задоволення контрольованих показників якості, подібності, ефективності. Наприклад, в процесі виконання робіт на інтервалі неперервно оцінюється функціонал.

$$I = G[x(T), T] + \int_{t_n}^T \varphi(t, x, u) dt, \quad (1)$$

де функції G та φ мають неперервні частинні похідні по x_i та u , але вони різні. Топологія відповідна інтервалам часу та кроково-ситуаційно позиційного виконання інтерфейсних з'єднань для ієрархічного цільового керування динамічними процесами СДС.

Опис планового (шуканого) траєкторного руху або програмного складеного процесу взаємодії дискредитується на повній множині учасників робіт за ключовими показниками. Для ілюстрації принципу формалізації задачі обмежимо трійкою показників $\langle Z, T, U \rangle$, де $Z_i \in Z$. Тоді код

завдання Z_i – показ, якій відповідний i учасник ($i=1$ фіксується за генеральним виконавцем [21], для інших це цілочисельні значення $1 < i \leq l$) в інтервалі. Цілочисельна тривалість часу виконання почергових конкретних замовлень в обраних $t_j \in T$ єдиних одиницях виміру та одиниці оцінювання. Наприклад, 1 робоча година на шкалі єдиного всесвітнього часу. Цілочисельні витрати ресурсів на управління виробничим процесом згідно заданого $u_k \in U$ заказу, часової тривалості та критеріїв оцінювання. Принципова перевага дискретних шкал визначає еквівалентні одиниці вимірювання та інтегроване значення обсягу до отримання замовленого результату. Дискретизація у метрологічних одиницях виміру кортежу $\langle Z, T, U \rangle$ дозволяє мати початкову Excel таблицю. Наприклад, вона має n рядків відповідно кількості деталізованих замовлень. Кожен Z_i має індивідуальність й СОС внутрішньої організації. В рамках календарного плану-графіку реалізацію уніфікованої типової задачі в кортежі Z_i можемо відображати теж складну (внутрішню) кооперацію. Для цього попередньо повинні бути отримані відповідні оцінки гарантованого виконання означеного заказу. До початкового етапу розв'язування задач даного класу програмного управління ДУМ отримує опис предикативних умов правил наслідування попередніх результатів під час наступних процесів СДС. Труднощі розподілу часткових замовлень по виконавцям (різні просторові позиції місце знаходження та віддаленість їх від ДУМ виконавця) та у єдиному поточному часі обумовлені причинами чергового наслідування з додаванням нових адекватних ситуаціям даних.

Відображення змін станів – закінчених операцій у повному ПЧК обумовлює переходи від лінійної інтерпретації до дій та відношення у тривимірні просторові та тривимірні часові єдині ПЧК. Результируючі переміщення для простору X координата фіксує поточний t_1 календарний час. Тоді координати Y та Z для простору будуть допоміжні для ТТР і будуть визначати відхилення за ортогональними напрямками. Дійсно у супутніх границях-площинах явні обчислення невизначених $(x-y)$ та $(x-z)$ доповнюють відношення у тривимірному ейлеревому просторі спільної системи координат. Відхилення у площині XOZ будуть відображати ступінь ризику не виконання цілісного замовлення за причин зменшення (тобто віддалення) від цілі за всіма критеріями. Відхилення у площині XOY нехай характеризують віддалення від цілі за критеріями спорідненості причинно-наслідкових відношень. Паралельна дія за умов естафетної передачі автоматизує інші роботи за описом обраного кортежу ПМ. Наприклад, можливі суттєві наближення виконавця до цілі та зберігання ресурсу на своєчасні фази реакції ДУМ для вимірювання, контролю, тестування складних об'єктів техніки та технологій майбутнього функціонування СДС.

Значні проблемні труднощі слід визначати аналогічно за різними часовими відношеннями. Ключовий поточний час явища відображуємо за t_1 віссю відліку масштабних одиниць швидкості модельного руху у ПЧК. На ці означення впливають супутні події у площині $t_1 0 t_3$, що координуються з площиною XOZ позиційних змін. Запас часу за віссю $0 t_3$ відображує можливість завчасного коригування подій та віддалення БОН від НОН загроз та ризиків. Додатково вісь $0 t_2$ дозволяє характеризувати прискорення чи гальмування фаз виконання дій, що необхідні для наближення у часовому вимірі до планового виконання всіх вимог й критеріїв завершення складного замовлення на створення ПСМ.

Засобами IT MS Excel можливо реалізовувати алгоритми створення кращого календарного пану робіт за участю головного виконавця та всіх його співвиконавців з урахуванням вищезначених обмежень та особливостей причинно-наслідкових відношень. Значення всіх початкових даних й коефіцієнтів відповідно таблиці завдань IAS вводять вручну. Табличний процесор побудований завдяки опису функцій, які автоматично обчислюються для означення станів у шестивимірному просторі $n = 3 + 3$ метризованого ПЧК. Поточні оцінки витрат на завершені етапи дозволяють фіксувати різні витрати реалізації стратегій комплексного плану-графіку координації робіт. Порівняння керованих варіантів найкращого ТТР забезпечує знання функціональних процесів для створення ПСМ. Означено рівні структурних моделей СДС та реального природного Всесвіту.

1. Базовий склад елементів – часток (нейтрон, протон, електрон), які здатні в базових умовах ЗНОС формувати 10^{-9} атомарний нанорівень композиційних угруповань. Нульовий автоматичний опис це симплекси назв за умов без традицій декомпозиувати та розчленувати на більш дрібні частки.

2. Атомно-молекулярний склад речовин, які мають індивідуальну СОС організаційної будови. Перший опис симплексів причинно-наслідкового переходу кількісного поєднання відносин до появи нових групових властивостей. Нова якість обумовлена за рахунок нової композиційної структури та відповідних природних умов до збереження стійкості вже на рівні даної елементарної організації згідно закону хімічних періодичних властивостей.

3. Клітинний склад з власною внутрішньою організацією. Він забезпечує прямі й зворотні явища (інтеграції та ділення, розвитку та декомпозиції, злиття – поєднання та стійкості-відновлення). Другий опис симплексів з типовими структурно-організаційними процесами визначає роль контактних умов ЗНОС та поверхнево-об'ємних форм взаємодії клітинного простору. Коли інші умови ПЧК сприятливі для проникнення менших часток ЗНОС речовини у клітинний об'єкт, тоді такі явища треба обчислювати та геометрично фіксувати конкретно ПЧК.

4. Матеріально-тканинний склад забезпечує появу нових груп (інших структур-органів) з особливими елементарними стабільними функціями. Третій опис симплексів правдоподібних груп-функцій забезпечує чіткий термінально граничний рівень формотворення та визначають розподіл функцій інтерфейсних взаємовідношень між органом з тканинною оболонкою внутрішніх околів та компонентами ЗНОС. На цьому рівні визначаються стабільні елементарні гетерогенні функції граничних умов макрорівня організації СДС (самоподібність).

5. Агрегатний склад організмів і спеціальних процесів створення технологічних комплексів. Описи відображують динамічний розвиток й диференціювання навантажень впливів та реагувань внутрішньої організації в контактних вузлах взаємодії гетерогенних процесів. Четвертий опис симплексів забезпечує типову агрегацію носіїв. Суттєва різниця клітинних й матеріально-тканинних матеріальних властивостей породжує чи створює індивідуальні сполуки. Агрегатний стан кваліфікуємо для: конструктивно -твердих тіл; рідинних потоків сумішей чи в'язучих; летучих сполук з газоподібним термодинамічним рухом в змінних об'ємах СДС.

Для комплексного моделювання, оцінювання та прийняття прогнозних рішень у змінних та нестаціонарних умовах експлуатації. Досвід оперативного ГАУ реальними СДС дозволяє зафіксувати ефективність застосування інфологічних моделей в ПАК КМ-ПД. Практика у вигляді настанов дії (що зробити) характеризує системотехніку та наступні методичні рекомендації.

P1. Чіткість предикативних понять теорії та практики в описах ЄПП.

P2. Однозначність завдань стратифікації, уніфікації, декомпозиції та ієрархічних відношень повного контексту групових типових ситуацій.

P3. Єдність та ефективність цілеспрямованого вектору <мета, моделі, методи, засоби ІТ, настанови-директиви, швидкі дії, якісні ТТР>.

P4. Накопичення практичного досвіду швидких взаємодій самонавчання та самоорганізація відповідно вирішень типових задач та алгоритмічного опису предикативних комунікаційних Big Data в ПАК КМ-ПД.

P5. Знайти необхідні й достатні ресурси для отримання планових ТТР аналогів в складних конфліктних й ризикованих ситуаціях, коли не можливо звертатись до експертів з застосуванням «хмарних ІТ».

P6. Індивідуальна увага до інтерфейсів комунікаційних каналів, які реалізують стандарт ISO-9004 й принципи OSI (відкриті системи інтелектуальних взаємодій) для коригування похибок, відновлення працездатності й інноваційної якості ПАК КМ-ПД [21].

P7. Предикативні правила ІТ та формалізований досвід практики спрямовувати на застосування гетерогенних закономірностей, враховуючи, що вище означені рекомендації стосуються всіх сучасних фізичних засобів.

Комплексний видовий склад дозволяє диференціювати більш складні об'єкти [1-9,12-17], які в той же час можливо відносити до типових уніфікованих форм з стабільними життєвими циклами відповідного практичного застосування. П'ятий опис таких симплексів забезпечує уніфікацію природних процесів й явищ згідно актуальних напрямків технологічного прогресу, включаючи створення складних матеріалів та необхідних за потреб конструкцій [5-9].

Ергатичний інтелектуальний склад різноманітних СДС дозволяє визначати стани й процеси з фундаментальними явищами саморегуляції, самовідновлення, самоуправління, самоорганізації. Шостий рівень опису таких (НМІ) симплексів зачіпає мовні лінгвістичні форми прояву інтелектуальних відносин для відображення обов'язкових ознак життя. Тому інфологічні моделі повинні: описувати обміни речовин, енергії, інформації; деталізувати неперервність, дискретність, цілісність; передбачати дефектоутворення, відновлення, рівні подібності; спрямовувати створення живучості, розвитку, функціональної стійкості до впливів ймовірних нестаціонарних факторів ЗНОС.

На сучасному етапі застосування різноманітних засобів ІТ все більший розвиток набувають ергатичні засоби створення інноваційних складених матеріалів, механізмів, машин, комплексів та систем, що інтегрує в собі потреби та тенденції розвитку та впливів на прогресивні інтелектуальні транспортні інфраструктури рівнів державного для міжнародних транспортних мереж.

Висновки

1. На початкових етапах формалізації задач моделювання контактної поверхні СДС за умов взаємодії з факторами впливів ЗНОС немає апробованих знань про ступені дії кожного гетерогенного явища, що й породжує згідно отриманого завдання розв'язати проблему подолання початкової кардинальної складності, невизначеності й ризиків.

2. Формалізація необхідних та достатніх умов подібності між природними явищами та модельними процесами взаємодії спрощених фрагментів потребує багатокрокового узгодження. Документальні описи отримуємо на основі забезпечення рівностей критеріїв подібності для кожної частки, що досліджуємо. Результати можливі на спрощених (еквівалентних) моделях за поняттями математичних багатовекторних симплексних точок у багатовимірних топологічних просторах символічної алгебри.

3. Для розвитку кожної часткової задачі у межах задачної системи, яку досліджуємо за допомогою програмно-апаратного комплексу КМ-ПД, необхідно знати зафіксовані дані стосовно: початкових параметрів, стану об'єктів, що взаємодіють; умови на границях між такими контактними парами; сутність, особливість й специфіку взаємозв'язку у локальному ПЧК; умови фіксування компонентів у заданих проявах впливу довкілля; ступені адекватності, подібності, точності описів гетерогенних взаємоперетворень за напрямом головної цільової взаємодії в СДС.

4. Інтегровані знання гетерогенної взаємодії природних явищ відображають процесні інфологічні моделі, які разом з управляючими модулями у засобах прийняття розгалужених рішень гарантують показники ефективності подальших багатокрокових (можливо ітераційних) наближень до точних, прогнозних, варіативних результатів згідно етапів комплексного моделювання СДС. Методологічні основи процесного інфологічного моделювання (ПІМ) СДС, які взаємодіють разом з ЗНОС, апробовано для задач проектного створення ПСМ типу захисного одягу за спец замовленнями.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. [Електронний ресурс]/ Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Автомобільна_промисловість_України.
2. [Електронний ресурс]/ Режим доступу: <http://autoexpert.in.ua/6712-rinok-elektromobility-pidsumki-2016-roku.html>
3. [Електронний ресурс]/ Режим доступу: <http://autoexpert.in.ua/6712-rinok-elektromobility-pidsumki-2016.html>
4. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2011 році. – К. Міністерство екології та природних ресурсів України. LAT&K.-2012.-258с.
5. Налятин Н.Ю., Рябов В.А. Управление рисками в программных проектах высокой надежности // Программные продукты и системы.-№3.-2011.-с.65-67.
6. European Commission «Digital Agenda for Europe. Available online at: // <https://ec.europa.eu/digital-single-market/>
7. Smart Cities project. Available online at: <http://www.eess.europa.eu/>
8. A. Guide to the Project Management Body of knowledge (PMBOK®GUIDE) 5-th Edition PMI.-2012.-586P.
9. PRINCE2® and the IPMA® Competence Baseline [Електронний ресурс]/ Available from: // www.axelos.com/CMSPages/GetFile.aspx?guid=fad93bd9-elc7-4/86-99be-c48d3066cde3/
10. Медведєва О.М. Інтеграційний механізм ефективності комунікації в проектах: дис.докт.техн.наук:05.13.22/ О.М.Медведєва; Східноєвропейський національний університет імені В.Дала. – 2013.-448с.
11. Морозов В.В. Управління проектами: процеси планування проектних дій: Підручник / В.В. Морозов, І.В. Чумаченко, Н.В. Доценко, А.М. Чередніченко. – К.: Університет економіки та права «Крок». – 2014.-673с.
12. Рукашнікова Е.Е. Проектирование дорожных одежд в Indor Paverment / Е.Е. Рукашнікова, К.А. Лубкина, А.В. Скворцов // Томск: Изд-во Том. ун-та, 2015.-284с.-doi:10.17273/book/2015.4
13. European e-Competence Framework. Acommon European Framework for ICT Professionals in all industry sectors. CWA 1634:2014 Part1: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ecompetences.eu/e-cf-3-0-download/>

- 14.MSIS 2016 Global Competency Model for Graduate Degree Programs in information Systems.2016. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.utwente.nl/en/bit/about/MSIS-2016-ACM-AIS-curriculum.pdf>
- 15.МЕК61131-3 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ko.com.ua/node/34561>
- 16.ІЕС61131-3: языки и средства программирования [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ko.com.ua/node/34561>
- 17.Класификация технологических процессов АСУТП [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://automation-system.ru/main/11-asutp/asu-tp/45-40-klassifikacziya-texnologicheskix-processov-asu-tp.html>
- 18.Функции основных блоков SCADA-системы [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://automation-system.ru/main/62-about-scada/scada/7-427-funkczii-osnovnyx-blokov-scadan-sistemy.html>
- 19.Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений.-М.:Мир, 1976.-165 с.
- 20.Патент USA Lotfi A. Zadeh, Saied Tadayon, Bijan Tadayon; заявл. 12.03.2018, опубл. 19.07.2018, Бюл. US20180204111A1.
- 21.Комісаренко О.С. Процесні інфологічні моделі в задачах гетерогенної взаємодії складних динамічних систем та нестационарного середовища / Г.Л. Баранов, О.С. Комісаренко // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2019. – Вип. 1 (40).-с. 3-12.

REFERENCES

1. [Elektronny`j resurs]/ Rezhy`m dostupu: https://uk.wikipedia.org/wiki/Автомобільна_промисловість_України.
2. [Elektronny`j resurs]/ Rezhy`m dostupu: <http://autoexpert.in.ua/6712-rinok-elektromobility-pidsumki-2016-roku.html>
3. [Elektronny`j resurs]/ Rezhy`m dostupu: <http://autoexpert.in.ua/6712-rinok-elektromobility-pidsumki-2016.html>
4. Nacional`na dopovid` pro stan navkoly`shn`ogo pry`rodnogo seredovy`shha v Ukrayini u 2011 roci. – K. Ministerstvo ekologiyi ta pry`rodn`x resursiv Ukrayiny`. LAT&K.-2012.-258s.
5. Nalyuty`n N.Yu., Ryabov V.A. Upravleny`e ry`skamy` v programmnykh proekтах vysokoy nadezhnomy` // Programmnyye produkty y` sy`stemy.-#3.-2011.-s.65-67.
6. European Commission «Digital Agenda for Europe. Available online at: // <https://ec.europa.eu/digital-single-market/>
7. Smart Cities project. Available online at: <http://www.eess.europa.eu/>
8. A. Guide to the Project Management Body of knowledge (PMBOK®GUIDE) 5-th Edition PMI.-2012.-586P.
9. PRINCE2® and the IPMA® Competence Baseline [Електронний ресурс]/ Available from: // www.axelos.com/CMSPages/GetFile.aspx?guid=fad93bd9-elc7-4/86-99be-c48d3066cde3/
- 10.Medvyedyeva O.M. Integracijny`j mexanizm efekty`vnosti komunikaciyi v proekтах: dy`s.dokt.texn.nauk:05.13.22/ O.M.Medvyedyeva; Sxidnoyevropejs`ky`j nacional`ny`j universy`tet imeni V.Dalya. – 2013.-448s.
- 11.Morozov V.V. Upravlinnya proektamy`: procesy` planuvannya proektny`x dij: Pidruchny`k / V.V. Morozov, I.V. Chumachenko, N.V. Docenko, A.M. Cherednichenko. – K.: Universy`tet ekonomiky` ta prava «Krok». – 2014.-673s.
- 12.Rukashny`kova E.E. Proekty`rovany`e dorozhnyx odezhd v Indor Paverment / E.E. Rukashny`kova, K.A. Lubky`na, A.V. Skvorczov // Tomsk: Y`zd-vo Tom. un-ta, 2015.-284s.-doi:10.17273/book/2015.4
- 13.Europen e-Competence Framework. Acommon Europen Framework for ICT Professionals in all indastry sectors. CWA 1634:2014 Part1: [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ecompetences.eu/e-cf-3-0-download/>
- 14.MSIS 2016 Global Competency Model for Graduate Degree Programs in information Systems.2016. [Elektronny`j resurs]/ Rezhy`m dostupu: <https://www.utwente.nl/en/bit/about/MSIS-2016-ACM-AIS-curriculum.pdf>
- 15.МЕК61131-3 [Elektronny`j resurs]/ Rezhy`m dostupu: <http://ko.com.ua/node/34561>

16.IEC61131-3: yazyky`y` sredstva programy`rovany`ya [Elektronny`j resurs]/ Rezhy`m dostupu: <http://ko.com.ua/node/34561>

17.Klasy`fy`kacy`ya texnologiy`chesky`x procesov ASUTP [Elektronny`j resurs]/ Rezhy`m dostupu: [https://automation-system.ru/main/11-asutp/asu-tp/45-40-klassifikacziya-texnologicheskix-proцessov-asu-tp.html](https://automation-system.ru/main/11-asutp/asu-tp/45-40-klassifikacziya-texnologicheskix-proცessov-asu-tp.html)

18.Funkcy`y` osnovnyx blokov SCADA-sy`stemy` [Elektronny`j resurs]. Rezhy`m dostupu: <https://automation-system.ru/main/62-about-scada/scada/7-427-funkczii-osnovnyx-blokov-scadan-sistemy.html>

19.Zade L.A. Ponyaty`e ly`ngvy`sty`cheskoj peremennoj y` ego pry`meneny`e k pry`nyaty`yu pry`bly`zhennyx resheny`j.-M.:My`r, 1976.-165 s.

20.Patent USA Lotfi A. Zadeh, Saied Tadayon, Bijan Tadayon; zayavl. 12.03.2018, opubl. 19.07.2018, Byul. US20180204111A1.

21.Komisarenko O.S. Procesni infologichni modeli v zadachax geterogennoyi vzayemodiyi skladny`x dy`namichny`x sy`stem ta nestacionarnogo seredovy`shha / G.L. Baranov, O.S. Komisarenko // Visnyk Nacional`nogo transportnogo universy`tetu. – K.: NTU, 2019. – Vy`p. 1 (40).-s. 3-12.

РЕФЕРАТ

Баранов Г.Л. Інфологічне моделювання технологічних процесів створення перспективних складених матеріалів / Г.Л. Баранов, О.С. Комісаренко, О.М. Прохоренко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

Стаття присвячена розвитку методів інфологічного моделювання та документального опису імітаційного полієргатичного випробування несучих властивостей наноматеріалів, що визначають витривалість та ресурс перспективних складених матеріалів.

Формалізовано математичний опис необхідних моделей та методів для системи КМ-ПД, як програмно-апаратних комплексів полієргатичного випробування технології формування структури наноматеріалів згідно техніко-технологічних замовлень на експлуатаційні оцінки витривалості матеріалу шарів й ресурсу робочих поверхонь для безпечного руху прогнозних транспортних потоків.

Обґрунтовано особливості режимів взаємодії та мови імітаційного ергатичного моделювання для пошуку раціональних енергоефективних технологій створення матеріалів. Запропоновані аналітичні засоби, спрямовані на формування структури кремній-вуглецевих полімерів та композитів з очікуваними сило-моментними та масово-енергетичними фізико-хімічними властивостями протидіяти впливам гетерогенних факторів нестаціонарного довкілля. Формалізм інфологічного моделювання процесів забезпечує побудову умов для цілеспрямованих між атомних та молекулярних взаємодій в обмежених локальних просторових об'ємах. Формалізована параметризація взаємних функцій розподілу концентрацій, тиску та температур, які спільно прискорюють етап термодинамічної самоорганізації та керовано утворюють доменно-гранульовані структури речовин.

Інформаційно аналітичні засоби системи КМ-ПД забезпечують достовірності оцінок інтервалу витривалості, механічної міцності, інтегрованого ресурсу. Перспективні варіанти отримуємо методами моделювання та в цілому композицію. Суміші речовин витримують подібні впливи від факторів середовища та еквівалентно реагують згідно мікрофазного просторового розділення сумісних складових компонентів. Максимальні рівні енергоресурсної ефективності замовлених несучих покриттів обґрунтовують для експлуатації транспортно-дорожнього комплексу з нестаціонарними потоками рухомих об'єктів на контактних поверхнях передбачені узгоджені рівні навантажень до умов наближених до натурних.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ІНФОЛОГІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, КРИТЕРІАЛЬНА ПОДІБНІСТЬ, ТРАНСПОРТНІ ВЗАЄМОДІЇ, НЕСУЧІ ШАРИ, НАНОСТРУКТУРИ, СИНТЕЗ, ПРОСТІР САМООРГАНІЗАЦІЇ, ДОКУМЕНТАЛЬНІ РІШЕННЯ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ.

ABSTRACT

Baranov G.L. , Komisarenko O.S., Prohorenko O.M. Infological modeling technology processes of perspective folded materials. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article is devoted to the development of methods infolohichnoho modeling and simulation polierhatychnoho documentary describing the test bearing properties nanomaterials that determine the

endurance and technological resources mixtures structural components pavement layers in terms the variety effects to cover non-stationary environment and traffic.

Formalized mathematical description models and methods necessary for the system CM-PD as hardware and software testing technology polierhatychnoho structure formation nanomaterials under technical and technological orders endurance performance evaluation and resource material layers work surfaces for safe movement traffic forecasting.

The peculiarities the modes interaction and the language simulation ergatic modeling for the search rational technologies creation road materials are substantiated. The proposed analytical tools aimed at forming the structure silicon-carbon polymers and composites with expected force-moment and mass-energy physicochemical properties to counteract the effects heterogeneous factors non-stationary environment. The method infological modeling processes for providing conditions for the purposeful between atomic and molecular interactions in the limited local spatial volumes is developed. Formalized parametrization of mutual functions distribution concentrations, pressure and temperatures, which jointly accelerates the stage thermodynamic self-organization and controlledly form the domain-granular structures substances artificial structural materials (SCM) road cover.

The information analytical tools the KM-PD system provide the reliability the estimates endurance interval, mechanical strength, integrated resource, obtained by the methods simulation the MSC and in general, KSSDO. Mixtures substances withstand similar effects from environmental factors and respond equally to microphase spatial separation compatible component components. The maximum levels energy efficiency ordered load bearing coverings are the achievement for the operation the transport and road complex with non-stationary flows moving objects on the surfaces the future ITS infrastructure provided by the agreed levels multiple heterogeneous interactions.

KEY WORDS: THERMODYNAMIC SYNTHESIS, FORMATION OF NANOSTRUCTURES, DOCUMENTARIES DECISION, INFORMATION TECHNOLOGY, INFOLOHICHNE MODELING, CARRYING LAYERS TRANSPORT INTERACTION CRITERION SIMILARITY SECURITY RESOURCE SPACE SELF-ORGANIZATION.

РЕФЕРАТ

Баранов Г.Л. Инфологическое моделирование технологических процессов создания перспективных составленных материалов / Г.Л. Баранов, Е.С. Комиссаренко, А.М. Прохоренко // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУУ, 2020. – Вып. 1 (46).

Статья посвящена развитию методов инфологического моделирования и документального описания имитационного полиергатичного испытания несущих свойств наноматериалов, определяющие выносливость и ресурс технологических смесей конструктивных составляющих слоев дорожной одежды в условиях многообразия воздействий на покрытие нестационарного среды и транспортных потоков.

Формализована математическое описание необходимых моделей и методов для системы КМ-ПД, как программно-аппаратных комплексов полиергатичного испытания технологии формирования структуры наноматериалов согласно технико-технологических заказов на эксплуатационные оценки выносливости материала слоев и ресурса рабочих поверхностей для безопасного движения прогнозных транспортных потоков.

Обоснованы особенности режимов взаимодействия и языка имитационного эргатической моделирования для поиска рациональных технологий создания дорожных материалов. Предложенные аналитические средства, направленные на формирование структуры кремний-углеродных полимеров и композитов с ожидаемыми сила-моментным и массово-энергетическими физико-химическими свойствами противодействовать воздействиями гетерогенных факторов нестационарного окружающей среды. Развита метод инфологического моделирования процессов обеспечения построения условий для целенаправленных между атомных и молекулярных взаимодействий в ограниченных локальных пространственных объемах. Формализованная параметризация взаимных функций распределения концентраций, давления и температур, которые совместно ускоряют этап термодинамического самоорганизации и управляемо образуют доменно-гранулированные структуры веществ искусственных конструктивных материалов (ШКМ) покрытие дорог.

Информационно-аналитические средства системы КМ-ПД обеспечивают достоверности оценок интервала выносливости, механической прочности, интегрированного ресурса получаем методами моделирования ШКМ и в целом КСШДО. Смесей веществ выдерживают подобные воздействия от

факторов среды и эквивалентно реагируют согласно микрофазного пространственного разделения совместных составляющих компонентов. Максимальные уровни энергоресурсной эффективности заказанных несущих покрытий это достижение для эксплуатации транспортно-дорожного комплекса с нестационарными потоками подвижных объектов на поверхностях будущей инфраструктуры ITS, что предусмотрено согласованными уровнями множественной гетерогенной взаимодействия с условиями приближенных к натурным.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ИНФОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, КРИТЕРИАЛЬНОЕ СХОДСТВО, ТРАНСПОРТНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ, НЕСУЩИЕ СЛОИ, НАНОСТРУКТУРЫ, СИНТЕЗ, ПРОСТРАНСТВО САМООРГАНИЗАЦИИ, ДОКУМЕНТАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.

АВТОРИ:

Баранов Георгій Леонідович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: baranovgl2018@gmail.com, тел. 280-70-66, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 347а. <https://orcid.org/0000-0003-2494-8771>

Комісаренко Олена Сергіївна, Національний транспортний університет, асистент кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: olenakomisarenko@ukr.net, тел. +380974638845, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 347а. orcid.org/0000-0002-7436-6473

Прохоренко Олександр Михайлович, Національний транспортний університет, студент кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: kist.ntu.edu.ua@gmail.com, тел. +380664306278, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 347а. orcid.org/0000-0002-7451-3242

AUTHOR:

Baranov GL, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Professor of the Department of Information Systems and Technologies, tel. 280-70-66, Ukraine, 01010, Kyiv, street. Suvorov, 1, k. 347a. <https://orcid.org/0000-0003-2494-8771>

Komisarenko O.S., National Transport University, assistant department of information systems and technologies, e-mail: olenakomisarenko@ukr.net, tel. +380974638845, Ukraine, 01010, Kyiv, 1, M. Omelianovycha-Pavlenka Str. orcid.org/0000-0002-7436-6473

Prohorenko O.M., National Transport University, student department of information systems and technologies, e-mail: kist.ntu.edu.ua@gmail.com, tel. +380664306278, Ukraine, 01010, Kyiv, 1, M. Omelianovycha-Pavlenka Str. orcid.org/0000-0002-7451-3242

АВТОРЫ:

Баранов Л., доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры информационных систем и технологий, тел. 280-70-66, Украина, 01010, г.. Киев, ул. Суворова, 1, к. 347а. <https://orcid.org/0000-0003-2494-8771>

Комисаренко Елена Сергеевна, Национальный транспортный университет, ассистент кафедры информационных систем и технологий, e-mail: olenakomisarenko@ukr.net, тел. +380974638845, Украина, 01010, г.. Киев, ул. М. Емельяновича-Павленко, 1, к. 01. orcid.org/0000-0002-7436-6473

Прохоренко Александр Михайлович, Национальный транспортный университет, студент кафедры информационных систем и технологий, e-mail: kist.ntu.edu.ua@gmail.com, тел. +380664306278, Украина, 01010, г.. Киев, ул. М. Емельяновича-Павленко, 1, к. 01. orcid.org/0000-0002-7451-3242

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Прокудін Г.С., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри міжнародних перевезень і митного контролю, Київ, Україна.

Івохін Є.В., Професор кафедри системного аналізу та теорії прийняття рішень факультету комп'ютерних наук та кібернетики Київського національного університету імені Тараса Шевченка, доктор фізико-математичних наук, професор.

REVIEWER:

Prokudin H.S., Doctor of Engineering Sciences, professor, National Transport University, professor department of international road transportation and customs control, Kyiv, Ukraine.

Ivochin Y.V., Professor of the Department of System Analysis and Decision-Making Theory of the Faculty of Computer Science and Cybernetics of Taras Shevchenko Kyiv National University, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor.

ОРГАНІЗАЦІЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ ЗА УЧАСТЮ АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ

Борець І.В., кандидат педагогічних наук, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, boretc.irina@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4477-4716

Соколова О.Є., кандидат економічних наук, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, sokolovaelena89@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6341-0195

Соловійова О.О., кандидат економічних наук, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, elensol52@gmail.com, orcid.org/0000-0002-7089-0067

Висоцька І.І., кандидат економічних наук, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, vysotskaia@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0646-2105

ORGANIZATION OF THE MULTIMODAL TRANSPORTATION OF THE GOODS ON THE AIR TRANSPORT

Borets I.V., Ph.D., National Aviation University, Kyiv, Ukraine, boretc.irina@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4477-4716

Sokolova O.Y., Ph.D., National Aviation University, Kyiv, Ukraine, sokolovaelena89@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6341-0195

Soloviova O.O., Ph.D., National Aviation University, Kyiv, Ukraine, elensol52@gmail.com, orcid.org/0000-0002-7089-0067

Vysotska I.I., Ph.D., National Aviation University, Kyiv, Ukraine, vysotskaia@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0646-2105

ОРГАНИЗАЦИЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ С УЧАСТИЕМ АВИАЦИОННОГО ТРАНСПОРТА

Борец И.В., кандидат педагогических наук, Национальный авиационный университет, Киев, Украина, boretc.irina@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4477-4716

Соколова Е.Е., кандидат экономических наук, Национальный авиационный университет, Киев, Украина, sokolovaelena89@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6341-0195

Соловьёва Е.А., кандидат экономических наук, Национальный авиационный университет, Киев, Украина, elensol52@gmail.com, orcid.org/0000-0002-7089-0067

Высоцкая И.И., кандидат экономических наук, Национальный авиационный университет, Киев, Украина, vysotskaia@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0646-2105

Постановка проблеми.

В умовах ринкових відносин перед транспортом стають жорсткі умови щодо прискорення доставки вантажів та мінімізації витрат на транспортування. Між виробником вантажу та його споживачем створюється складна система транспортних взаємовідносин, яка повинна забезпечити високий рівень якості транспортного обслуговування вантажовласників.

Світовий досвід організації транспортних потоків як на макро-, так й на мікрорівнях показує, що перспективним напрямом мінімізації витрат та кооперації учасників процесу доставки вантажів є створення мультимодальних транспортних систем [1]. Системи такого типу дозволяють перетворити конкуруючі види транспорту у ті, що тісно взаємодіють між собою, а також є ефективним засобом кооперації технічних, експлуатаційних, технологічних можливостей усіх учасників ланцюга доставки. Участь повітряного транспорту в мультимодальних міжнародних змішаних перевезеннях вантажів дозволить прискорити доставку вантажів та підвищити ефективність, якість і розвиток зовнішньоекономічних зв'язків.

Тому, проблема організації мультимодальних перевезень вантажів за участю авіаційного транспорту є актуальною та вимагає проведення детального дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вивченням проблем розвитку транспортних систем та логістики, а також сучасних технологій перевезення вантажів займалося широке коло науковців, при цьому особливий внесок зробили: Сергєєв В.І., Міротін Л.Б., Неруш Ю.М., Ніколаєв Д.С., Прокоф'єва Т.А., Бакаєв О.О., Крикавський Є.В., Юн Г.М., Григорак М.Ю., Постан М.Я., Резер С.М., Тарабанько В.В., В.В. та ін. Окремі аспекти

мультимодальних перевезень досліджені в роботах Плужникова К.І, Мирославської С.В., Троїцької Н.А., Ташбаєва І.Е., Чубукова А.Б., Шилімова М.В., Караєєва В.І. та ін. В науковому колі, питання формування та розвитку МСПВ мають фрагментарний характер, і тому вимагають дослідження.

Унікальне географічне розташування на перехресті торговельних шляхів дозволяє Україні отримувати більше переваг від глобалізації у разі забезпечення динамічного розвитку та реалізації потенціалу транспортної інфраструктури.

В умовах інтенсивного розвитку світових торговельно-транспортних відносин та глобальних інтеграційних процесів важливого значення набуває підвищення ефективності мультимодальних перевезень вантажів між регіонами, країнами і континентами, зокрема, вантажних перевезень територією України, а також її зовнішньоекономічної діяльності.

З метою диверсифікації національної економіки в основу розвитку економіки України на найближче десятиріччя має бути покладене створення регіональних кластерів, що стосується, в тому числі, і формування кластерів у сфері транспортно-логістичних послуг, оскільки на цей час ринок транспортних і логістичних послуг є однією з галузей у світі, що найбільш динамічно розвиваються.

Основним нормативним актом у галузі мультимодальних перевезень вантажів, що регламентує комерційно-правові взаємовідносини перевізників та вантажовласників при міжнародних змішаних перевезеннях, є Нью-Йоркська Конвенція ООН про міжнародні мультимодальні перевезення вантажів, прийнята у травні 1980 року.

Виходячи зі змісту зазначеної Конвенції, основними ознаками мультимодальних перевезень вантажів є те, що у перевезеннях бере участь більше двох видів транспорту, робота яких координується і контролюється оператором мультимодальних перевезень вантажів. Крім того, укладається договір мультимодального перевезення між оператором і вантажовласником про перевезення вантажів з обумовленого місця відправлення до місця призначення, оформленого документом мультимодального перевезення, що супроводжує вантаж протягом усього процесу його доставки. При цьому оператор виступає як юридична особа, що несе відповідальність за весь процес руху вантажу, а також котирує наскрізну ставку тарифу.

Розвиток мультимодальних перевезень є перспективним напрямом розбудови транспортної системи України, оскільки дозволяє значно збільшити обсяги перевезень її територією за участю національних транспортних компаній, сприяючи підвищенню конкурентоспроможності країни на світовому ринку транспортних послуг, розвитку мережі існуючих транспортних коридорів, інтеграції транспортної інфраструктури України до світової транспортної системи.

Міністерство інфраструктури України вважає найбільш перспективним розвиток мережі мультимодальних перевезень з максимальним використанням залізниць, потужностей водного транспорту і з мінімальним залученням автомобільного. Але, на нашу думку, слід звернути увагу на залучення авіаційного транспорту, враховуючи його техніко-економічні особливості [2].

В загальному розумінні, *мультимодальна система перевезення вантажів* (МСПВ) являє собою інтегровану взаємозв'язану транспортну систему, функціональним завданням якої є прискорення, здешевлення та спрощення технологічних процедур упродовж повного ланцюга доставки «від дверей до дверей» на умовах організаційно-технологічної взаємодії всіх ланок перевізного процесу.

Поява мультимодальних систем пов'язана, перш за все, з глобальним розвитком контейнерних перевезень, а також з переходом перевізників на дискретний тип обліку та організації вантажопотоків (уніфікована «вантажна одиниця»), що призвело до зростання вартості перевезень та необхідності формування сучасної інфраструктури різних видів транспорту. Все це стало причиною зміни специфіки перевізного процесу та встановлення жорстких вимог з боку транспортної клієнтури до асортименту пропонованих послуг, рівня обслуговування, а також часу та вартості доставки вантажів [3].

Мультимодальна система перевезення вантажів заснована на внутрішній інтеграції різних видів транспорту та інших учасників перевізного процесу, що взаємодіють між собою, а також виконують свою частину роботи в межах договірних відносин та при наявності єдиного органу керування – «головної ланки». Позицію «головної ланки» встановлює або замовник, або договірне рішення всіх учасників ланцюга доставки або задається директивно. Саме тому, переважна кількість мультимодальних транспортних систем носить міжрегіональний, міжнародний або міждержавний характер [4]. При цьому, в межах відповідальності мультимодального процесу кожний з його учасників або обмежується, або відмовляється від власної автономії [5].

Під час дослідження встановлено, що для забезпечення мультимодальності необхідною умовою є включення до перевізного процесу усього комплексу операцій по складуванню, зберіганню, перевантаженню, страхуванню, митному оформленню, інформаційному забезпеченню доставки

вантажів та ін. Важливо підкреслити, що наявність єдиного оператора транспортно-логістичних послуг та певні специфічні особливості такого способу організації доставки вантажів дозволяють досягнути низки переваг мультимодальних перевезень порівняно зі звичайними системами транспортування, а саме:

- 1) надання клієнту довгострокових та якісних послуг широкого спектру відповідно з міжнародними стандартами;
- 2) наявність єдиного органу керування – «головної ланки» ланцюга доставки вантажів (оператора транспортно-логістичних послуг) з функціями керування, прогнозування, моніторингу, організації, координації та реалізації перевізного процесу;
- 3) організація доставки вантажу за оптимальним маршрутом «від дверей до дверей» та «точно в термін»;
- 4) оптимізація сукупних витрат упродовж повного ланцюга доставки вантажу;
- 5) оптимізація організаційно-технологічних процедур перевізного процесу спрямованих на мінімізацію часу та вартості доставки вантажу;
- 6) організація взаємовигідних партнерських відносин між усіма учасниками доставки вантажу;
- 7) оптимальне використання транспортних засобів та об'єктів транспортно-логістичної інфраструктури, що надає можливість комплексного використання різних видів транспорту;
- 8) ефективність системи контролю за проходженням та збереженням вантажу;
- 9) застосування сучасних транспортних технологій;
- 10) створення сприятливого клімату для розвитку конкуренції між вітчизняними та іноземними перевізниками;
- 11) залучення додаткових інвестицій;
- 12) збільшення податкових надходжень до місцевих та державного бюджетів;
- 13) забезпечення комплексного розвитку не лише транспортно-логістичного сектору країни, але й інших підсистем та елементів ринкової інфраструктури;
- 14) зростання рівня екологічності роботи транспортного комплексу.

Як свідчить світовий досвід, при ефективному управлінні мультимодальні перевезення несуть значну користь та сприяють соціально-економічному розвитку не лише окремих регіонів, але й держави в цілому.

Основним завданням в процесі організації мультимодальної системи перевезення є комплексний розвиток всіх її підсистем та елементів. Так, з точки зору системного підходу, мультимодальну систему доставки вантажів доцільно розглядати в якості складової підсистеми транспортно-логістичної системи країни, що включає в себе:

- 1) мультимодальну транспортну мережу (мережа різних видів транспорту, що забезпечують мультимодальне перевезення);
- 2) мультимодальні (міжнародні) транспортні коридори;
- 3) об'єкти мультимодальної транспортної інфраструктури (мультимодальні транспортні вузли).

Слід зауважити, що особливе місце в мультимодальній системі займають об'єкти транспортної інфраструктури, які забезпечують виконання технологічних процесів обробки вантажів в процесі перевезень та повинні відповідати таким основним умовам:

- 1) знаходження на перетині декількох транспортних шляхів різних видів транспорту (автомобільний, залізничний, водний, повітряний, трубопровідний);
- 2) розвиненість різних видів транспорту на території формування мультимодального транспортного вузлу;
- 3) наявність потужного складського та термінального комплексу для переробки різних типів вантажів та вантажних одиниць, у тому числі контейнерів;
- 4) присутність митної інфраструктури, здатної забезпечити митне супроводження вантажопотоків;
- 5) наявність фінансової інфраструктури (філій банків, страхових компаній) для надання страхових та фінансових послуг;
- 6) наявність розвинутої інформаційної інфраструктури для забезпечення інформаційної підтримки та керування технологічними процесами обробки вантажів та ін.

Мультимодальні вузли як складові елементи конкретної мультимодальної системи перевезень суттєво відрізняються між собою по своєму значенню, рівню концентрації вантажопотоків та територією впливу. Такий розподіл залежить від місця їх дислокації, проходження в зоні впливу транспортних коридорів, геополітичного положення не лише транспортного вузла, але й території, де

розташований вузол. Саме тому, при створенні мультимодального вузла, який виконував би завдання сучасного транспортно-логістичного центру, необхідно вирішувати значне коло завдань, що пов'язані не лише з удосконаленням системи управління вантажними перевезеннями, але й з ефективним розвитком потужності об'єктів вузла відповідно з потужністю вантажопотоків.

З точки зору системних уявлень, МСПВ потрібно досліджувати з різних аспектів, а саме: макро- та мікроскопічному, ієрархічному, функціональному та процесному [6]. При чому, з процесного погляду МСПВ розглядається в якості динамічного об'єкту, а з інших як статична система [6, 7].

Макроскопічний погляд на МСПВ, дозволяє її розглянути в якості складової транспортно-логістичної системи держави (регіону), виявити та проаналізувати зв'язки з зовнішнім середовищем, а також розробити стратегічні напрями розвитку в межах транспортної концепції держави.

Мікроскопічне уявлення МСПВ засноване на її дослідженні в якості сукупності підсистем та елементів, а також зв'язків, що існують між ними. Такий погляд дозволяє оцінити параметри внутрішнього середовища системи та розробити ефективну систему її управління.

Функціональний підхід спрямований на визначення МСПВ як сукупності дій (функцій), необхідних для реалізації перевізного процесу. Відповідно з цим, організація функціонування

системи забезпечується завдяки оптимальної взаємодії елементів, серед яких: будівлі, споруди, технічні засоби, обладнання, персонал.

Ієрархічне уявлення МСПВ засноване на уявленні її у вигляді сукупності одиниць, що складають системну ієрархію. В ієрархічному плані виділяються такі рівні підсистеми та елементи МСПВ: підсистема управління МСПВ, оператори та постачальники транспортно-логістичних послуг, об'єкти транспортно-логістичної інфраструктури. Кожний з цих компонентів має функціональну специфіку МСПВ в цілому і, разом з тим, має свої специфічні, нормативні, організаційні основи і види забезпечення, що вимагають своєї розробки і планування.

Процесний підхід до формування МСПВ передбачає розгляд системи у вигляді сукупності процесів, що забезпечують її функціонування та розвиток. Процеси функціонування виділяють з точки зору виконання МСПВ генеральної цілі – забезпечення перевезення вантажів. Розвиток передбачає реалізацію процесів стосовно шляхів формування та розвитку МСПВ (реконструкція, розширення, збільшення пропускної здатності тощо), а також чинників, що впливають на їх запровадження.

Процес формування МСПВ має бути зорієнтований на ефективне та якісне обслуговування системи, а також повинен складатися з етапів (рис. 1), що надають можливість оцінити стан та потенційні можливості її елементів, визначити оптимальні напрями її розвитку.

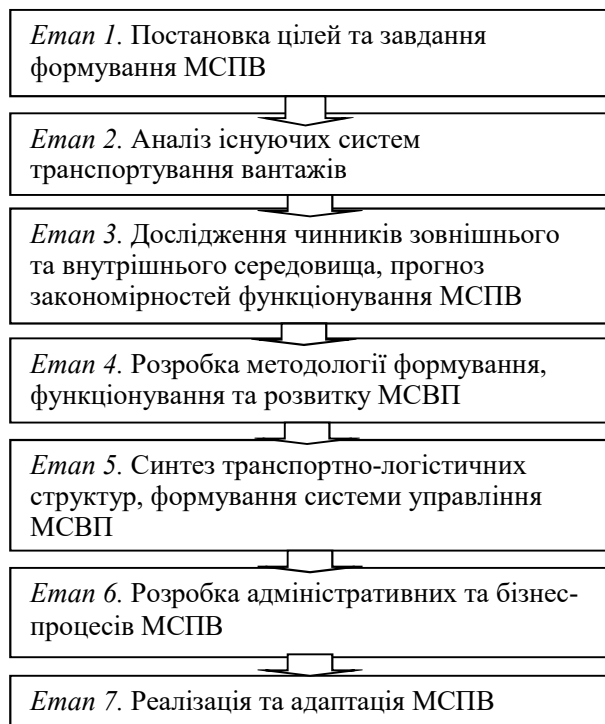


Рисунок 1 – Етапи формування та розвитку МСПВ
Figure 1 – Stages of formation and development of MSW

Процеси формування та розвитку МСПВ повинні циклічно та безперервно охоплювати етапи її життєвого циклу з урахуванням нових навколишніх умов.

Під час формування МСПВ реалізація окремих етапів (процедур) може здійснюватися не у жорсткій послідовності, а дуже часто паралельно один одному. При цьому, результати проведених досліджень на кожному з етапів підлягатимуть коригуванню в залежності від змін чинників внутрішнього та зовнішнього середовища.

У процесі дослідження встановлено, що авіаційний транспорт відіграє важливе значення в системі руху товарів, сучасний етап розвитку якого характеризується постійним збільшенням обсягів перевезень. Подібне зростання пояснюється розширенням міжнародної торгівлі товарами високого ступеня переробки і наукової продукцією, на ціни яких високі авіаційні тарифи не роблять істотного впливу. Це пов'язано також з підвищенням вимог вантажовласників до швидкості транспортування і збереження вантажу в дорозі.

Важливим моментом розвитку вантажних перевезень на повітряному транспорті є його входження в систему доставки вантажів «від дверей до дверей», тобто від пункту походження вантажу до пункту його споживання. Це передбачає наявність чіткої взаємодії і координації в національному і міжнародному масштабах як між авіакомпаніями, так і між авіакомпаніями та іншими представниками ринку транспортних послуг, в тому числі і компаніями інших видів транспорту (насамперед автомобільного). Саме тому, глобальні авіаперевізники в умовах гострої конкуренції докладають значних зусиль для зниження своїх витрат, зокрема, на основі оптимального поєднання видів транспорту в ланцюжку змішаного сполучення, де участь повітряного транспорту на далекі відстані здатне призвести до зниження сукупних витрат [8].

Розподіл вантажних перевезень між окремими видами транспорту залежить від їх особливостей та економічної переваги. При цьому для отримання оптимальної схеми взаємодії різних видів транспорту в процесі доставки вантажів можуть бути розроблені математичні, графічні, графо-аналітичні, аналітичні, статистичні та матричні моделі [9].

Методи сітьового планування не забезпечують математичної оптимізації вирішення задач, що виникають в процесі планування, організації та контролю елементарних робіт, але дозволяють суттєво поліпшити якість виконуваних робіт за рахунок додаткового пошуку резервів часу, трудових та матеріальних ресурсів.

Для визначення ефективності застосування авіаційного транспорту у системі мультимодальних перевезень пропонується використання методів сітьового планування та критеріїв прийняття рішень в процесі вибору оптимальної транспортно-технологічної схеми доставки вантажів за напрямком Урумчі (Китай) – Київ (Україна) – Львів (Україна).

В якості вантажу розглянуто штучні одиниці товару прямокутної форми розміром 11см x 11см x 8см, вага – 350 грам одиниці продукції, які компонується у вантажну партію. Перевезення вантажу здійснюється в стандартних коробках, розмір яких складає 0,5 м x 0,5м x 0,5м. В одну коробку вміщується 96 одиниць продукції вагою 34 кг. Необхідно перевезти 1920 одиниць продукції (20 коробок загальною вагою 680 кг). Вартість одиниці продукції - 380 дол. США. Вихідні дані щодо запропонованих маршрутів доставки та організації перевезень наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристика варіантів доставки вантажів

Table 1 – Characteristics of cargo delivery options

№	Характеристика маршруту	Схеми доставки
1.	Урумчі (А) - Київ (Б) -Львів (В)	Авіа + З/Т
2.	Урумчі (А) - Київ (Б) - Львів (В)	Авіа + Авто
3.	Урумчі (А) Алмати (А1) -Київ (Б) - Львів (В)	Авто + Авіа + З/Т
4.	Урумчі (А) - Алмати (А1) -Київ (Б) - Львів (В)	Авто + Авіа + З/Т + Авто

Вихідні дані щодо виконуваних технологічних операцій за різними варіантами доставки, а також розрахункові параметри для їх подальшої оптимізації зібрані в табл. 2.

Наведені в табл. 2 основні технологічні операції, що виконуються під час доставки вантажів за досліджуваними маршрутами характеризуються двома критеріями, а саме «часом» та «вартістю».

Прийняття рішення щодо вибору оптимальної схеми транспортування здійснюється за допомогою інтегрального показника, який враховує відразу два параметри і визначається за формулою 1:

$$C^* = (C_{гр} + C_{п})(1 + i)^n, \quad (1)$$

Де Сгр – закупівельна вартість товару; Сп – вартість перевезення; $(1+i)^n$ – множник нарощування відсотків за процентною ставкою $i = 15\%$ за n періодів; $n = T/365$; T – загальний час на виконання перевезення за маршрутом.

Таблиця 2 – Основні технологічні операції, що виконуються під час доставки вантажів
Table 2 – Basic technological operations performed during cargo delivery

№ роботи	Найменування роботи	Вар-ть, дол.США	Час	
			діб	год.,хв.
1	Розмитнення вантажу в пункті А	158	0,125	3 год.
2	Оформлення документів та завантаження на авто в пункті А	158	0,0625	1 год. 30 хв.
3	Оформлення документів та завантаження на авіа в пункті А	358	0,0625	1 год. 30 хв.
4	Доставка авто від пункту А до пункту А1	6808	6, 558	-
5	Доставка авіа від пункту А до пункту Б	8508	0,408	-
6	Доставка авіа від пункту А1 до пункту Б	208	0,0833	2 год.
7	Проходження митних процедур в пункті А1	2408	0,225	-
8	Розмитнення вантажу в пункті Б	358	0,125	3 год.
9	Оформлення документів та перевантаження на автомобільний транспорт в пункті Б	108	0,0625	1 год. 30 хв.
10	Оформлення документів та перевантаження на З/Т у пункті Б	88	0,0625	1 год. 30 хв.
11	Доставка авто від аеропорту від пункту Б до кінцевого пункту С (до вантажоодержувача)	188	0,34	-
12	Доставка авто від аеропорту пункту Б до залізничного вокзалу пункту Б	58	0,0225	-
13	Доставка залізничним транспортом від пункту Б до пункту С	108	0,5	-
14	Оформлення документів та перевантаження із З/Т на авто в пункті С	68	0,0625	1 год. 30 хв.
15	Доставка авто від залізничного вокзалу пункту С до вантажоодержувача	58	0,005	

Сіткова модель варіантів доставки вантажів за маршрутом Урумчі – Київ – Львів наведена на рис. 2.

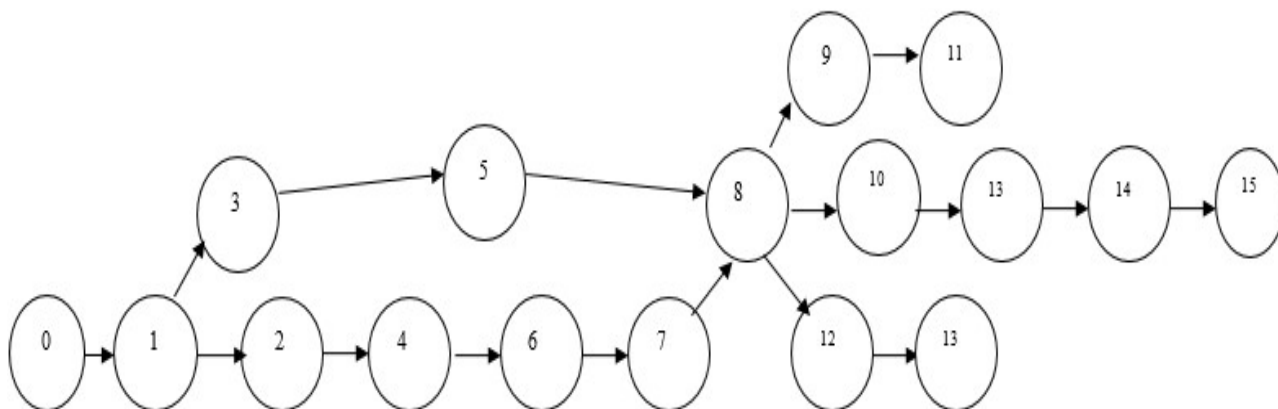


Рисунок 2 – Сіткова модель варіантів доставки вантажів за маршрутом Урумчі – Київ – Львів
Figure 2 – Network model of cargo delivery via Urumqi - Kiev - Lviv route

Отже, за результатом побудови сітьового графіка отримано 6 варіантів доставки вантажу, які включають в себе різні види транспорту, а також розраховані їх параметри за критеріями часу та вартості (табл.3).

Продовження розрахунків за допомогою даних критеріїв, наведених у таблиці 3 було здійснено шляхом їх приведення до відносних величин (табл. 4).

Таблиця 3 – Параметри транспортно-технологічних схем доставки вантажів
Table 3 – Parameters of transport and technological schemes of cargo delivery

№	Схема доставки (із зазначенням послідовності робіт)	Сумарна вартість робіт, С	Сумарний час маршруту, Т	Інтегральний показник, С *
1	0, 1 ,2, 4, 6, 7, 8, 10, 13, 14, 15	10420	7,81	15832
2	0, 1 ,2, 4, 6, 7, 8, 9,11	10394	7,58	15370,2
3	0, 1 ,2, 4, 6, 7, 8, 12, 13,	10264	7,70	15610,7
4	0, 1 ,3, 5, 8, 9, 11	9678	1,12	15597,3
5	0, 1 ,3, 5, 8, 10, 13, 14, 15	9704	1,35	2735,42
6	0, 1 ,3, 5, 8, 12, 13	9548	1,24	2517,15

Таблиця 4 – Відносні значення параметрів транспортно-технологічних схем доставки вантажів
Table 4 – Relative values of parameters of transport and technological schemes of cargo delivery

№	Схема доставки (із зазначенням послідовності робіт)	Сумарна вартість робіт, С	Сумарний час маршруту, Т	Інтегральний показник, С *
1	0, 1 ,2, 4, 6, 7, 8, 10, 13, 14, 15	1,1	6,97	6,29
2	0, 1 ,2, 4, 6, 7, 8, 9,11	1,09	6,77	6,11
3	0, 1 ,2, 4, 6, 7, 8, 12, 13,	1,07	6,88	6,20
4	0, 1 ,3, 5, 8, 9, 11	1,01	1	6,20
5	0, 1 ,3, 5, 8, 10, 13, 14, 15	1,02	1,21	1,09
6	0, 1 ,3, 5, 8, 12, 13	1	1,11	1

Для визначення оптимальної схеми доставки вантажів було розраховано критерії прийняття рішень в умовах невизначеності: Лапласа, Вальда, Гурвіца та Севіджа.

Отже, отримані результати розрахунків значень параметрів за кожною транспортно-технологічною схемою (ТТС) дають можливість визначити оптимальний варіант доставки серед запропонованих (табл. 5).

Таблиця 5 – Вибір оптимальної ТТС доставки вантажів за маршрутом «Урумчі – Київ – Львів» за критеріями прийняття рішень

Table 5 – Choosing the optimal TTS for cargo delivery on the route "Urumqi - Kiev - Lviv" according to the decision criteria

№	Критерій Лапласа	Критерій Вальда	Критерій Севіджа	Критерій Гурвіца
1	4,035	6,97	5,97	4,035
2	3,93	6,77	5,77	3,93
3	3,975	6,88	5,88	3,975
4	1,005	1,01	0,01	1,005
5	1,115	1,21	0,21	1,115
6	1,055	1,11	0,11	1,055

Висновки.

Таким чином, проведені розрахунки свідчать про те, що оптимальною транспортно-технологічною схемою доставки вантажів за всіма критеріями є маршрут №4: транспортування штучних вантажів здійснюється з Урумчі (КНР) до Києва авіаційним транспортом, з Києва до Львова – автомобільним транспортом з розмитненням та оформленням всіх необхідних документів в Урумчі (КНР) та Києві.

Отже, ефективним напрямом оптимізації перевізного процесу та створення конкурентоспроможного ринку транспортно-логістичних послуг є організація мультимодальних перевезень вантажів, що сприяє уніфікації торгово-правового режиму; є комплексним вирішенням фінансово-економічних проблем; забезпечує координацію та організаційно-технологічну взаємодію всіх ланок ланцюга доставки вантажів; сприяє комплексному розвитку інфраструктури та ресурсів різних видів транспорту та ін.

Проведені розрахунки свідчать про те, що оптимальною транспортно-технологічною схемою доставки штучних вантажів за всіма критеріями є маршрут за участю авіаційного та автомобільного транспорту. Наступним етапом наукового дослідження повинно стати розробка методологічних основ формування та розвитку мультимодальних транспортних вузлів (центрів).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Арефьев И.Б. Определение интегрального коэффициента технической эффективности транспортной единицы. – СПб: МАТ, 2007. – С. 64-65.
2. Пасевич В. Оценка классификации вероятностной функции поведения транспортного узла. – СПб: СЗТУ, «Aps-2002». – С. 168-172.
3. Ariefiev I. Problems and prospects for the development of a transport systems in multimodal process «East-Europe». Program UE «Autostrady Morske». Porty Morske. Y1 Międzynarodowa konferencja «Porty morske». – Szczecin: AM, 2006. – S. 17-23.
4. Пасевич В. Анализ и прогнозирование транспортных систем (Байесовский подход). – СПб: «Система», 2005. – 84 с.
5. Голиков Е.А., Пурлик В.М. Основы логистики и бизнес логистики. – М.: РЭА, 1993. – 161 с.
6. Шабанов А.В. Региональные логистические системы общественного транспорта: методология формирования и механизмы управления. – Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2001. – 205 с.
7. Миронюк В.П. Методологические аспекты формирования логистических систем на региональном уровне. – Ростов-на-Дону: Рост. гос. строит. ун-т, 2005. – 332 с.
8. Горохова М. Повышение эффективности использования воздушного транспорта при перевозках грузов внешней торговли в смешанном сообщении. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dissercat.com/content/povyshenie-effektivnosti-ispolzovaniya-vozdushnogo-transporta-pri-perevozkakh-gruzov-vneshne#ixzz5JuYFF9g7>
9. Модели и методы интермодальной транспортной логистики: современное состояние и перспективы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://simulation.su/uploads/files/default/ikm-mtmts-77-82.pdf>.

REFERENCES

1. Ariefiev I.B. Determination of a transport unit technical efficiency integral coefficient. – St. Petersburg: MAT, 2007. – P. 64-65.
2. Formation of a network of transport and logistics clusters as a basis for the activation of multimodal freight transportation in Ukraine [Electronic resource]. – Access mode: https://logist.academy/bal/2019/02/04/formuvannya_merezhi_transportno-logistychnyh_klasteriv/
3. Pasevich V. Estimation of a transport hub behavior probabilistic function classification. – St. Petersburg: SZTU, «Aps-2002». – P. 168-172.
4. Ariefiev I. Problems and prospects for the development of a transport systems in multimodal process «East-Europe». Program UE «Autostrady Morske». Porty Morske. Y1 Międzynarodowa konferencja «Porty morske». – Szczecin: AM, 2006. – P. 17-23.
5. Pasevich V. Transport systems analysis and forecasting (Bayesian approach). – St. Petersburg: «System», 2005. – 84 p.
6. Shabanov A. Regional logistic systems of public transport: forming methodology and management mechanisms. – Rostov-on-Don: SKNC VS, 2001. – 205 p.

7. Mironyuk V. Methodological aspects of the logistic systems forming at regional level. – Rostov-on-Don: Rostov state university of civil engineering, 2005. – 332 p.

8. Gorokhova M. Improving the efficiency of air transport in the transportation of foreign trade cargo in mixed traffic. [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.dissercat.com/content/povyshenie-effektivnosti-ispolzovaniya-vozdushnogo-transporta-pri-perevozkakh-gruzov-vneshne#ixzz5JuYFF9g7>

9. Models and methods of intermodal transport logistics: current situation and prospects. [Electronic resource]. – Access mode: <http://simulation.su/uploads/files/default/ikm-mtmts-77-82.pdf>.

РЕФЕРАТ

Борець І.В. Організація мультимодальних перевезень вантажів за участю авіаційного транспорту / І.В. Борець, О.Є. Соколова, О.О. Соловійова, І.І. Висоцька // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

В статті досліджено теоретичні основи процесів організації мультимодальної системи перевезення. Проведені дослідження ставили за мету розробку концептуальних положень організації МПВ та практичних рекомендацій щодо вибору оптимальної схеми доставки вантажів за участю авіаційного транспорту.

Визначено ефективність застосування авіаційного транспорту у системі мультимодальних перевезень за допомогою методів сітьового планування та критеріїв прийняття рішень в умовах невизначеності в процесі вибору оптимальної транспортно-технологічної схеми доставки вантажів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПОВІТРЯНИЙ ТРАНСПОРТ, МУЛЬТИМОДАЛЬНІ СИСТЕМИ, ВАНТАЖОПЕРЕВЕЗЕННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ОПЕРАЦІЇ

ABSTRACT

Borets I.V., Sokolova O.Y., Soloviova O.O., Vysotska I.I. Organization of the multimodal transportation of the goods on the air transport. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The theoretical bases of processes of organization of multimodal transportation system are investigated in the article. The conducted researches have aimed to develop conceptual provisions of the organization of IGOs and practical recommendations on the choice of the optimal scheme of cargo delivery with the participation of aviation transport.

The efficiency of the use of aviation transport in the system of multimodal transportation using the methods of network planning and criteria of decision making in the conditions of uncertainty in the process of choosing the optimal transport and technological scheme of cargo delivery is determined.

KEY WORDS: AIR TRANSPORT, MULTIMODAL SYSTEMS, CARGO TRANSPORTATION, TECHNOLOGICAL OPERATIONS

РЕФЕРАТ

Борец И.В. Организация мультимодальных перевозок грузов с участием авиационного транспорта / И.В. Борец, Е.Е. Соколова, Е.О. Соловьева, И.И. Высоцкая // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье исследованы теоретические основы процессов организации мультимодальной системы перевозки. Проведенные исследования ставили своей целью разработку концептуальных положений организации МПО и практических рекомендаций по выбору оптимальной схемы доставки грузов с участием авиационного транспорта.

Определена эффективность применения авиационного транспорта в системе мультимодальных перевозок с помощью методов сетевого планирования и критериев принятия решений в условиях неопределенности в процессе выбора оптимальной транспортно-технологической схемы доставки грузов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ВОЗДУШНЫЙ ТРАНСПОРТ, МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, ГРУЗОПЕРЕВОЗКИ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ.

АВТОРИ:

Борець Ірина Валеріївна, кандидат педагогічних наук, Національний авіаційний університет, доцент кафедри організації авіаційних перевезень, e-mail: boretc.irina@gmail.com, тел. +380635819895, Україна, 03126, м. Київ, вул. Донця Михайла 18, к. 54, orcid.org/0000-0002-4477-4716

Соколова Олена Євгенівна, кандидат економічних наук, Національний авіаційний університет, доцент кафедри організації авіаційних робіт та послуг, e-mail: sokolovaelena89@gmail.com, тел. +380638735117, Україна, 04078, м. Київ, вул. Данченка Сергія, буд.5, корпус 3, кв.50, orcid.org/0000-0001-6341-0195

Соловійова Олена Олександрівна, кандидат економічних наук, Національний авіаційний університет, доцент кафедри організації авіаційних робіт та послуг, e-mail: elensol52@gmail.com, тел. +380679139378, Україна, 03058, м. Київ, вул. Борщагівська 173/187, кв. 102, orcid.org/0000-0002-7089-0067

Висоцька Ірина Іванівна, кандидат економічних наук, Національний авіаційний університет, доцент кафедри організації авіаційних перевезень, e-mail: vysotskaia@gmail.com, тел. +380674243326, Україна, 03058, м. Київ, вул. Борщагівська 173/187, кв. 102, orcid.org/0000-0002-0646-2105

AUTHOR:

Borets I. V., Candidate of pedagogical sciences, National Aviation University, associate professor department of The Air Transportation Management, e-mail: boretc.irina@gmail.com, tel. +380635819895 Ukraine, 03126, Kyiv, M.Donca str. 18, apt. 54, orcid.org/0000-0002-4477-4716

Sokolova O.Y., Candidate of economics sciences, National Aviation University, associate professor department of organization aviation work and service, e-mail: sokolovaelena89@gmail.com, tel. +380638735117, Ukraine, 04078, Kyiv, S.Danchenko str. 5, apt. 50, orcid.org/0000-0001-6341-0195

Soloviova O.O., Candidate of economics sciences, National Aviation University, associate professor department of organization aviation work and service, e-mail: elensol52@gmail.com, tel. +380679139378, Ukraine, 03058, Kyiv, Borschagivska str. 173/187, apt. 102, orcid.org/0000-0002-7089-0067

Vysotska I.I., Candidate of economics sciences, National Aviation University, associate professor department of The Air Transportation Management, e-mail: vysotskaia@gmail.com, tel. +380674243326, Ukraine, 03058, Kyiv, Borschagivska str. 173/187, apt. 102, orcid.org/0000-0002-0646-2105

АВТОРЫ:

Борец Ирина Валерьевна, кандидат педагогических наук, Национальный авиационный университет, доцент кафедры организации авиационных перевозок, e-mail: boretc.irina@gmail.com, тел. +380635819895, Украина, 03126, г. Киев, ул. М.Донца 18, к. 54, orcid.org/0000-0002-4477-4716

Соколова Елена Евгеньевна, кандидат экономических наук, Национальный авиационный университет, доцент кафедры организации авиационных работ и услуг, e-mail: sokolovaelena89@gmail.com, тел. +380638735117, Украина, 04078, г.Киев, ул. Данченко Сергея, дом 5, корпус 3, кв. 50, orcid.org/0000-0001-6341-0195

Соловьева Елена Александровна, кандидат экономических наук, Национальный авиационный университет, доцент кафедры организации авиационных работ и услуг, e-mail: elensol52@gmail.com, тел. +380679139378, Украина, 03058, г. Киев, ул. Борщаговская 173/187, кв. 102, orcid.org/0000-0002-7089-0067

Высоцкая Ирина Ивановна, кандидат экономических наук, Национальный авиационный университет, доцент кафедры организации авиационных перевозок, e-mail: elensol52@gmail.com, тел. +380674243326, Украина, 03058, г. Киев, ул. Борщаговская 173/187, кв. 102, orcid.org/0000-0002-0646-2105

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Юн Г.М., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри організації авіаційних перевезень Національного авіаційного університету, Київ, Україна

Ложачевська О.М., доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри менеджменту Національного транспортного університету, Київ, Україна

REVIEWER:

Yun G.M., the Doctor of Technical Science, Professor, the Head of the Department of air transportation management National Aviation University, Kyiv, Ukraine

Lozhachevska O.M., the Doctor of Economic Sciences, Professor, the Head of the Department of Management National Transport University, Kyiv, Ukraine

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДРЕНАЖІВ МІЛКОГО ЗАКЛАДАННЯ В ДОРОЖНІХ КОНСТРУКЦІЯХ

Бубела А.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, bubelaandrey@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5619-003X.

RESEARCH ON THE EFFICIENCY OF SMALL PACKAGE DRAINAGE FUNCTIONING IN ROAD CONSTRUCTIONS

Bubela A.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, bubelaandrey@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5619-003X

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДРЕНАЖЕЙ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ В ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Бубела А.В., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, bubelaandrey@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5619-003X

Постановка проблеми. Основне завдання дорожнього будівництва – створення міцних, довговічних і разом з тим досить економічних дорожніх конструкцій. Тим часом при проектуванні дорожніх одягів не завжди мають місце оптимальні інженерні рішення, що призводить до великих збитків в дорожньому господарстві. Техніко-економічне обґрунтування оптимальної конструкції повинно базуватися насамперед на аналізі комплексу природних умов, в яких вона працює. Розробка методів оцінки економічної ефективності тих чи інших заходів, що регулюють водно-тепловий режим (ВТР), являє практичний інтерес.

Основна частина. Експериментально процес інфільтрації води в ґрунт проводили дослідження G.B. Bodman and C.A. Colman, T.I Marshall. and G.B. Stirk, D.E. Miller and F. Richards, B.M. Сіденко, І.І. Судніцин, та ін [1]. Аналізуючи їх роботи, можна вказати на те, що товща ґрунту, змочена інфільтрованою вологою, може бути розділена на чотири зони.

1. Зона насичення товщиною близько 1 см. У цій зоні гідравлічний напір відсутній, причому вологість шару дорівнює повній вологоємності за рахунок набухання ґрунту.

2. Перехідна зона товщиною близько 15 см. Вологість ґрунту змінюється від повної вологоємності до 70-80% від неї. Гідравлічний напір, за даними G.B. Bodman and C.A. Colman, дорівнює 30 см вод. ст., а за даними І. І. Судніцина – 50 – 70 см вод. ст.

3. Зона зволоження. Вологість ґрунту в цій зоні майже постійна з деяким зменшенням донизу, збільшення її може статися зі збільшенням глибини промочування. Гідравлічний напір дорівнює гідравлічному напору, який є в нижній частині перехідної зони.

4. Фронт змочування. Вологість ґрунту тут змінюється (зменшується) стрибкоподібно, так само зменшується і гідравлічний натиск. Межа змочування залежить від вологості ґрунту: якщо ґрунт має невелику вологість (меншу за оптимальну), то межа змочування виділяється дуже різко і пересування рідкої вологи перед нею не спостерігається.

ВТР впливає протягом року нерівномірно, відповідно до цього дорожній одяг працює з різним запасом міцності. Тому при проектуванні земляного полотна та дорожнього одягу необхідно всіляко прагнути до вирівнювання стійкості дорожнього одягу в річному періоді, що може бути досягнуто за рахунок забезпечення більшої стабільності ВТР.

Як правило, при розрахунках основним джерелом зволоження вважається волога, що звільняється при відтаванні ґрунту під проїзною частиною та узбіччями (відтіскається із нижніх шарів земляного полотна у весняний період). Проте, враховуючи той факт, що дорожній одяг та конструкція узбічч не забезпечують повної водонепроникності, кількість інфільтраційної вологи від атмосферних опадів може перевищувати кількість вологи від зимового вологонакопичення.

При повільному водовідведенні в зимовий період циклічні коливання температури можуть привести до утворення великої кількості лінз льоду. Промерзання ґрунту з утворенням льодяних лінз є однією з причин зниження його міцності при відтаванні. Зниження міцності ґрунтової основи обумовлено не тільки перезволоженням, але також розрихлюванням ґрунту, зменшенням щільності і,

можливо, зміною його структури. Міцність ґрунтів, які утримують велику кількість лінз льоду, суттєво знижується при відлигах.

Для того, щоб уникнути довготривалого перезволоження конструктивних шарів покриття і основи потрібно запобігти акумулюванню в них великої кількості вільної води шляхом влаштування дренажної системи мілкого закладання, яка швидко відведе воду та забезпечить міцність дорожньої конструкції.

У роботах [2] та [3] показано, що при відносній вологості ґрунту $W > 0,7$ переміщення води у тілі земляного полотна в основному відбувається в фазі рідини. Дослідження змін вологості ґрунтів було виконано із зразками з насипних ґрунтів і ґрунтів, взятими в умовах природного залягання.

Підчас просочення зразка ґрунту вологість верхньої його частини збільшується до величини, що відповідає найменшій вологості W_{HB} . Величина W_{HB} являє собою найбільшу кількість підвищеної води тобто води, не пов'язаної капілярно з ґрунтовою водою, яке може утримуватися ґрунтом. На рис. 1 представлена схема зволоження ґрунтів за А.І. Будаговським [4].

А.А. Роде відзначив, що вологість, яка була встановлена в межах промоченої товщі, не залежить від глибини останньої, норми поливу і початкової вологості ґрунту [5].

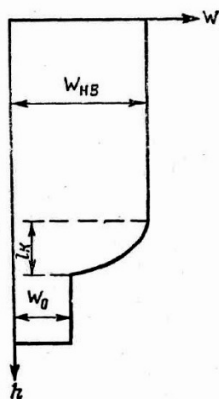


Рисунок 1 – Схема зволоження ґрунту згідно досліджень А. І. Будаговського (W_0 – початкова вологість, t_k – зона тимчасової вологості («клин вбирання»))
Figure 1 – Scheme of soil moisture according to A.I. Budagovsky's studies (W_0 – initial humidity, t_k – temporary humidity zone («wedge»))

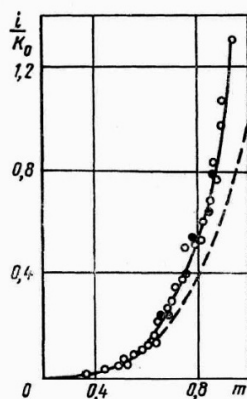


Рисунок 2 – Залежність насиченості від інтенсивності дощування:
o – пісок; • – піщаний підзолистий ґрунт (пунктирна крива – за рівнянням А. І. Будаговського)
Figure 2 – Dependence of saturation on rainfall intensity:
o – sand; • – sandy podzolic soil (dashed curve – by A.I. Budagovsky's equation)

З цим висновком слід погодитися, так як величина W_{HB} визначається, очевидно, в найбільшій мірі активністю поверхні ґрунтових частинок і агрегатів і при визначеному фізико-механічному стані ґрунту (щільність, пористість, наявність защемленого повітря) повинна бути величиною постійною.

Як видно з рис. 2, при відносній інтенсивності дощу $\frac{i}{k_0} > 0,5$ (де k_0 – коефіцієнт фільтрації) ступінь заповнення пір в промоченій частині ґрунту m починає наближатися до одиниці. При $i = k_0 \left(\frac{i}{k_0} = 1 \right)$ пори в промоченому ґрунті повністю заповнені водою, тобто $m = 1$ (пунктирна крива на рис. 2).

Для зв'язних ущільнених ґрунтів, як правило, в період осіннього вологонакопичення $i > k_0$ і тому під впливом інтенсивності дощових опадів величиною вологості, що встановлюється в промоченій товщі, можна знехтувати.

А.А. Роде вважав [6], що найбільш зручно величину W_{HB} визначати через повну вологоємність ґрунту W_{PB} , яку легко отримати за відомою об'ємною вагою скелета ґрунту $\gamma_{ск}$ і питомій вазі його твердої фази Δ зі співвідношення:

$$W_{PB} = 1 - \frac{\gamma_{ск}}{\Delta}. \quad (1)$$

На основі аналізу результатів експериментів ряду дослідників А.А. Роде для ґрунтів в природному заляганні рекомендував залежність

$$\frac{W_{HB}}{W_{PB}} = 0,55 - 0,75 \quad (2)$$

Очевидно, що співвідношення (1) не може використовуватися в тих випадках, коли об'ємна вага і пористість ґрунту виходять за межі зміни цих характеристик в згаданих експериментах. У дослідях Г.З. Біяшева, також проаналізованих А.А. Роде, було доведено, що величина відношення $\frac{W_{HB}}{W_{PB}}$ дуже сильно залежить від щільності ґрунту. Відповідні дані наведені в табл.1.

Таблиця 1 – Результати досліджень зміни вологості ґрунту в залежності від щільності [6]
Table 1 – Results of studies of density-dependent changes in soil moisture [6]

$\gamma_B, \text{г/см}^3$	Загальна пористість, % від об'єму	$W_{HB}, \%$ від об'єму	Ступінь заповнення пор ґрунту при вологості рівній $W_{HB}, \%$
1,05	60,3	29,3	49
1,25	52,8	36,1	68
1,45	45,3	39,4	78
1,65	37,7	35,9	95

З цих даних (табл. 1) видно, що для ущільнених ґрунтів співвідношення (2) не зовсім є справедливим, причому величина W_{HB} може наближатися до W_{PB} і, отже, для кожного конкретного значення щільності ґрунту значення W_{HB} має встановлюватися з окремих досліджень.

Зміна вологості в ґрунтах після поливу в ряді випадків може повністю відповідати принциповій схемі, яка наведена на рис. 1. А.А. Роде вважає, що нижче промоченого ґрунту з вологістю, яка дорівнює W_{HB} , є перехідна зона, що характеризується великими градієнтами вологості.

У ряді випадків схема на рис. 1 буде справедлива для затоплюваних природних або штучно ущільнених піщаних основ. У тих же випадках, коли мова йде про зволоження земляного полотна дощовими опадами і навіть внаслідок затоплення, ця схема не зовсім є придатною. Для регулювання ВТР, відповідно зменшення вологості дорожньої конструкції, існують декілька видів дренажів мілкового закладання [7]. З урахуванням вищенаведеного, мета роботи полягає у встановленні ефективності функціонування дорожньої конструкції під впливом атмосферних опадів та інфільтраційної вологи.

Відповідно до поставленої мети, на основі розроблених робочих креслень побудована експериментальна установка дорожньої конструкції, яка являє собою ємність розміром $4000 \times 1500 \times 1000$ мм, яка побудована з найбільшою відповідністю проведення досліджень до натурних умов та визначені основні завдання, які полягають у дослідженні процесу формування та переносу фільтраційного потоку в дренажних прошарках дорожньої конструкції а також визначенні та аналізі вологісного режиму і термінів осушення дренажних конструкцій.

Дослідження з роботи поперечних дренажів мілкового закладання в експериментальній установці дорожньої конструкції проводилися за двома варіантами влаштування дренажу.

Дренажна конструкція №1: по повному периметру траншеї розкладено геотекстильне полотно, на дно траншеї вкладається труба ПВХ, $\varnothing 100$ мм, обгорнута геотекстильним полотном, труба обсыпана крупнозернистим кварцовим піском фр. 2-3 мм.

Дренажна конструкція №2: по повному периметру траншеї розкладено геотекстильне полотно, на дно траншеї вкладається щебенева ядра фр. 20-40 мм, товщиною 10 – 11 см, по щебеному ядру розкладено геотекстильне полотно, по полотну – шар щебню фр. 5 – 10 см.

По земляному полотну та заповненій дренажній траншеї розкладено шар геотекстильного полотна. Далі – шар щебеневої суміші фр. 5 – 40 мм товщиною 12 см. Дослідження проводилися з щебеневою основою з метою прискорення процесу фільтрації в шарі основи над дренажною траншеєю та забезпечення того, щоб майже вся кількість зливових опадів попадала в дренажну конструкцію, тобто для повного заповнення дренажної конструкції водою.

З метою визначення тривалості та кількості відведення води з ґрунту земляного полотна дренажною конструкцією з поперечним дренажем мілкого закладання було визначено кількість води, що випаде на 4 м² поверхні установки дорожньої конструкції. Кількість води відповідає кількості зливових опадів 5% забезпеченості. Для розрахунку використовувались метеорологічні дані: інтенсивність зливових опадів 5% забезпеченості та тривалість злив 5% забезпеченості згідно [8]. Кількість зливових опадів 5% забезпеченості (q_{305}), м³ на 4 м² визначалась за формулою

$$q_{305} = i_{305} \cdot T_3 \cdot 4 \cdot 10^{-3}. \quad (3)$$

Для умов Київської області кількість зливових опадів 5% забезпеченості $q_{305} = 25$ дм³ на 4 м².

На основі результатів проведених вимірів побудовано графіки зміни:

- вологості в ґрунті та модуля деформації земляного полотна до зволоження та після того, як дренажна конструкція відвела воду (дренажна конструкція №1) (рис. 3, 4);
- вологості в ґрунті та модуля деформації земляного полотна та в основі дорожнього одягу до зволоження та після того, як дренажна конструкція відвела воду (дренажна конструкція №1) (рис. 5, 6);
- вологості в ґрунті земляного полотна та в основі, модуля деформації на основі дорожнього одягу до зволоження та після того, як дренажна конструкція відвела воду (дренажна конструкція №2) (рис. 7, 8).

Показники на глибині 15 см відповідають показникам ґрунту до зволоження (рис. 3). Кількісні показники на глибині 5 см свідчать про те, що ґрунт протягом 40 хвилин після зволоження починає насичуватись вологою (рис. 3). Середня вологість ґрунту до зволоження складає 11,3 %, Середня вологість ґрунту після зволоження водою – 13,13%. Після зволоження ґрунту земляного полотна кількістю води, що відповідає зливовим опадам 5 % забезпеченості (для умов Київської області у весняний період) відбувається зменшення модуля деформації в середньому на 34 %.

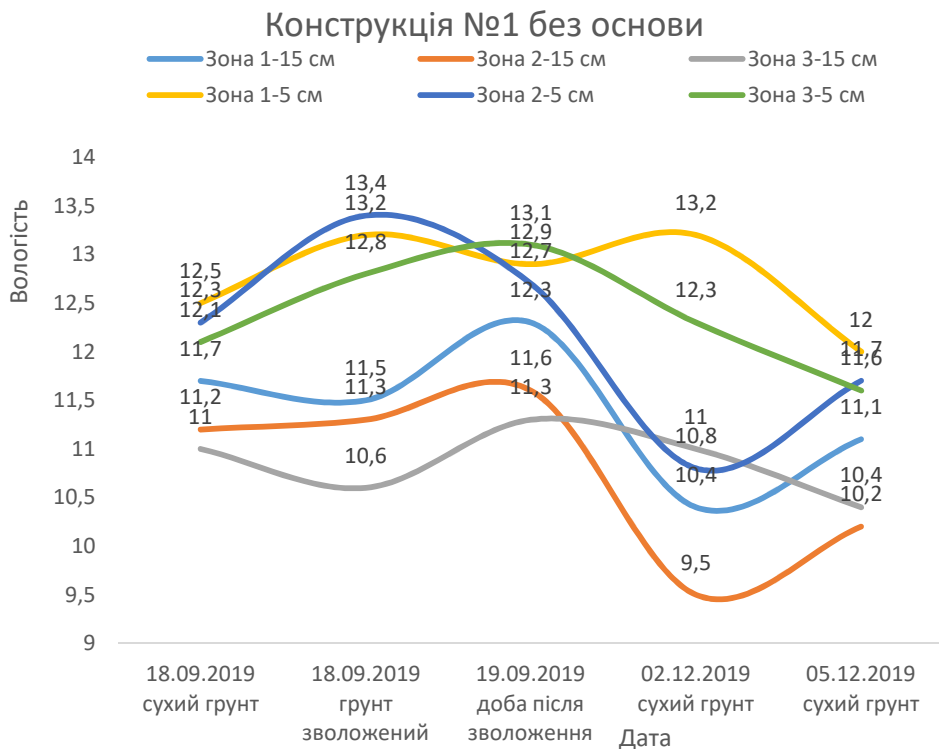


Рисунок 3 – Порівняння результатів вимірювань вологості в ґрунті земляного полотна до зволоження та після того, як дренажна конструкція відвела воду (дренажна конструкція №1)

Figure 3 – Comparison of results of measurements of humidity in soil of soil before moistening and after drainage structure diverted water (drainage structure No. 1)

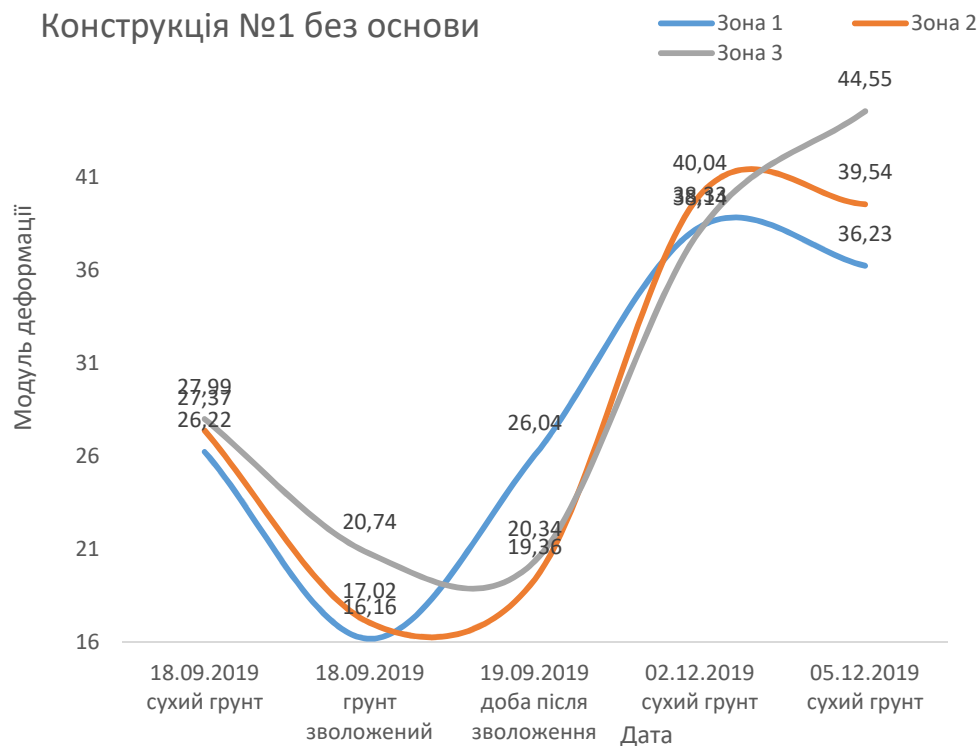


Рисунок 4 – Порівняння результатів вимірювань модуля деформації земляного полотна до зволоження та після того, як дренажна конструкція відвела воду (дренажна конструкція №1)
 Figure 4 – Comparison of the results of measurements of the modulus of deformation of the earthen cloth before moistening and after the drainage structure diverted water (drainage structure No. 1)

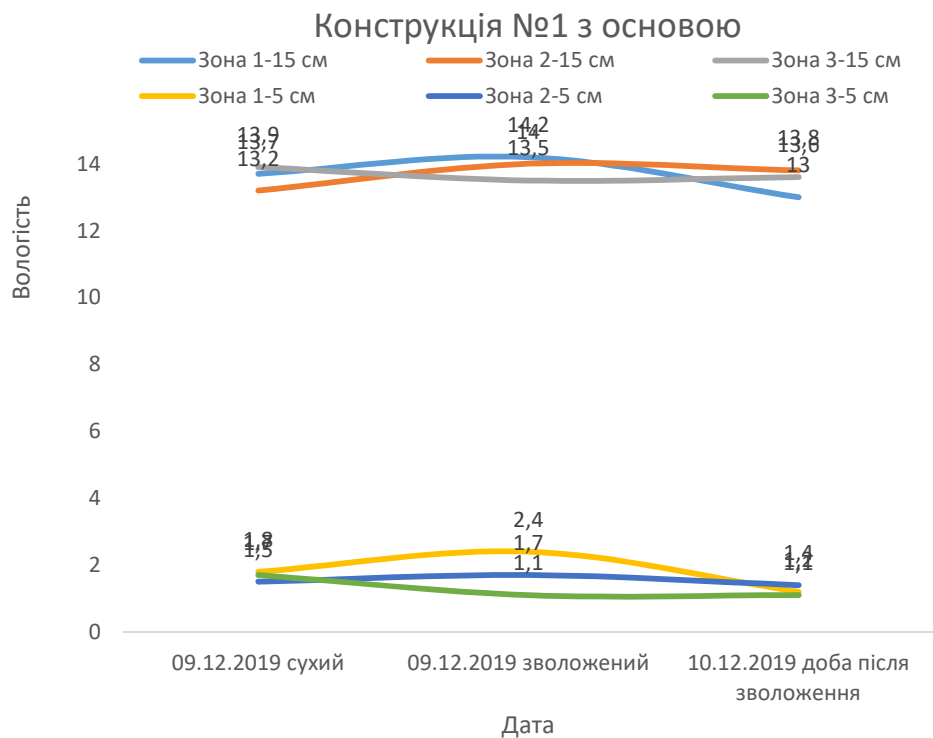


Рисунок 5 – Порівняння результатів вимірювань вологості в ґрунті земляного полотна та в основі дорожнього одягу до зволоження та після того, як дренажна конструкція відвела воду (дренажна конструкція №1)
 Figure 5 – Comparison of results of measurements of humidity in soil of soil and in the basis of road clothes before moistening and after drainage structure diverted water (drainage structure No. 1)

При збільшенні вологості у верхній зоні земляного полотна зменшується модуль деформації. Навпаки після просушування ґрунту з часом вологість зменшується орієнтовно на 10%, що суттєво впливає на значення модуля деформації, який збільшується майже в 2 рази (рис. 3 – 4). Дослідження на конструкції №1 повторили через декілька днів. Результат досліджень відповідав першим вимірам. Конструкція також відвела близько 6 л води з 25 л і майже за той же термін до 40 хвилин.

Спостерігається суттєва різниця, майже в 10 раз, між вологістю ґрунту земляного полотна та вологістю щебеневого шару основи (рис 5). Перевищення вологості ґрунту спостерігається, як до зволоження так і після, вологість щебню майже не змінюється. Зниження модуля деформації на щебеневій основі свідчить про недостатню щільність основи (рис. 6), але основна задача дослідження полягає в прискореному процесі фільтрації.

При проведенні досліджень на дренажній конструкції №2 залишається тенденція щодо малої зміни вологості шару щебеневі основи, а також збільшення модуля пружності при зменшенні вологості (рис. 7, 8).

Суттєво відрізняється процес відведення води з дренажної конструкції №2. Після зволоження (25 л на 4 м²) було відведено 80% води за 63 хвилини, що свідчить про високу ефективність роботи дренажної конструкції №2.

За результатами проведених досліджень можна зробити висновок, що швидкість водовідведення дренажної конструкції №1 вища ніж дренажної конструкції №2, про що свідчить крутість підйому ліній на графіку (рис. 9). Але водовідведення у кількісному співвідношенні конструкції №2 суттєво перевищує конструкцію №1, майже в 3,5 рази. При цьому слід звернути увагу на те, що вологість ґрунту була невеликою і складала до 15 %. Таким чином дренажна конструкція №2 є ефективнішою в роботі, але лишається відкритим питання щодо тривалості її роботи, оскільки при такому суттєвому водовідведенні вона може швидше замулюватись. Дренажна конструкція №1 має меншу здатність віддавати воду, наповнювач дренажної траншеї поглинає велику кількість води і тримає її. Але труба ПВХ перфорована отворами, що відповідають розмірам дренажного наповнювача, не так швидко буде замулюватись і матиме більш тривалий строк служби.

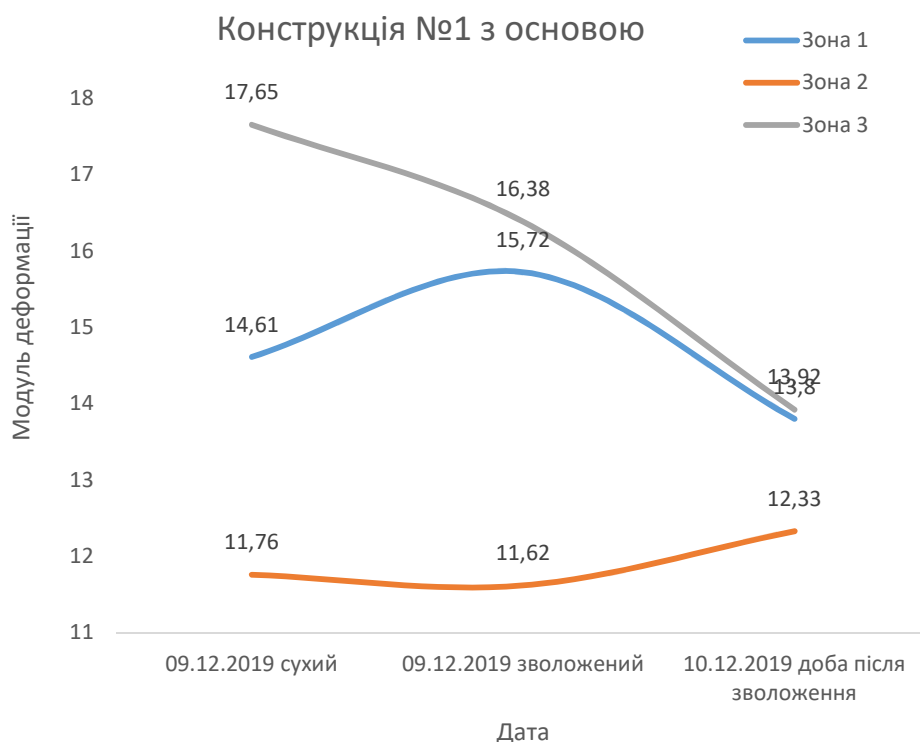


Рисунок 6 – Порівняння результатів вимірювань модуля деформації земляного полотна та основи дорожнього одягу до зволоження та після того, як дренажна конструкція відвела воду (дренажна конструкція №1)
 Figure 6 – Comparison of the measurement results of the deformation module of the earthenware and the basis of the road surface before wetting and after the drainage structure diverted water (drainage structure No 1)

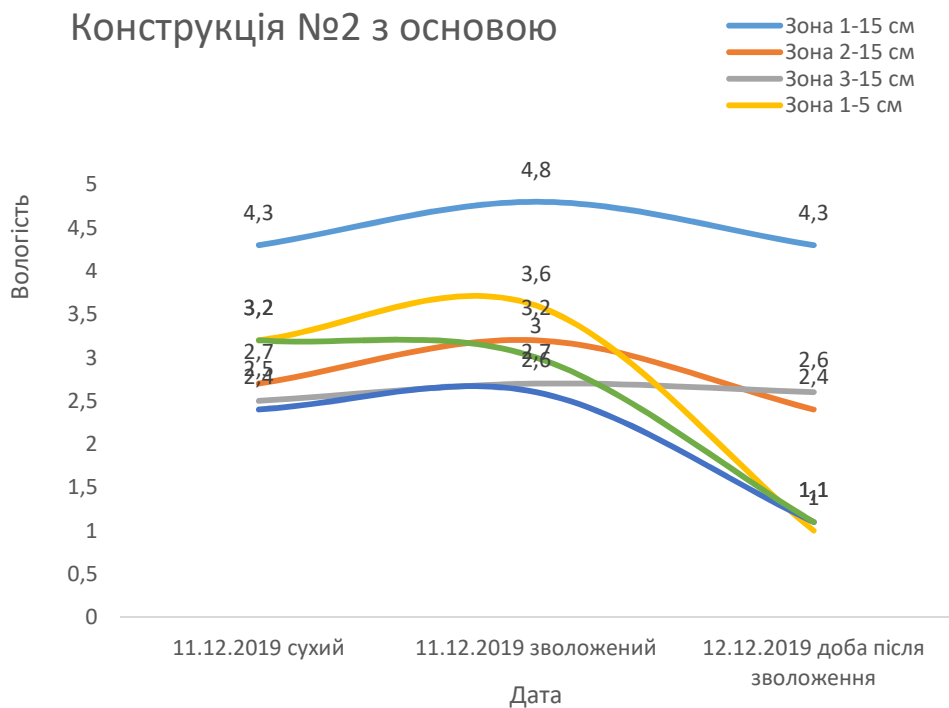


Рисунок 7 – Порівняння результатів вимірювань вологості в ґрунті земляного полотна та в основі дорожнього одягу до зволоження та після того, як дренажна конструкція відвела воду (дренажна конструкція №2)

Figure 7 – Comparison of results of measurements of humidity in soil of soil and in the basis of road clothes before moistening and after drainage structure diverted water (drainage structure No. 2)

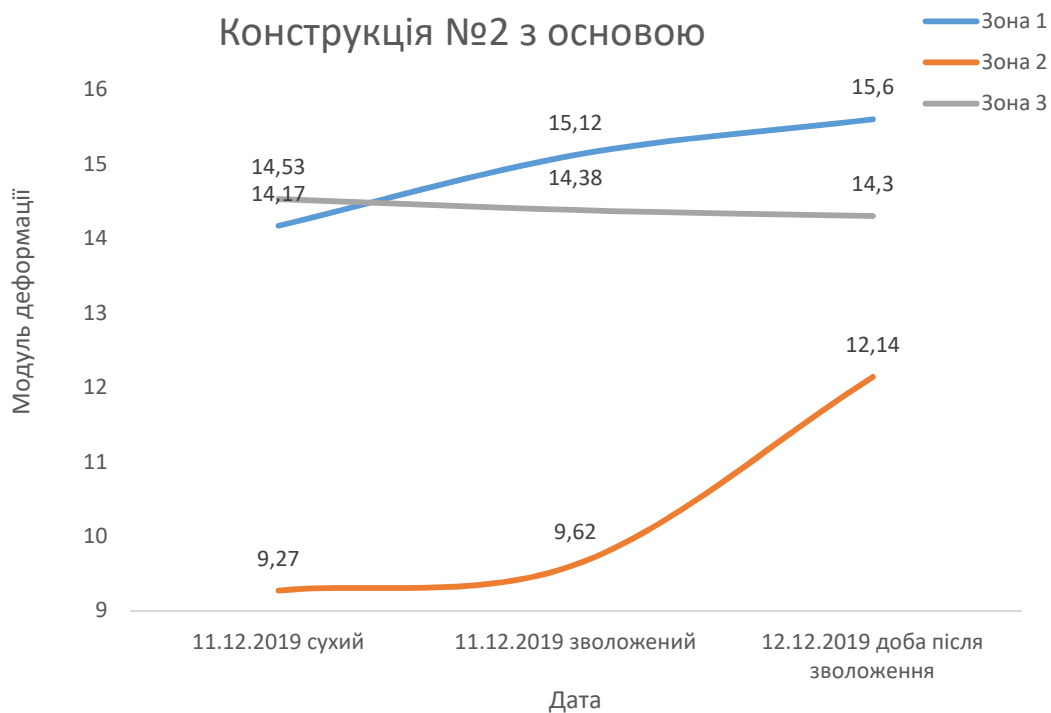


Рисунок 8 – Порівняння результатів вимірювань модуля деформації на основі дорожнього одягу до зволоження та після того, як дренажна конструкція відвела воду (дренажна конструкція №2)

Figure 8 – Comparison of the results of measurements of the deformation module on the basis of road wear before wetting and after the drainage structure diverted water (drainage structure No. 2)

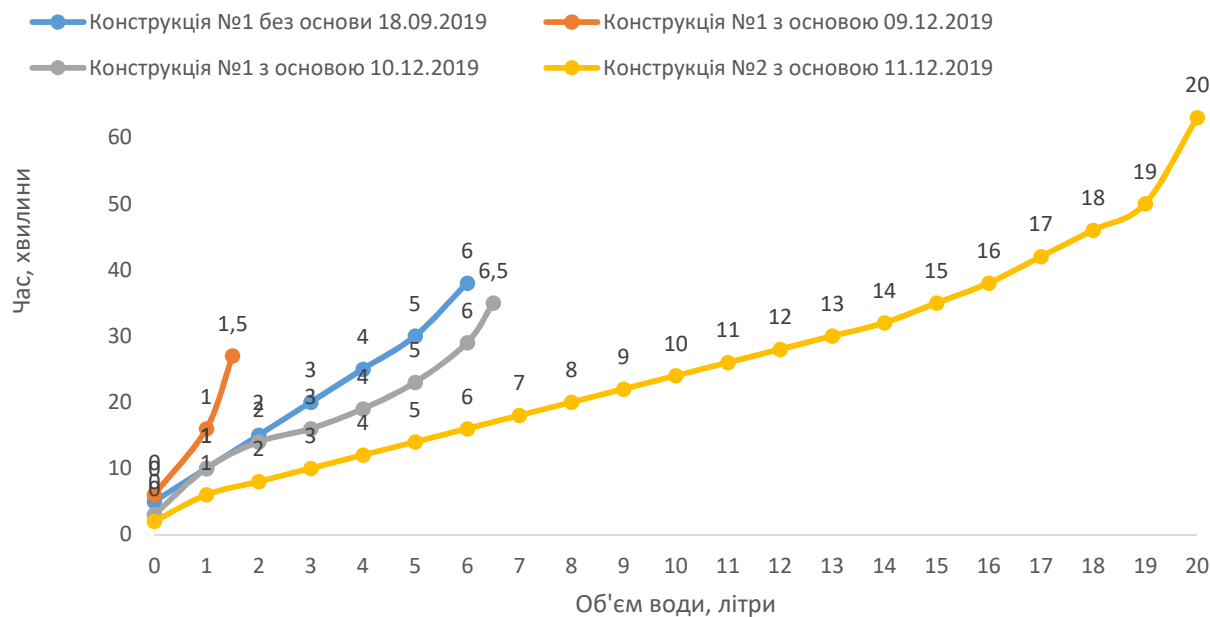


Рисунок 9 – Графік залежності кількості відведення води від часу
Figure 9 – Graph of the amount of water drainage versus time

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Леонович Н. И., Вырко Н. П. Механика земляного полотна, Минск, 1973.
2. Пузаков Н.А, Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог. М., 1960.
3. Сиденко В.М. Расчет и регулирование водно-теплого режима дорожных одежд и земляного полотна. М., 1962.
4. Будаговский А.И. Впитывание воды в почву. М., 1955
5. Роде А.А. Почвенная влага. М., 1952
6. Сиденко В.М. Теоретические основы водно-теплого режима дорожных одежд и грунтовых оснований в условиях недостаточного увлажнения. «Труды ХАДИ», вып. 28., изд ХГУ, 1962.
7. ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво»
8. Довідник № 4. Кліматичні характеристики та кліматичне районування території України для регулювання водно-теплого режиму в дорожньому будівництві / УКРАВТОДОР: НТУ, 2018 р. – 98 с.

REFERENCES

1. Leonovich N.I., Vyirko N.P. (1973). Mekhanika zemlyanogo polotna [Subgrade mechanics], Minsk.
2. Puzakov N.A. (1960). Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna avtomobil'nykh dorog [Water-thermal regime of the roadbed of roads]. M [in Russian].
3. Sidenko V.M. (1962). Raschet i regulirovaniye vodno-teplovogo rezhima dorozhnykh odezhd i zemlyanogo polotna [Calculation and regulation of the water-thermal regime of pavement and roadbed]. M [in Russian].
4. Budagovskiy A.I. (1955). Vpityvaniye vody v pochvu [Absorption of water into the soil]. M [in Russian].
5. Rode A.A. (1952). Pochvennaya vlaga [Soil moisture]. M [in Russian].
6. Sidenko V.M. (1962). Teoreticheskiye osnovy vodno-teplovogo rezhima dorozhnykh odezhd i gruntovykh osnovaniy v usloviyakh nedostatochnogo uvlazhneniya [Theoretical foundations of the water-thermal regime of pavements and soil bases in conditions of insufficient moisture]. «Trudy KHADI», vyp. 28., izd KHGU [in Russian].
7. DBN V.2.3-4:2015. (2015). «Avtomobil'ni dorohy. Chastyna I. Proektuvannya. Chastyna II. Budivnytstvo» [Highways. Part I. Designing. Part II. Construction]. [in Ukrainian].

8. Dovidnyk № 4. (2018). Klimatychni kharakterystyky ta klimatychne rayonuvannya terytoriyi Ukrainy dlya rehulyuvannya vodno-teplovoho rezhymu v dorozhn'omu budivnytstvi [Climatic characteristics and climatic zoning of the territory of Ukraine for regulation of the water-thermal regime in road construction] / UKRAVTODOR: NTU. – 98 s.

РЕФЕРАТ

Бубела А.В. Дослідження ефективності функціонування дренажів мілкового закладання в дорожніх конструкціях / А.В. Бубела // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

В статті запропоновано та проаналізовано види дренажів мілкового закладання для ефективного відведення вологи, яка накопичується в дорожніх конструкціях.

Об'єкт дослідження – дренажні системи водовідведення дорожньої конструкції.

Мета роботи – встановлення ефективності функціонування дорожньої конструкції під впливом атмосферних опадів та інфільтраційної вологи.

Для уникнення довготривалого перезволоження шарів покриття і основи дорожньої конструкції необхідно запобігти акумулюванню в них великої кількості вільної води шляхом влаштування дренажної системи, яка швидко відведе воду та забезпечить її міцність. Дослідження роботи поперечних дренажів мілкового закладання в експериментальній установці дорожньої конструкції проводилося за двома варіантами дренажної конструкції. Були проведені заміри модуля деформації, вологості ґрунту, абсолютної вологості в ґрунті земляного полотна та щебеневого шару основи. Після просушування ґрунту з часом абсолютна вологість зменшується орієнтовно на 10%, що суттєво впливає на значення модуля деформації, який збільшується майже в 2 рази.

Результати статті можуть бути впроваджені в розроблення дорожньо-будівельних норм з будівництва лінійно-протяжних об'єктів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОМОБІЛЬНА ДОРОГА, ДРЕНАЖ МІЛКОГО ЗАКЛАДАННЯ, КОНСТРУКЦІЯ, ВОЛОГІСТЬ, МОДУЛЬ ДЕФОРМАЦІЇ, ЗЕМЛЯНЕ ПОЛОТНО, ШАР ПОКРИТТЯ, ШАР ОСНОВИ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА УСТАНОВКА.

ABSTRACT

Bubela A.V. Research of efficiency of functioning of drainage of small laying in road constructions. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article proposes and analyzes the types of small drainage drainage for the effective removal of moisture accumulated in road structures.

Object of study - drainage systems for drainage of road construction.

Purpose of the work is to determine the effectiveness of the road structure under the influence of precipitation and infiltration moisture.

To avoid long-term wetting of the pavement layers and the foundation of the road structure, it is necessary to prevent the accumulation of a large amount of free water in them by arranging a drainage system that will quickly drain the water and ensure its strength. The study of the transverse drainage of shallow laying in the experimental installation of the road structure was carried out according to two variants of the drainage structure. Measurements were made of the modulus of deformation, soil moisture, absolute soil moisture content of the soil and the gravel layer of the substrate. After drying the soil over time, the absolute humidity decreases by about 10%, which significantly affects the value of the modulus of deformation, which increases almost 2 times.

The results of the article can be implemented in the development of road building standards for the construction of linear objects.

KEYWORDS: CAR ROAD, DRAINAGE OF SMALL PAYMENT, CONSTRUCTION, MOISTURE, DEFORMATION MODULE, EARTH FLOOR, COATING BACK, BASE LAYER, EXPERIMENTAL INSTALLATION.

РЕФЕРАТ

Бубела А.В. Исследование эффективности функционирования дренажей мелкого заложения в дорожных конструкциях / А.В. Бубела // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье предложены и проанализированы виды дренажей мелкого заложения для эффективного отвода влаги, которая скапливается в дорожных конструкциях.

Объект исследования – дренажные системы водоотвода дорожной конструкции.

Цель работы – установление эффективности функционирования дорожной конструкции под воздействием атмосферных осадков и инфильтрационной влаги.

Во избежание длительного переувлажнения слоев покрытия и основания дорожной конструкции необходимо предотвратить аккумулярованию в них большого количества свободной воды путем устройства дренажной системы, которая быстро отведет воду и обеспечит ее прочность. Исследование работы поперечных дренажей мелкого заложения в экспериментальной установке дорожной конструкции проводилось по двум вариантам дренажной конструкции. Были проведены замеры модуля деформации, влажности грунта, абсолютной влажности в грунте земляного полотна и щебеночного слоя основания. После просушки грунта со временем абсолютная влажность уменьшается ориентировочно на 10%, что существенно влияет на значение модуля деформации, который увеличивается почти в 2 раза.

Результаты статьи могут быть внедрены в разработку дорожно-строительных норм по строительству линейно-протяженных объектов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ, ДРЕНАЖЫ МЕЛКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ, КОНСТРУКЦИЯ, ВЛАЖНОСТЬ, МОДУЛЬ ДЕФОРМАЦИИ, ЗЕМЛЯНОЕ ПОЛОТНО, СЛОЙ ПОКРЫТИЯ, СЛОЙ ОСНОВЫ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА.

АВТОР:

Бубела Андрій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: bubelaandrey@ukr.net, тел.: +380505535594, Україна, 01010, Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, номер ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5619-003X>.

AUTHOR:

Bubela Andriy Volodymyrovych, Ph.D., associate professor, National Transport University, associate professor of the department of transport construction and property management, e-mail: bubelaandrey@ukr.net, tel.: +380505535594, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., 1, id ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5619-003X>

АВТОР:

Бубела Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры транспортного строительства и управления имуществом, e-mail: bubelaandrey@ukr.net, тел.: +380505535594, Украина, 01010, Киев, ул. Омеляновича-Павленка 1, номер ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5619-003X>.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Павлюк Д.О., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою, Київ, Україна.

Гамеляк І.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри аеропортів, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Pavlyuk D.O., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, Head of the Department of Road Design, Geodesy and Land Management, Kyiv, Ukraine.

Gamelak IP, Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, Head of the Department of Airports, Kyiv, Ukraine.

МОДЕЛЮВАННЯ ТА КОНФІГУРУВАННЯ ІР-ТЕЛЕФОНІЇ ПРИ ЕМУЛЯЦІЇ МЕРЕЖ ЗАСОБАМИ СИСТЕМИ CISCO PACKET TRACER

Будя О.П., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, alex_budy@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2998-5440

Скопєнь М.М., кандидат економічних наук, Київський університет туризму, економіки і права, Київ, Україна, 0675076531@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0440-446X

Гавриленко О.В., кандидат фізико-математичних наук, НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна, iem.gavrilenko@meta.ua, orcid.org/0000-0003-0413-6274

MODELING AND CONFIGURING IP TELEPHONY IN THE PROCESS OF EMULATION OF NETWORKS BY MEANS OF CISCO PACKET TRACER SYSTEM

Budia O., Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, alex_budy@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2998-5440

Skopen M., Candidate of Economical Sciences, Kyiv University of Tourism, Economics and Law, Kyiv, Ukraine, 0675076531@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0440-446X

Havrylenko O., Candidate of physical and mathematical Sciences, NTUU «Igor Sikorsky KPI », Kyiv, Ukraine, iem.gavrilenko@meta.ua, orcid.org/0000-0003-0413-6274

МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОНФИГУРИРОВАНИЕ IP-ТЕЛЕФОНИИ ПРИ ЭМУЛЯЦИИ СЕТЕЙ СРЕДСТВАМИ СИСТЕМЫ CISCO PACKET TRACER

Будя А.П., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, alex_budy@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2998-5440

Скопєнь Н.М., кандидат экономических наук, Киевский университет туризма, экономики и права, Киев, Украина, 0675076531@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0440-446X

Гавриленко Е.В., кандидат физико-математических наук, НТУУ «КПИ имени Игоря Сикорского», Киев, Украина, iem.gavrilenko@meta.ua, orcid.org/0000-0003-0413-6274

Постановка проблеми. Аналіз використання системи Cisco Packet Tracer в сучасному навчальному процесі для моделювання комп'ютерних мереж свідчить про відсутність розкриття специфіки емуляції та конфігурування ІР-телефонії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В ряді відомих літературних джерел достатньо добре розглянуто принципи функціонування комп'ютерних мереж [1, 5-7 та ін.] та загальні питання організації і роботи ІР - телефонії [3]. Окрім того, достатньо розкрито використання програмного продукту Cisco Packet Tracer при емуляції та симуляції комп'ютерних мереж [2]. Однак, на жаль, жодне видання не дає відповіді, яким чином на платформі Cisco Packet Tracer можна здійснити моделювання та конфігурування ІР - телефонії. Хоча в мережі Інтернет спостерігаються окремі фрагменти розпорошеного та не систематизованого матеріалу щодо поставленого питання в даній роботі.

Мета статті. Запропонувати алгоритм побудови топології та програмний код конфігурування ІР-телефонії в мережі передачі даних та голосу на платформі Cisco Packet Tracer.

Основні результати дослідження. ІР (Internet Phone) – телефонія або Voice over IP (VoIP) – технологія передачі голосу через мережу, яка з'явилася в університеті штату Іллінойс (США) у 1993 році і на сьогодні є популярною, оскільки вона забезпечує низьку вартість телефонного дзвінка, високу якість зв'язку, безпеку з'єднання, а також можна використовувати звичайний (аналоговий) телефон або комп'ютер.

Система Cisco Packet Tracer розроблена у вересні 2000 року компанією Cisco (м. Сан Хосе, штат Каліфорнія) і рекомендована для використання при вивченні комп'ютерних мереж, у тому числі IP - телефонії, а також для проведення занять у закладах освіти.

Алгоритм моделювання та конфігурування IP-телефонії на платформі Cisco Packet Tracer складається з наступних етапів:

- побудова топології мережі з IP-телефонією;
- налаштування інтерфейсів комутатора на голосовий VLAN;
- налаштування на роутері сервісів DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol – протоколу динамічного налаштування вузла), FTP (File Transfer Protocol – протоколу обміну файлами) та шлюзу;
- налаштування телефонного сервісу на кожному маршрутизаторі, у тому числі dial – плану переадресації дзвінків на відповідну мережу;
- перевірка роботи IP – телефонії між усіма вузлами мережі.

Побудова топології мережі з IP – телефонією. Припустимо, що підприємство має мережу у складі головного офісу та філії. Послуги телефонного та DHCP сервісу виконують маршрутизатори 2811, а комутатори 2960-24TT з'єднують gadgets з маршрутизаторами. У якості шлюзу аналогового телефону використовується пристрій Home-VoIP. На комп'ютерах, ноутбуках, планшетах та смартфонах в якості телефонної програми використовується Cisco IP Communicator.

Топологія даної мережі в середовищі Cisco Packet Tracer буде мати наступний вигляд (рис. 1). Тут головне завдання – об'єднання усіх вузлів (пристроїв) в одну телефонну мережу.

Підключення пристроїв здійснюється до портів комутаторів відповідно fa0/1 - fa0/5. У філії до порту fa0/5 підключається точка доступу, яка забезпечує бездротовий доступ вузлів до мережі. Маршрутизатори під'єднуються до порту комутатора fa0/24.

Кожний DSL (Digital Subscriber Line – цифрової абонентської лінії) модем під'єднується до відповідного Cloud (порт Modem4). При відкритому Cloud на інтерфейсі Ethernet6 встановлюється перемикач DSL, а на з'єднанні DSL вибирається у полях зі списками Modem4 і Ethernet6. Далі із двох Cloud створюється кластер.

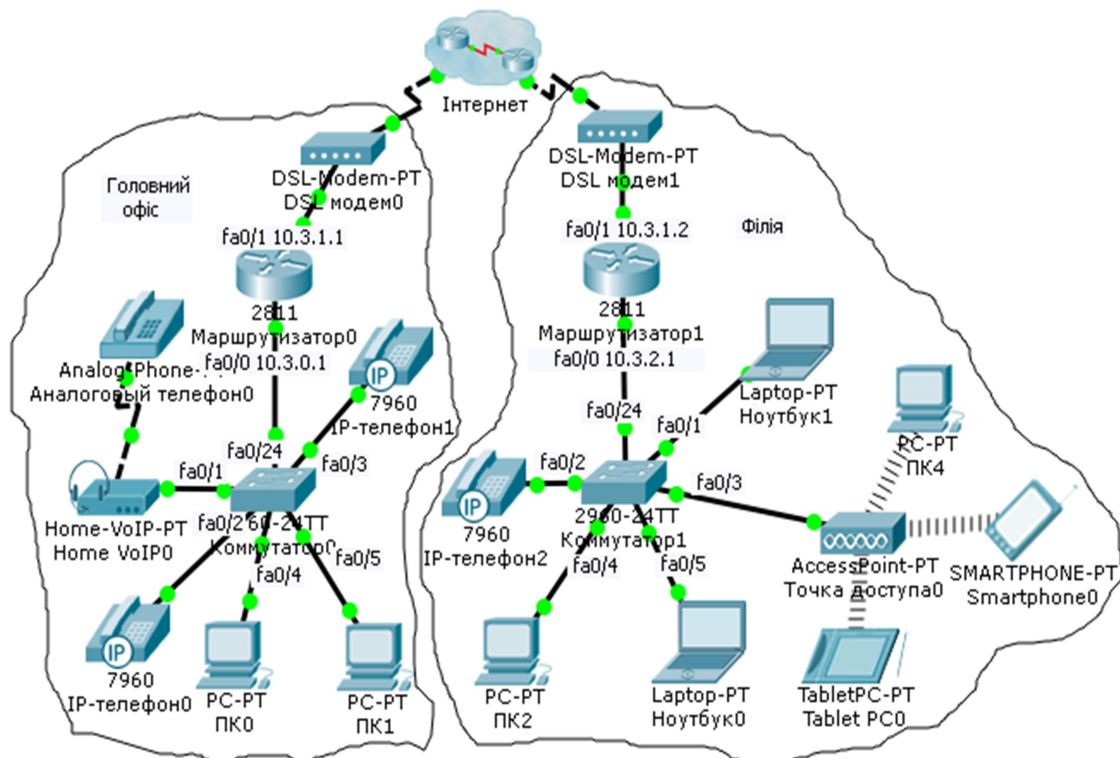


Рисунок 1 – Топологія мережі підприємства з IP – телефонією
Figure 2 – Topology of enterprise network with IP - telephony

Налаштування інтерфейсів комутатора на голосовий VLAN. Для цього відкривається кожний комутатор, активізується закладка CLI (IOS Command Line Interface) і за допомогою клавіатури вводяться (послідовно за №) наступні команди:

№	Команда	№	Команда
1	Switch>en	10	Switch(config)#int fa0/4
2	Switch#conf t	11	Switch(config-if)#switchport voice vlan 1
3	Switch(config)#int fa 0/1	12	Switch(config-if)#int fa0/5
4	Switch(config-if)#switchport voice vlan 1	13	Switch(config-if)#switchport voice vlan 1
5	Switch(config-if)#exit	14	Switch(config-if)#int fa0/24
6	Switch(config)#int fa0/2	15	Switch(config-if)#switchport voice vlan 1
7	Switch(config-if)#switchport voice vlan 1	16	Switch(config-if)#exit
8	Switch(config-if)#int fa0/3	17	Switch(config)#exit
9	Switch(config-if)#switchport voice vlan 1	18	Switch#copy run start

Налаштування на роутері сервісів DHCP, FTP та шлюзу. Спочатку відкривається маршрутизатор 0 у головному офісі в режимі CLI і вводяться з клавіатури наступні команди:

- активізується режим конфігурації роутера та інтерфейс FastEthernet 0/0 з IP-адресою 10.3.0.1 та маскою 255.255.255.0

```
Router>en
Router#conf t
Router(config)#int fa 0/0
Router(config-if)#ip address 10.3.0.1 255.255.255.0
Router(config-if)#no shut
```

- виключається дана IP- адреса з видачі адрес службою DHCP і здійснюється її запуск в мережу 10.3.0.0 з IP- адресою основного шлюзу 10.3.0.1 та адресою FTP сервера 10.3.0.1

```
Router(config-if)#ip dhcp excluded-address 10.3.0.1
Router(config)#ip dhcp pool Phones
Router(dhcp-config)#network 10.3.0.0 255.255.255.0
Router(dhcp-config)#default-router 10.3.0.1
Router(dhcp-config)#option 150 ip 10.3.0.1
Router(dhcp-config)#do copy run start
```

Аналогічним чином налаштовується маршрутизатор 1 у філії. Для цього в режимі CLI і вводяться з клавіатури наступні команди:

- активізується режим конфігурації роутера та інтерфейс FastEthernet 0/0 з IP-адресою 10.3.2.1 та маскою 255.255.255.0

```
Router>en
Router#conf t
Router(config)#int fa 0/0
Router(config-if)#ip address 10.3.2.1 255.255.255.0
Router(config-if)#no shut
```

- виключається дана IP- адреса з видачі адрес службою DHCP та здійснюється її запуск в мережу 10.3.2.0 з IP- адресою основного шлюзу 10.3.2.1 і адресою FTP сервера 10.3.2.1

```
Router(config-if)#ip dhcp excluded-address 10.3.2.1
Router(config)#ip dhcp pool Phones
Router(dhcp-config)#network 10.3.2.0 255.255.255.0
Router(dhcp-config)#default-router 10.3.2.1
Router(dhcp-config)#option 150 ip 10.3.2.1
Router(dhcp-config)#do copy run start
```

Далі здійснюється налаштування телефонного сервісу на кожному маршрутизаторі.

Налаштування телефонного сервісу на кожному маршрутизаторі, у тому числі dial – плану переадресації дзвінків на відповідну мережу. Спочатку відкривається маршрутизатор 0 у головному офісі в режимі CLI і вводяться з клавіатури наступні команди:

- визначається максимальна кількість телефонів і ліній, інтерфейс роутера та номер порту, з якого будуть прийматися дзвінки, а також автоматичне налаштування ліній

```
Router(config)#telephony-service
Router(config-telephony)#max-ephones 10
Router(config-telephony)#max-dn 10
Router(config-telephony)#ip source-address 10.3.0.1 port 2000
Router(config-telephony)#auto assign 1 to 10
Router(config-telephony)#exit
```

- створюються лінії та номери (наприклад, 5 оскільки головний офіс має п'ять вузлів)

```
Router(config)#ephone-dn 1
Router(config-ephone-dn)#number 101
Router(config-ephone-dn)#exit
Router(config)#ephone-dn 2
Router(config-ephone-dn)#number 102
Router(config-ephone-dn)#exit
Router(config)#ephone-dn 3
Router(config-ephone-dn)#number 103
Router(config-ephone-dn)#exit
Router(config)#ephone-dn 4
Router(config-ephone-dn)#number 104
Router(config-ephone-dn)#exit
Router(config)#ephone-dn 5
Router(config-ephone-dn)#number 105
Router(config-ephone-dn)#exit
Router(config)#do copy run start
```

- налаштовується dial – план, тобто план переадресації дзвінків на мережу філії (задається порт переадресації, його назва та адреса; прописується маршрут, куди необхідно передавати пакети; прописуються дві початкові цифри номерів, для яких призначаються пакети; адреса інтерфейсу передачі пакетів)

```
Router(config)#interface FastEthernet0/1
Router(config-if)#description TO-FILIIA
Router(config-if)#ip address 10.3.1.1 255.255.255.0
Router(config-if)#no shut
Router(config-if)#ip route 10.3.2.0 255.255.255.0 10.3.1.2
Router(config-dial-peer)#destination-pattern 20.
Router(config-dial-peer)#session target ipv4:10.3.1.2
Router(config-dial-peer)#do copy run start
```

Аналогічним чином налаштовується маршрутизатор 1 у філії. Для цього в режимі CLI і вводяться з клавіатури наступні команди:

- визначається максимальна кількість телефонів і ліній, інтерфейс роутера та номер порту, з якого будуть прийматися дзвінки, а також автоматичне налаштування ліній

```
Router(config)#telephony-service
Router(config-telephony)#max-ephones 10
Router(config-telephony)#max-dn 10
Router(config-telephony)#ip source-address 10.3.2.1 port 2000
Router(config-telephony)#auto assign 1 to 10
Router(config-telephony)#exit
```

- створюються лінії та номери (наприклад, 8 у зв'язку з тим, що філія має сім вузлів + 1 резерв)

```
Router(config)#ephone-dn 1
Router(config-ephone-dn)#number 201
Router(config-ephone-dn)#exit
Router(config)#ephone-dn 2
Router(config-ephone-dn)#number 202
```

```

Router(config-ephone-dn)#exit
Router(config)#ephone-dn 3
Router(config-ephone-dn)#number 203
Router(config-ephone-dn)#number 203
Router(config-ephone-dn)#exit
Router(config)#ephone-dn 4
Router(config-ephone-dn)#number 204
Router(config-ephone-dn)#exit
Router(config)#ephone-dn 5
Router(config-ephone-dn)#number 205
Router(config-ephone-dn)#exit
Router(config)#ephone-dn 6
Router(config-ephone-dn)#number 206
Router(config-ephone-dn)#exit
Router(config)#ephone-dn 7
Router(config-ephone-dn)#number 207
Router(config-ephone-dn)#exit
Router(config)#ephone-dn 8
Router(config-ephone-dn)#number 208
Router(config-ephone-dn)#exit
Router(config)#do copy run start

```

- налаштовується dial – план, тобто план переадресації дзвінків на мережу головного офісу (задається порт переадресації, його назва та адреса; прописується маршрут, куди необхідно передавати пакети; прописуються дві початкові цифри номерів, для яких призначаються пакети; адреса інтерфейсу передачі пакетів)

```

Router(config)#interface FastEthernet0/1
Router(config-if)#description TO-MAIN
Router(config-if)#ip address 10.3.1.2 255.255.255.0
Router(config-if)#no shut
Router(config-if)#ip route 10.3.0.0 255.255.255.0 10.3.1.1
Router(config)#dial-peer voice 1 voip
Router(config-dial-peer)#destination-pattern 10.
Router(config-dial-peer)#session target ipv4:10.3.1.1
Router(config-dial-peer)#do copy run start

```

Перевірка роботи IP – телефонії між усіма вузлами мережі. Після завершення налаштування комутаторів та роутерів здійснюється перевірка працездатності мережі з IP – телефонією. Спочатку послідовно відриваються IP – телефони і на закладці Physical встановлюються адаптери для автоматичного отримання номерів. Для перевірки встановлення номеру та працездатності телефону активізується закладка GUI (Graphical User Interface).

Для налаштування в головному офісі аналогового телефону відкривається його шлюз (пристрій Home-VoIP) та задається Server Address: 10.3.0.1. Тут також перевірка працездатності здійснюється на закладці GUI.

На усіх комп'ютерах, ноутбуках, планшетах та смартфонах активізується закладка Desktop та відкривається додаток (програма-телефон) Cisco IP Communicator. При цьому пристрій автоматично отримує номер.

Припустимо, що вузлу Smartphone0 автоматично встановлено номер 204, а вузлу IP-телефон0 – номер 101 (рис. 2). Тоді, при перевірці роботи відкривається, наприклад, на смартфоні додаток Cisco IP Communicator, де натискається кнопка New Call і набирається номер 101. При відкритті IP-телефону0 на закладці GUI побачимо на телефонній трубці у режимі зміни світла червоної лампочки, як ознаки надходження повідомлення.

При знятті мишею трубки здійснюється з'єднання. Натискання кнопки End Call перериває з'єднання. Аналогічним чином можна здійснити дзвінок у зворотньому напрямку.



Рисунок 2 – Встановлення з'єднання між Smartphone0 та IP-телефон0
Figure 2 – Establishing a connection between Smartphone0 and IP-Telephone0

Висновки. Отже, наведена вище процедура моделювання та конфігурування IP - телефонії при емуляції мереж засобами системи Cisco Packet Tracer дозволяє вирішити питання підвищення якості розуміння поєднання комп'ютерних мереж.

Побудований сегмент мережі є базовим (ідеалізованим), тобто не враховує специфіку конкретного підприємства (план будівлі, проектування кабельного розведення, розміщення комунікаційних і призначених для користувача пристроїв тощо).

Можна рекомендувати даний алгоритм побудови IP - телефонії для використання в навчальному процесі, а також моделювання мереж на стадії проектування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Воробієнко П.П., Нікітюк Л.А., Резніченко П.І. Телекомунікаційні та інформаційні мережі: підручник для ВНЗ. –К.: САММІТ- Книга, 2010. – 708 с.
2. Кулаков В.Г., Леохин Ю.Л. Моделирование компьютерных сетей в симуляторе Cisco Packet Tracer 6: учеб. пособие – М.: Изд-во МТИ, 2016. – 175 с.
3. Мінухін С.В. Принципи функціонування мереж: навчальний посібник. – Харків: ХНЕУ, 2008. – 210 с.
4. Ромашко С. М. Конспект лекцій з дисципліни "Комп'ютерні мережі і телекомунікації" / Ромашко С. М. – Львів : ЛРІДУ НАДУ, 2006. – 61 с.
5. Телекомунікаційні системи та мережі: навчальний посібник / Укладачі : Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.
6. Jeff Doyle, Jennifer DeHaven Carroll. Routing TCP/IP, Volume 1, 2nd Edition. Published Oct 19, 2005 by Cisco Press
7. David Hucaby, Steve McQuerry, Andrew Whitaker. Cisco Router Configuration Handbook, 2nd Edition. Published Jun 30, 2010 Cisco Systems, Inc. Published by: Cisco Press 800 East 96th Street Indianapolis, IN 46240 USA

REFERENCES

1. Vorobiyenko P.P., Nikityuk L.A., Reznichenko P.I. (2010), Telekomunikatsiyni ta informatsiyni merezhi [Telecommunication and Information Networks]. Textbook for high schools. Kyiv, PH SAMMIT-Kniga, pp. 708 [in Ukrainian]
2. Kulakov V.G., Leokhin Yu.L. (2016). Modelirovaniye komp'yuternykh setey v simulyatore Cisco Packet Tracer 6 [Computer networks modeling in Cisco Packet Tracer 6 simulator]. Textbook. Moskva, MTI, pp. 175 [in Russian]
3. Minukhin S.V. (2008). Pryntsyipy funktsionuvannya merezh [Principles of network operation]. Textbook. Kharkiv, KhNEU, pp. 210 [in Ukrainian]
4. Romashko S.M. (2006). Konspekt leksiy z dystsypliny "Komp'yuterni merezhi i telekomunikatsiyi" [Summary of lectures on discipline "Computer networks and telecommunications"]. L'viv, LRIDU NADU, pp. 61 [in Ukrainian]
5. Mykityshyn A.H., Mytnyk M.M., Stukhlyak P.D. (2017). Telekomunikatsiyni systemy ta merezhi [Telecommunication systems and networks]. Textbook. Ternopil', Ternopil's'kyu natsional'nyy tekhnichnyy universytet imeni Ivana Pulyuya, pp. 384 [in Ukrainian]
6. Jeff Doyle, Jennifer DeHaven Carroll. Routing TCP/IP, Volume 1, 2nd Edition. Published Oct 19, 2005 by Cisco Press [in English]
7. David Hucaby, Steve McQuerry, Andrew Whitaker. Cisco Router Configuration Handbook, 2nd Edition. Published Jun 30, 2010 Cisco Systems, Inc. Published by: Cisco Press 800 East 96th Street Indianapolis, IN 46240 USA [in English]

РЕФЕРАТ

Будя О.П. Моделирование та конфигурирование IP-телефонии при эмуляции сетей средствами системы Cisco Packet Tracer / О.П. Будя, М.М. Скопень, О.В. Гавриленко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

В даній статті розглядаються особливості та специфіка моделювання IP-телефонії на платформі системи Cisco Packet Tracer. Наведено алгоритм побудови топології та програмний код конфігурування IP-телефонії в мережі передачі даних та голосу. Представлений алгоритм побудови IP-телефонії можна рекомендувати для використання в навчальному процесі, а також моделювання мереж на стадії проектування.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОДЕЛЮВАННЯ, МЕРЕЖА ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ, ТОПОЛОГІЯ, КОНФІГУРУВАННЯ, IP-ТЕЛЕФОНІЯ

ABSTRACT

Budia O.P., Skopen M.M., Havrylenko O.V. Modeling and configuring IP telephony in the process of emulation of networks by means of Cisco Packet Tracer system. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv. National Transport University. 2020. – Issue 1 (46).

This article discusses the features and specifics of IP telephony modeling on the Cisco Packet Tracer system platform. An algorithm for constructing a topology and a software code for configuring IP telephony in a data and voice network are presented. The proposed IP-telephony algorithm can be recommended for use in the training process as well as network simulation at the design stage.

KEYWORDS: MODELING, DATA NETWORK, TOPOLOGY, CONFIGURATION, IP-TELEPHONY

РЕФЕРАТ

Будя А.П. Моделирование и конфигурирование IP-телефонии при эмуляции сетей средствами системы Cisco Packet Tracer / А.П. Будя, Н.М. Скопень, Е.В. Гавриленко // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В данной статье рассматриваются особенности и специфика моделирования IP-телефонии на платформе системы Cisco Packet Tracer. Приведен алгоритм построения топологии и программный код конфигурирования IP-телефонии в сети передачи данных и голоса. Представленный алгоритм построения IP-телефонии можно рекомендовать для использования в учебном процессе, а также моделирование сетей на стадии проектирования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МОДЕЛИРОВАНИЕ, СЕТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ, ТОПОЛОГИЯ, КОНФИГУРИРОВАНИЕ, IP-ТЕЛЕФОНИЯ

АВТОРИ:

Будя Олександр Петрович, кандидат технічних наук, доцент, НТУ, доцент кафедри ІСТ, e-mail: alex_budy@ukr.net, тел. +380504409071, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 347а, orcid.org/0000-0003-2998-5440

Скопєнь Микола Максимович, кандидат економічних наук, доцент, Київський університет туризму, економіки і права, професор кафедри теорії та практики туризму і готельного господарства, e-mail: 0675076531@ukr.net, тел. +380675076531, Україна, 02192, м. Київ, вул. Генерала Жмаченка, 26, к. 216, orcid.org/0000-0003-0440-446X

Гавриленко Олена Валеріївна, кандидат фізико-математичних наук, доцент, НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», доцент кафедри АСОІУ, ФІОТ, e-mail: iem.gavrilenko@meta.ua, тел. +380935768058, Україна, Київ, вул. Політехнічна, 41, 18 корпус, к. 430, orcid.org/0000-0003-0413-6274

AUTHORS:

Budia Oleksandr, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, NTU, Associate Professor of Department IST, e-mail: alex_budy@ukr.net, tel. +380504409071, Ukraine, 01010, Kyiv, Omeljanovicha-Pavlenko st., of. 347a, orcid.org/0000-0003-2998-5440

Skopen Mykola, Candidate of Economical Sciences, Associate Professor, Kyiv University of Tourism, Economics and Law, Professor of Department of Theory and Practice of Tourism and Hotel Management, e-mail: 0675076531@ukr.net, tel. +380675076531, Ukraine, 02192, Kyiv, General Zhmachenko st., of. 216, orcid.org/0000-0003-0440-446X

Havrilenko Olena, Candidate of physical and mathematical Sciences, Associate Professor, NTUU «Igor Sikorsky KPI», Associate Professor of Department AIPSM, FICT, e-mail: iem.gavrilenko@meta.ua, tel. +380935768058, Ukraine, Kyiv, Polytehnicheskaya st., 41, buld. 18, of. 430

АВТОРЫ:

Будя Александр Петрович, кандидат технических наук, доцент, НТУ, доцент кафедры ИСТ, e-mail: alex_budy@ukr.net, тел. +380504409071, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленко, 1, к. 347а, orcid.org/0000-0003-2998-5440

Скопєнь Николай Максимович, кандидат экономических наук, доцент, Киевский университет туризма, экономики и права, профессор кафедры теории и практики туризма и гостиничного хозяйства, e-mail: 0675076531@ukr.net, тел. +380675076531, Украина, 02192, г. Киев, ул. Генерала Жмаченко, 26, к. 216, orcid.org/0000-0003-0440-446X

Гавриленко Елена Валерьевна, кандидат физико-математических наук, доцент, НТУУ «КПИ имени Игоря Сикорского», доцент кафедры АСОИУ, ФИОТ, e-mail: iem.gavrilenko@meta.ua, тел. +380935768058, Украина, Киев, ул. Политехническая, 41, 18 корпус, к. 430, orcid.org/0000-0003-0413-6274

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Баранов Г.Л., професор кафедри інформаційних систем і технологій Національного транспортного університету, доктор технічних наук, професор,

Кирилюк В.С., провідний науковий співробітник Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАНУ, доктор фізико-математичних наук, професор.

REVIEWER:

Baranov G.L., Professor of the Department of Information Systems and Technologies of the National Transport University, Doctor of Engineering, Professor,

Kirilyuk V.S., Leading Researcher of the Institute of Mechanics S.P. Tymoshenko National Academy of Sciences, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ АНТИОЖЕЛЕДНИХ ХІМРЕАГЕНТІВ ПРИ ЗИМОВОМУ УТРИМАННІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ТА АЕРОДРОМІВ

Гамеляк І.П., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, gip65n@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9246-7561

Дмитрієв М.М., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, ntu.dnn@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0443-5469

Попелиш І.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, I_I_P@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3358-6565

Коритчук С.О., Національний транспортний університет, Київ, Україна, K.s2501@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5100-873X

Семенченко О.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, O.Semenchenko@ukr.net, orcid.org/0000-0002-9004-2575

EFFICIENCY OF APPLICATION OF OF ANTI-WISHED CHEMREAGENTS IN WINTER MAINTENANCE OF MOTORWAY ROADS AND AERODROMES

Gameliak I.P., Doctor of Engineering Sciences, Head of department «Airports», National Transport University, Kyiv, Ukraine, gip65n@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9246-7561

Dmitriev M.M., Doctor of Engineering Sciences, Head of department «Airports», National Transport University, Kyiv, Ukraine, ntu.dnn@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0443-5469

Popeshill I.I., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, I_I_P@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3358-6565

Koritchuk S.A., National Transport University, Kyiv, Ukraine, K.s2501@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5100-873X

Semenchenko O.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, O.Semenchenko@ukr.net, orcid.org/0000-0002-9004-2575

ЕФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АНТИГОЛОЛЕДНЫХ ХИМРЕАГЕНТОВ ПРИ ЗИМНЕМ СОДЕРЖАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И АЭРОДРОМОВ

Гамеляк И.П., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, gip65n@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9246-7561

Дмитриев Н.Н., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, ntu.dnn@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0443-5469

Попельш И.И., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, I_I_P@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3358-6565

Коритчук С.А., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, K.s2501@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5100-873X

Семенченко О.В., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, O.Semenchenko@ukr.net, orcid.org/0000-0002-9004-2575

Постановка проблеми.

Із щорічним зростанням перевезень пасажирів, вантажів, збільшенням інтенсивності руху транспортних засобів (ТЗ), впровадженням в експлуатацію нових, більш великовантажних типів повітряних суден (ПС), підвищуються вимоги по утриманню доріг і аеродромів. Безпека і регулярність руху транспортних засобів, польотів літаків в значній мірі залежать від стану дорожніх і аеродромних покриттів, особливо взимку. Покриття вважаються придатними до експлуатації при відсутності на їх поверхні сторонніх предметів, шару опадів і при забезпеченні необхідного

зчеплення коліс автомобілів і літаків з поверхнею покриття, достатнього для ефективного їх гальмування на дорозі або штучній злітно-посадковій смугі (ШЗПС). Ця умова набуває особливої важливості у зв'язку зі збільшенням злітних і посадкових швидкостей і маси сучасних літаків, а отже, появи більш високої кінетичної енергії яка погашається на пробігу по злітно-посадковій смугі, або ділянці гальмування на автомобільній дорозі. Основна частина цієї енергії погашається гальмами коліс, ефективність роботи яких насамперед залежить від стану поверхні покриттів злітно-посадкової смуги аеродрому та дороги. Властивості зчеплення покриття залежать як від текстури його поверхні, так і від впливу зовнішнього середовища, а саме наявності на поверхні вологи, сльоти, снігу, ожеледі. Вплив цих факторів практично постійно змінює зчепні властивості покриття і умови проведення злітно-посадкових операцій повітряних суден та руху транспортних засобів. На мокрих, засніжених або покритих сльотою аеродромах і автомобільних дорогах значно знижується зчеплення коліс транспортних засобів в порівнянні з сухим покриттям і як наслідок збільшується гальмівний шлях, погіршується їх шляхова стійкість і керованість. Це може призвести до аварії на дорогах, викочування літаків з ШЗПС та припинення польотів з неї на значний час. Тому одним з основних завдань експлуатаційного утримання автомобільних доріг і аеродромів взимку є видалення снігу та льодоутворення, попередження їх появи і накопичення на покритті для забезпечення необхідного коефіцієнта зчеплення.

Сучасний рівень розвитку прибирання техніки не забезпечує видалення опадів в процесі їх випадання або попередження попадання опадів на покриття. Це обумовлює введення в практику експлуатаційного утримання покриттів комплексу мінімальних умов, при яких допускається рух автомобілів по дорозі, здійснення зльотів і посадок літаків навіть при наявності на покритті опадів. В основу визначення мінімально допустимих умов руху, закладені вимоги забезпечення керованості транспортних засобів, їх гальмування в межах дорожніх і аеродромних покриттів, тобто опади розглядаються з точки зору їх впливу на фрикційні властивості покриттів і опір руху [1-3].

На основі статистики аварійності на дорогах, аеродромах, руйнування авіадвигунів через потрапляння сторонніх предметів, висуваються вимоги до правил утримання аеродромних і дорожніх покриттів, численним значенням критеріїв якості очищення поверхні покриттів [1-4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідженням впливу антиожеледних хімреагентів на температуру плавлення видалення льоду із аеродромних і дорожніх покриттів знайшли своє відображення в працях таких вчених, як В.О. Орлов, Ю.Н. Розов, О.В. Френкель, Д. Беркер, Т. Берегестем, В.Н. Іванов [4-8]. Незважаючи на досягнення в даній області, експериментальні дослідження розподілу температури по поверхні льоду від дії антиожеледних реагентів та їх сумішей з використанням тепловізного методу відносяться до маловивчених напрямків встановлення впливу реагентів на кінетику сніго-льодових відкладень.

Метою даної статті є експериментальні дослідження впливу антиожеледних хімреагентів на температуру плавлення льоду та встановлення показника комплексної ефективності хімреагентів для зимового утримання автомобільних доріг та аеродромів.

Виклад основного матеріалу дослідження.

1. Вплив зимових опадів на умови гальмування, шляхову стійкість і керованість транспортних засобів.

Підтримка високого рівня безпеки та забезпечення регулярності польотів та руху автомобілів вимагає особливої підготовки відповідних наземних служб аеропорту та дорожніх організацій до зими. Відомо, що найбільш складним і відповідальним періодом експлуатації доріг і аеродромів цивільної авіації багатьох країн є зимовий. Більшість доріг і аеропортів України знаходиться в зоні впливу негативних температур в період проходження осінньо-зимової експлуатації. У цей період питання безпеки руху транспортних засобів, польотів літаків, безпосередньо пов'язані з вирішенням проблеми видалення снігових і ожеледних утворень, підготовкою аеродромних покриттів до польотів. Безпечна і регулярна експлуатація транспортних засобів, повітряних суден всіх типів в зимових умовах вимагає постійного, оперативного, якісного очищення елементів доріг і аеродромів. Ця проблема комплексна, тому для дорожніх організацій і служб аеропортів важливі економічні фактори, зокрема, такі як вартість очищення та її наслідки для конструктивних шарів покриття, що викликають необхідність його ремонту, для експлуатантів транспортних засобів, повітряних суден –

зміна якості дорожнього і аеродромного покриття обумовлює необхідність додатково враховувати його вплив на міцнісні характеристики їх конструктивних елементів, на керування автомобілем, ПС на етапах рулювання, зльоту і посадки, на зносостійкість автомобільних і авіаційних шин, на можливість попадання сторонніх предметів в двигуни. Саме тому процеси зимового утримання доріг, аеродромів, вибір відповідних технологій повинні розглядатися комплексно, в складній динамічній системі: «водій – автомобільна дорога – транспортні засоби – навколишнє середовище – інформація», «оператор – аеродром – повітряне судно – навколишнє середовище – інформація». Залежність безпеки дорожнього руху, виконання злітно-посадкових операцій повітряних суден від зчіпних якостей дорожніх і аеродромних покриттів пояснюється тим, що до 60–70 % кінетичної енергії транспортного засобу і повітряного судна гаситься при русі і посадці літака гальмуванням, і отже, якщо відсутні надійні умови гальмування, то неминуча втрата стійкості і керованості автомобілем і повітряного судна. Наслідком цього можуть бути аварійні ситуації на дорогах, викочування літаків за торцьову межу ЗПС або на бічну смугу безпеки. Втрата керованості можлива також при зльоті чи посадці літака в умовах пониженого коефіцієнта зчеплення і наявності бічного вітру підвищеної швидкості.

2. Експериментальні дослідження зміни температури на поверхні льоду.

Методика експериментальних досліджень залежності температури плавлення льоду під дією різних хімреагентів розроблена з урахуванням вимог роботи[9] та полягала у наступному. На заморожену в ємності в морозильній камері на дослідному зразку кількість води, що в перерахуванні на товщину плівки льоду становить 1 – 2 мм наноситься задана кількість хімреагента виходячи з нормативних документів. Потім тепловізором вимірюється розподіл температурних полів на поверхні дослідного зразка через проміжки часу 1 – 5 хв. Для встановлення температурних полів на поверхні бруківки використовувати прилад TESTO 875-2i. Фіксується температура найбільш холодної і найбільш теплої точки та середня температура на термограмі (рис. 1). Графіки зміни температури в зазначених точках наведено на рис. 2–6.

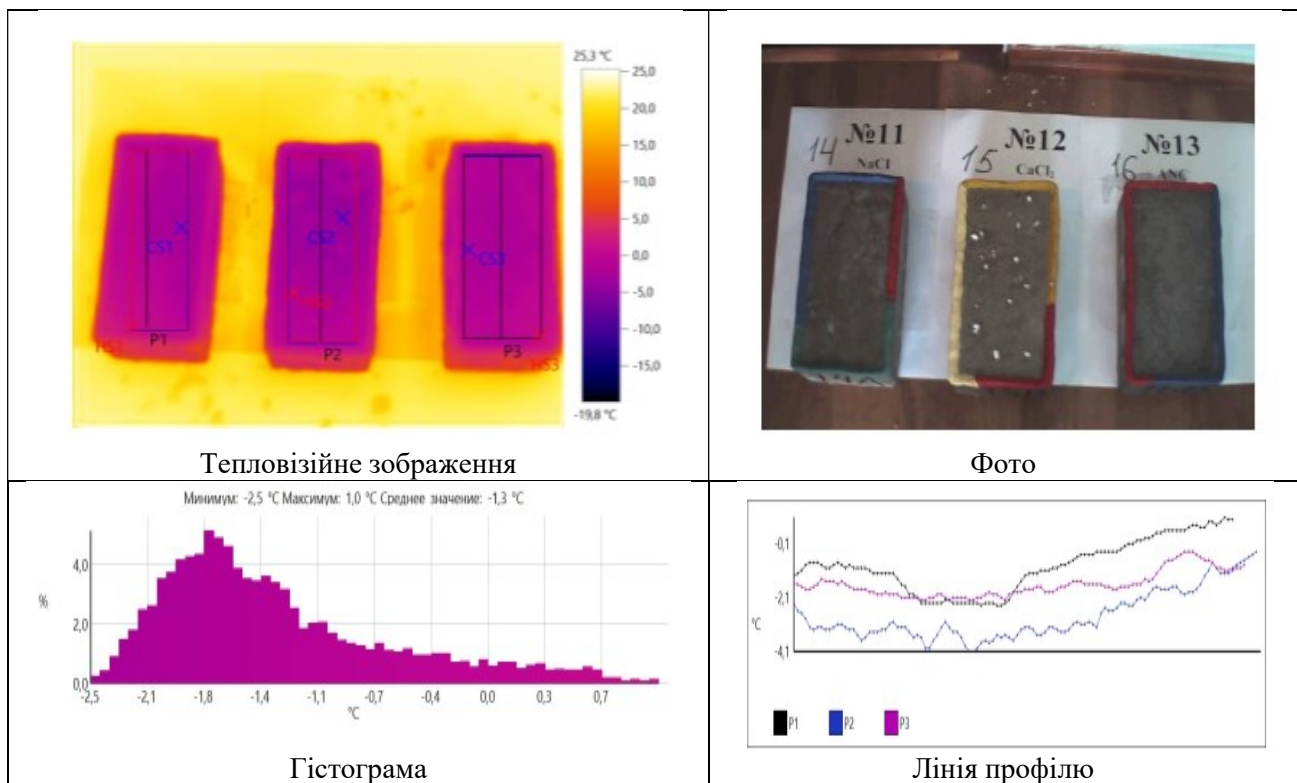


Рисунок 1 – Приклад оформлення даних знятих тепловізором для однієї серії випробувань
Figure 1 – Example of design data captured by the imager for one series of tests

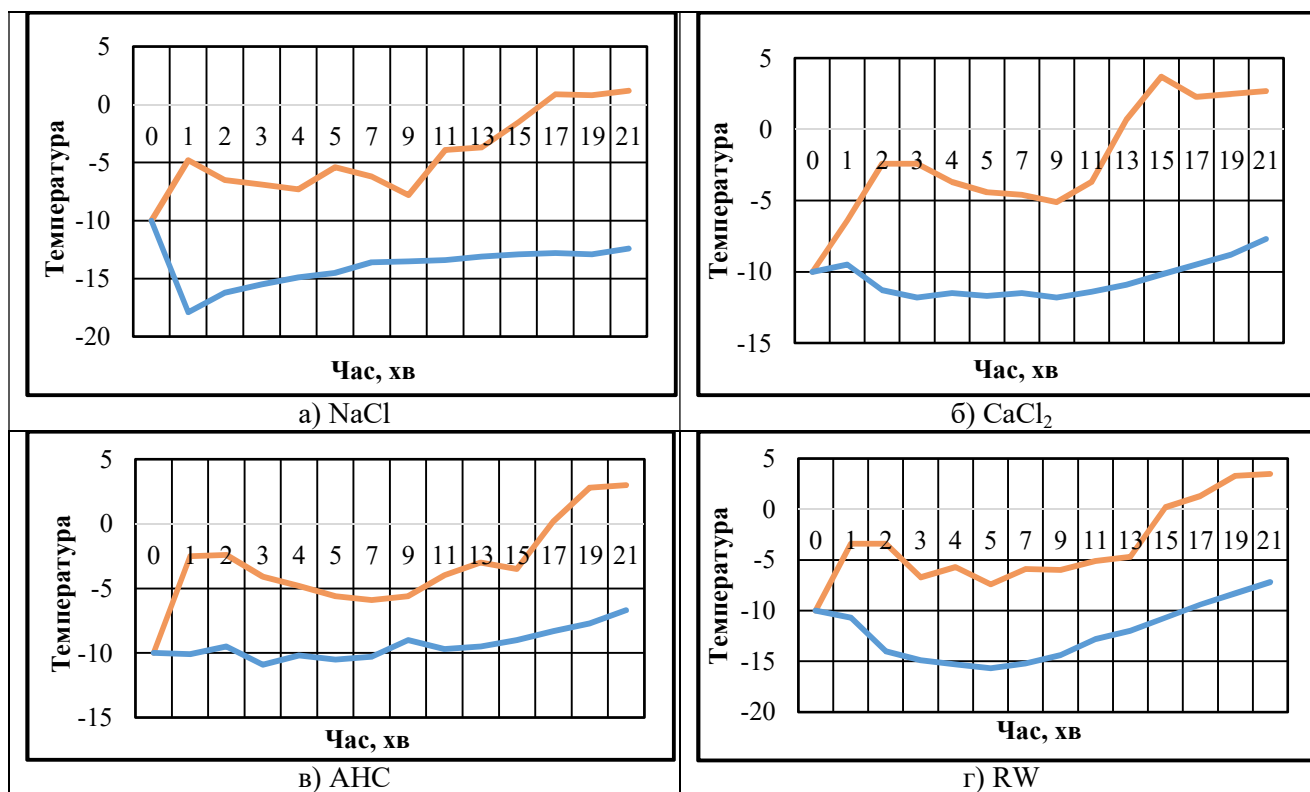


Рисунок 2 – Зміна температур у теплій і холодній точках термограм із реагентом: а) NaCl, б) CaCl_2 , в) АНС, г) RW
 Figure 2 – Change of temperatures in warm and cold points of temperature pattern in reaction with: a) NaCl, b) CaCl_2 , в) АНС, г) RW

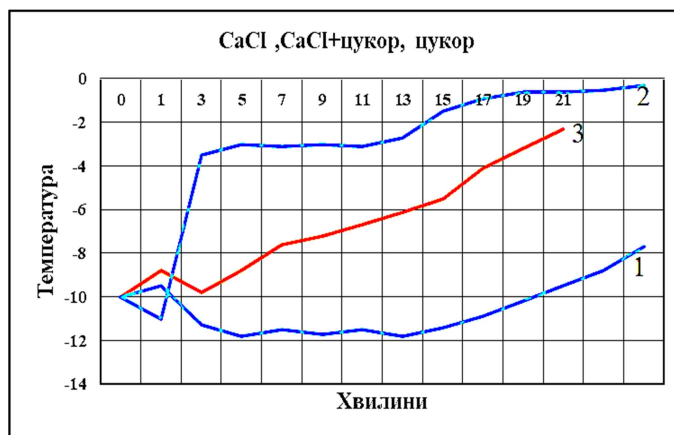


Рисунок 3 – Вплив реагентів CaCl_2 , цукру та їх суміші на температуру плавлення льоду в холодній точці: 1 – CaCl_2 , 2 – цукор, 3 – CaCl_2 + цукор
 Figure 3 – Impact of chemicals CaCl, sugar and mixture of CaCl and sugar on ice melting temperature in cold point: 1 – CaCl_2 , 2 – sugar, 3 – CaCl_2 + sugar.

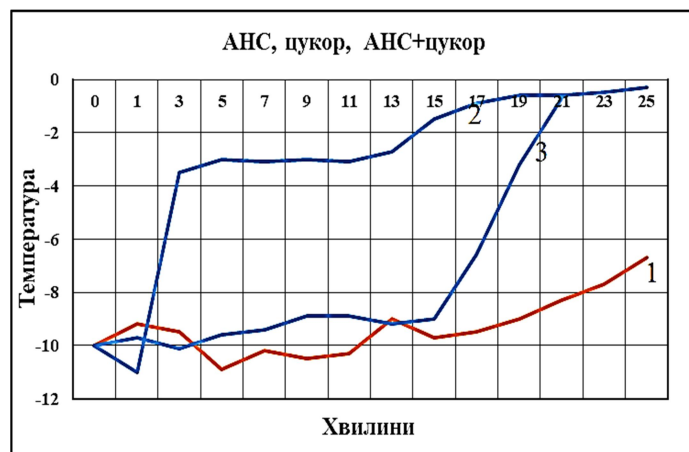


Рисунок 4 – Вплив реагентів АНС, цукру та їх суміші на температуру плавлення льоду в холодній точці: 1 – АНС, 2 – цукор, 3 – АНС +цукор
 Figure 4 – Impact of chemicals AHC, sugar and mixture of AHC and sugar on ice melting temperature in cold point

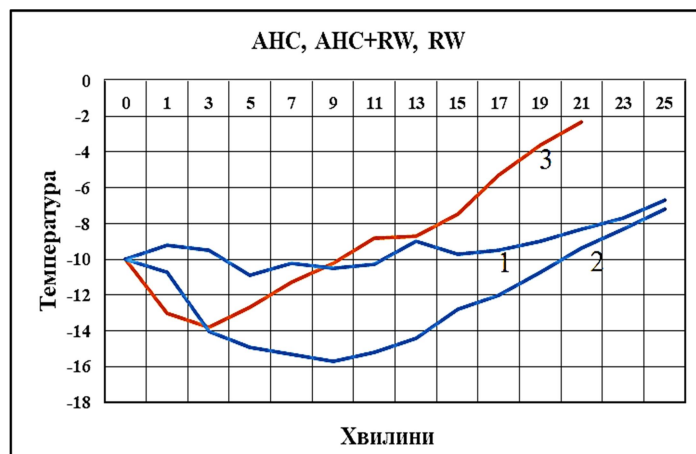


Рисунок 5– Вплив реагентів АНС, RW та їх суміші на температуру плавлення льоду в холодній точці: 1 – АНС, 2 – RW, 3 – АНС +RW
 Figure 5 – Impact of chemicals AHC, RW, and mixture of RW and AHC on ice melting temperature in cold point

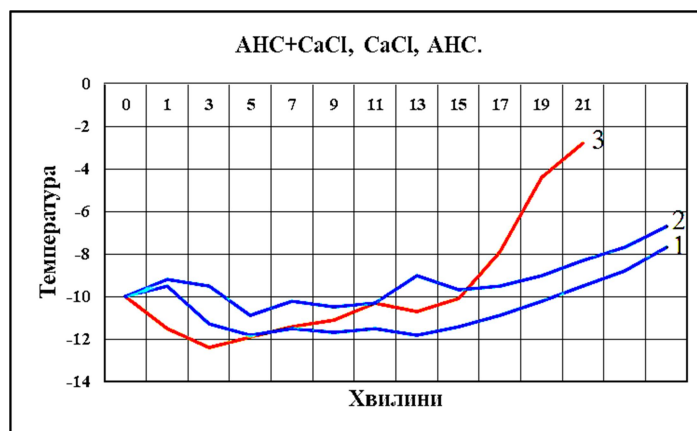


Рисунок 6 – Вплив реагентів CaCl₂, АНС та їх суміші на температуру плавлення льоду в холодній точці: 1 – CaCl₂, 2 – АНС, 3 – CaCl₂+АНС
 Figure 6 Impact of chemicals AHC+CaCl, CaCl and mixture of CaCl and AHC on ice melting temperature in cold point

Показник комплексної ефективності хімреагентів наведено на рис. 7.

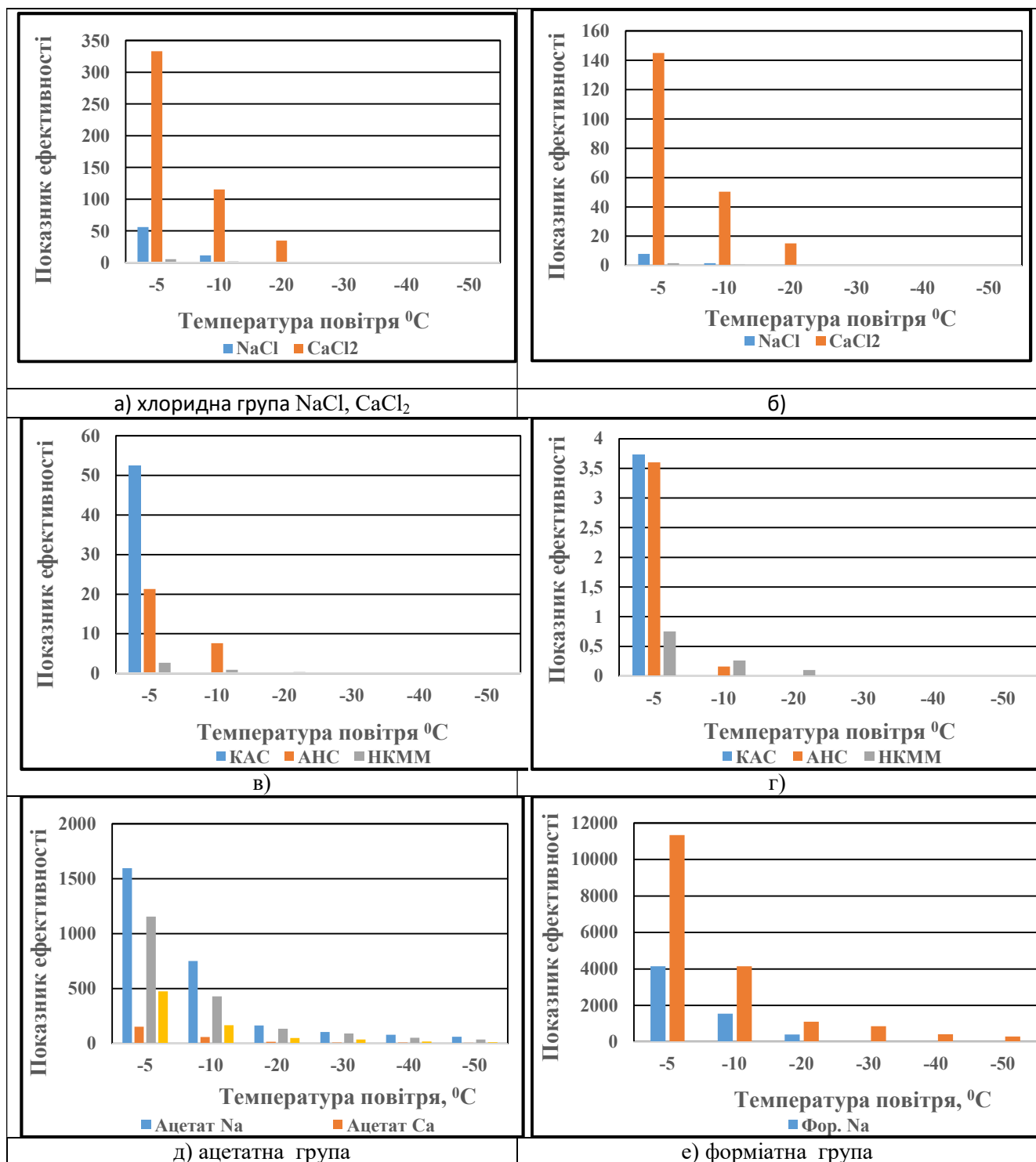


Рисунок 7 – Показник комплексної ефективності реагентів: а) б) хлоридної групи відповідно при одно- та багаторазовому нанесенні; в) г) нітратної групи відповідно при одно- та багаторазовому нанесенні; д) ацетатної групи; е) форміатної групи
Figure 7 – Indicator of the complex efficiency reagents: а) б) of chloride group; в) г) nitrate group; д) acetate group; е) formiate group

Висновки.

1. Підвищення температури на поверхні льоду відбувається при взаємодії гранульованого хімреагента з водою, яка появляється при плавленні льоду. Більш низька температура на поверхні льоду – це ті області поверхні де немає хімреагенту або він перебуває в недостатній кількості для помітного підвищення температури.

2. Особливістю застосування, гранульованого хімреагента є те, що немає необхідності суцільного покриття всієї площі поверхні що очищається. Гранули проплавають лід в окремих місцях і теплий розсіл відокремлює його від основи (цемент- або асфальтобетон) по всій площі поверхні.

3. Вимірювана температура в теплій точці для всіх досліджуваних реагентів приймає позитивні значення протягом 14-15 хв, температура холодної точки не досягає позитивних значень навіть при відділенні льоду від основи наприкінці експерименту, що підтверджує висновки про більш економічне застосування гранульованих хімреагентів.

4. Перехід через 0°C в теплій точці по термограмі відбувається для хімреагента NaCl – через 15 хв, для CaCl_2 – через 12 хв, АНС – через 16 хв, RW – через –14 хв. Підвищення температури до плюс $(3-4)^{\circ}\text{C}$ в теплій точці відбувається для CaCl_2 через 14-15 хв, АНС і RW – через 17-18 хв, для NaCl температура в теплій точці не підвищується більше плюс 1°C майже через 20 хв.

5. Для хімреагента NaCl характерно різке зниження температури в холодній точці до -19°C на першій хвилині експерименту, а потім плавне підвищення до мінус $(12-13)^{\circ}\text{C}$, яка зберігалась на такому рівні до 21 – 23 хв. Для CaCl_2 різкого зниження температури не відбувається, спостерігається плавне зниження до -12°C і плавне підвищення до мінус $(9-8)^{\circ}\text{C}$ за 20-21 хв. Для АНС зниження температури від базових -10°C не відбувається. Плавне підвищення температури спостерігається на 10-11 хв і досягає мінус $(7-6)^{\circ}\text{C}$ за 20-21 хв. Для RW відбувається плавне зниження температури до -15°C і плавне підвищення до мінус $(7-6)^{\circ}\text{C}$ за 20-21 хв.

6. Найбільш висока температура на поверхні льоду як в теплій так і холодній точках спостерігається від дії реагенту RW $+4^{\circ}\text{C}$ в теплій точці і -4°C в холодній точці, для АНС $+3^{\circ}\text{C}$ в теплій і -7°C в холодній, для CaCl_2 $+2^{\circ}\text{C}$ в теплій і -8°C в холодних точках, для NaCl $+1^{\circ}\text{C}$ в теплій -12°C в холодній точках термограм.

7. Дія суміші двох реагентів на температуру не однозначна, в одних випадках різко підвищується температура на поверхні льоду (АНС+RW), (АНС+ CaCl_2), в інших випадках температура займає середнє значення (CaCl_2 + цукор), (АНС+ цукор).

8. При відносно високих температурах повітря ($-5 - 10^{\circ}\text{C}$) як при одноразовому так і при багаторазовому нанесенні хімреагентів економічно вигідніше застосовувати КАС і АНС, при зниженні температури нижче (-10) більш економічнішим є НКММ.

9. Як при одноразовому застосуванні так і при багаторазовому найбільш ефективними є реагенти форміатної групи.

10. Експериментальні дані по вимірюванні температури на поверхні льоду дають можливість корегувати застосування і розхід різних типів реагентів в залежності від економічних, технічних, погодних умов на аеродромах і дорогах.

11. В дорожній галузі необхідно відмовлятися від традиційних соляних сумішей на основі хлоридів на користь більш ефективних хімреагентів (ацетатної (форміатної) групи, які при розчиненні водою або снігом виділяють тепло, що прискорює плавлення) та ефективно використовуються при зимовому утриманні дорожніх та аеродромних покриттів.

12. Необхідна розробка нормативного документу стосовно застосування сучасних хімреагентів при зимовому утриманні автомобільних доріг.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Керівництво по аеропортовим службам: Частина 2. Стан поверхні покриттів. ІКАО, 2002.
2. Наказ Міністерства оборони України від 01.07.2013 № 441 «Про затвердження Інструкції з експлуатації аеродромів державної авіації України».
3. Циркуляр ІКАО 329-AN/191 Состояние поверхности ВПП: оценка, измерение и представление данных. ИКАО, 2012.
4. Шишков А.Ф., Запорожець В.В., О.Н.Білякович. Аеропорт: Теорія й практика зимового утримання аеродромів. -К.: Дніпро, 2006р, 196с.
5. Орлов В.А. Теория и практика борьбы с ожеледью. – М.: Повітряний транспорт, 2010.-112 с.
6. Белинский А.А., Закревский А.І., Шинкарчук Н.В. Техническая эксплуатация аэродромов.- Киев: КМУГА, 1996.-240 с.
7. Эксплуатация аэродромов. Справочник / Под ред. Л.И. Горещкого – М.: Транспорт, 1990. – 287 с.

8. Експлуатація аеродромів: підручник, для студентів вищих закладів освіти/ М.Ф. Дмитриченко, М.М. Дмитрієв, І.П. Гамеляк, І.А. Рутковська, І.І. Попелиш, С.О. Корітчук. – К. : НТУ, 2018. – 420 с.
9. Р В.3.1-02070915-811: 2012 Рекомендації по удосконаленню методу оцінювання стану покриття при використанні тепловізійного обладнання. – К.:Укравтодор, 2012.- 48 с.

REFERENCES

1. KERIVNYTSTVO po aeroportovym sluzhbam (2002).[IRPORT MANAGEMENT], Chastyna 2. Stan poverkhni pokryttiv. IKAO [in Ukrainian].
2. Nakaz Ministerstva oborony Ukrainy vid 01.07.2013 № 441 «Pro zatverdzhennia Instrukttsii z ekspluatatsii aerodromiv derzhavnoi aviatsii Ukrainy» [Order of the Ministry of Defense of Ukraine of 01.07.2013 № 441 «On approval of the Instruction on the operation of airfields of the State Aviation of Ukraine»], [in Ukrainian].
3. Tsirkuliar ICAO 329-AN/191 Sostoyanie poverhnosti VPP: otsenka, izmerenie i predstavlenie dannyih [Runway Surface Condition: Evaluation, Measurement, and Data Representation], IKAO 2012 [in Ukrainian].
4. Shishkov A.F., Zaporozhets V.V., O.N. Bilyakovich (2006). Aeroport: Teoriya y praktika zimovogo utrimuvannya aerodromiv [Airport: Theory and practice of winter maintenance of airfields]–Kyiv: Dnipro [in Ukrainian].
5. Orlov V.A. (2010) Teoriya i praktika borotbi z ozheleditseyu [Theory and practice of Borobs with an obese]–Moscow. Povitryaniy transport [in Russian].
6. Belinskiy A.A., Zakrevskiy A.I., Shinkarchuk N.V. (1996). Tehnicheskaya ekspluatatsiya aerodromov [Technical maintenance of aerodromes]Kiev: KMUGA, [in Ukrainian].
7. Ekspluatatsiya aerodromov. Spravochnik / Pod red. L.I. Goretskogo (1990). [Operation of airfields. Handbook/ Ed. L.I. Goretsky]– Moscow.Transport, [in Russian].
8. Ekspluatatsiya aerodromiv: pidruchnik, dlya studentiv vischih zakladiv osviti [Exploitation of airfields: textbook, for students of higher educational institutions] M.F. Dmitrichenko, M.M. Dmitriev, I.P. Gameliak, I.A. Rutkovska, I.I. Popelish, S.O. Koritchuk (2018) – Kiev: NTU, [in Ukrainian].
9. Р В.3.1-02070915-811: 2012 Rekomendacii po udoskonalenuy metodu ocinuvannya stanu pokryttya pri vikoristanny teploviziynogo obladnannya. – Ukrautodor, 2012.- 48p. – Kiev: NTU, [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Гамеляк І.П. Ефективність застосування антижеледних хімреагентів при зимовому утриманні автомобільних доріг та аеродромів / І.П. Гамеляк, М.М. Дмитрієв, І.І. Попелиш, С.О. Корітчук, О.В. Семенченко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки» Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

В статті розглянуті експериментальні дослідження впливу антижеледних хімреагентів на температуру плавлення льоду з використанням тепловізійного обладнання.

Об'єкт дослідження – процеси плавлення льоду під впливом антижеледних хімреагентів.

Метою роботи є експериментальні дослідження впливу антижеледних хімреагентів на температуру плавлення льоду та встановлення показника комплексної ефективності хімреагентів для зимового утримання автомобільних доріг та аеродромів.

Методи дослідження – науково-експериментальний.

Результати статті можуть бути використані при експлуатації дорожніх і аеродромних покриттів в зимовий період експлуатації.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ХІМРЕАГЕНТИ, ПОКАЗНИК КОМПЛЕКСНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ, ЛІД, ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕННЯ.

ABSTRACT

Gameliak I.P., Dmitriev N.N., Popelysh I.I. Koritchuk S.O., Semenchenko O.V. Efficiency of application of anti-wished chemreagents in winter maintenance of motorway roads and airlines. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

This article refers experimental research the effect of anti-ice chemicals on ice melting temperature with using thermal imaging equipment.

Research object- ice melting processes under the influence of anti-ice chemicals.

The purpose of work is experimental research the impact of anti-ice chemicals on ice melting temperature and setting of the indicator of complex efficiency of chemicals for the winter maintenance of automobile roads and aerodromes.

Research methods – experimental scientific-research.

The results can be used by road and airport pavement exploitation in winter period.

KEYWORDS: CHEMICALS, AN INDICATOR OF INTEGRATED PERFORMANCE, MELTING TEMPERATURE.

РЕФЕРАТ

Гамеляк И.П. Эффективность применения антигололедных химреагентов при зимнем содержании автомобильных дорог и аэродромов / И.П. Гамеляк, Н.Н. Дмитриев, И.И. Попельш, С.А. Коритчук, О.В.Семенченко // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки» Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье рассмотрены экспериментальные исследования влияния антигололедных химреагентов на температуру плавления льда с использованием тепловизионного оборудования.

Объект исследования– процессы плавления льда под влиянием антигололедных химреагентов.

Целью работы является экспериментальные исследования влияния антигололедных химреагентов на температуру плавления льда и и определение показателя комплексной эффективности химреагентов для зимнего содержания автомобильных дорог и аэродромов.

Методы исследования – научно-экспериментальный.

Результаты статьи могут быть использованы при эксплуатации дорожных и аэродромных покрытий в зимний период эксплуатации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ХИМРЕАГЕНТЫ, ПОКАЗАТЕЛЬ КОМПЛЕКСНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ, ЛЕД, ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ.

АВТОРИ:

Гамеляк Ігор Павлович, доктор технічних наук, Національний транспортний університет, завідувач кафедри аеропортів, e-mail: gip65n@gmail.com, +380442807073, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 344, orcid.org/0000-0001-9246-7561

Дмитрієв Микола Миколайович, доктор технічних наук, Національний транспортний університет, професор кафедри аеропортів, e-mail: ntu.dnn@gmail.com, +380442807073, Україна, 01010, м. Київ, вул.Омеляновича-Павленка, 1, к. 344, orcid.org/0000-0003-0443-5469

Попелиш Іван Іванович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри аеропортів, e-mail: I_I_P@ukr.net, +380442807073, Україна, 01010, м. Київ, вул.Омеляновича-Павленка, 1, к. 344, orcid.org/0000-0003-3358-6565

Корітчук Сергій Олександрович, Національний транспортний університет, асистент кафедри аеропортів, e-mail: K.s2501@ukr.net, +380442807073, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 344, orcid.org/0000-0001-5100-873X

Семенченко Оксана Василівна, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, e-mail: tsbdr@ukr.net, +380442804885, Україна, 01010, м. Київ, вул.Омеляновича-Павленка, 1, к. 435, orcid.org/0000-0002-9004-2575

AUTHORS

Gameliak Igor Pavlovich, Doctor of Engineering Sciences, professor, Head of department «Airports», National Transport University, e-mail: gip65n@gmail.com, +380442807073, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenka street 1, of. 344, orcid.org/0000-0001-9246-7561

Dmitriev Nikolay Nikolaevych, Doctor of Engineering Sciences, Head of department «Airports», National Transport University, Kyiv, Ukraine, ntu.dnn@gmail.com, Omelyanovicha-Pavlenka street 1, of. 344, orcid.org/0000-0003-0443-5469

Popeshil Ivan Ivanovich, Ph.D., National Transport University, Associate Professor, Department of Airports, e-mail: I_I_P@ukr.net, +380442807073, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenka street 1, of. 344, orcid.org/0000-0003-3358-6565

Koritchuk Sergey Aleksandrovich, National Transport University, assistant lecturer of Department of Airports, e-mail: K.s2501@ukr.net, +380442807073, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenka street 1, of. 344, orcid.org/0000-0001-5100-873X

Semenchenko Oksana Vasylivna, National Transport University, senior lecturer, Department of Transportation Systems and Road Safety, e-mail: tsbdr@ukr.net, +380442804885, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenka street 1, of. 435, orcid.org/0000-0002-9004-2575

АВТОРЫ

Гамеляк Игорь Павлович, доктор технических наук, Национальный транспортный университет, заведующий кафедрой аэропортов, e-mail: gip65n@gmail.com., +380442807073, Украина, 01010, г. Киев, ул. М.Омельяновича-Павленка, 1, к. 344, orcid.org/0000-0001-9246-7561

Дмитриев Н.Н., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, профессор кафедры аэропортов, e-mail: ntu.dnn@gmail.com, +380442807073, Украина, 01010, г. Киев, ул.Омельяновича-Павленка, 1, к. 344, orcid.org/0000-0003-0443-5469

Попельш Иван Иванович, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, доцент кафедры аэропортов, доцент, e-mail: I_I_P@ukr.net, +380442807073, Украина, 01010, г. Киев, ул.Омельяновича-Павленка, 1, к. 344, orcid.org/0000-0003-3358-6565

Коритчук Сергей Александрович, Национальный транспортный университет, ассистент кафедры аэропортов, e-mail: K.s2501@ukr.net, +380442807073, Украина, 01010, г. Киев, ул.Омельяновича-Павленка, 1, к. 344, orcid.org/0000-0001-5100-873X

Семенченко Оксана Васильевна, Национальный транспортный университет, старший преподаватель кафедры транспортных систем и безопасности дорожного движения, e-mail: tsbdr@ukr.net, +380442804885, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омельяновича-Павленка, , к. 435, orcid.org/0000-0002-9004-2575

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Павлюк Д.О., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри проектування доріг, геодезії та землеустрою Національного транспортного університету.

Оксень Є.І., доктор технічних наук, провідний науковий співробітник відділення досліджень технічного стану будівель та споруд при небезпечних геологічних процесах Державного підприємства «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК)

REVIEWERS:

Pavlyuk D.O., Doctor of Technical Sciences, Professor Head of the Department of Road Design, Geodesy and Land Management of the National Transport University.

Oksen E.I., Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher at the Department of Research on the Technical Condition of Buildings and Structures in Hazardous Geological Processes of the State Enterprise «State Research Institute of Building Structures»

ОСОБЛИВОСТІ ЗМІН ПАРАМЕТРІВ СТРУКТУРИ НАПІВПРОВІДНИКА Ag_3AsS_3

Гололобов Ю.П., доктор фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, gololo@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3360-6669

Боровий М.О., доктор фізико-математичних наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, borovoy@univ.kiev.ua, orcid.org/0000-0002-2435-2620

Ніколаєнко А.В., кандидат фізико-математичних наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, alina.salnik@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8744-8232

THE FEATURES OF STRUCTURE PARAMETERS CHANGES Ag_3AsS_3 SEMICONDUCTOR

Gololobov Yu.P., doctor of sciences, professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, gololo@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3360-6669

Borovoy N.A., doctor of sciences, Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv, Ukraine, borovoy@univ.kiev.ua, orcid.org/0000-0002-2435-2620

Nikolaenko A.V., Ph.D., Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv, Ukraine, alina.salnik@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8744-8232

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ ПОЛУПРОВОДНИКА Ag_3AsS_3

Гололобов Ю.П., доктор физико-математических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, gololo@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3360-6669

Боровой Н.А., доктор физико-математических наук, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина, borovoy@univ.kiev.ua, orcid.org/0000-0002-2435-2620

Николаенко А.В., кандидат физико-математических наук, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина, alina.salnik@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8744-8232

Постановка проблеми.

Кристали халькогенідної сполуки напівпровідника прустита (Ag_3AsS_3) є перспективними матеріалом для застосування у приладах акустoeлектроніки, нелінійної оптики та інфрачервоного приладобудування. При кімнатній температурі прустит належить до нецентросиметричного класу тригональної сингонії (просторова група C_{3v}^6), гексогональна елементарна комірка характеризується двома параметрами a та c . Необхідно відзначити, що наявні у літературі результати дослідження температурних залежностей параметрів елементарної комірки пруститу $a(T)$ і $c(T)$ навіть за відсутності оптичного опромінення є доволі суперечливими, оскільки рентгено- та нейтронографічні вимірювання виконувалися з недостатньо високою точністю (абсолютна похибка складала 0,01–0,02 Å) [1, 2]. Тому при плануванні експериментального дослідження було необхідно забезпечити суттєво вищу точність визначення параметрів a та c , ніж у вказаних роботах.

Для підвищення точності вимірювань параметрів елементарної комірки a та c було використано поліхроматичне первинне рентгенівське випромінювання, що дозволяло реєструвати неспотворений монохроматором $K\alpha_{1,2}$ -дублет (випромінювання рентгенівської трубки БСВ-29 Fe). Зразками були монокристали пруститу, в яких кристалографічні площини (001) та (100) виведено на фізичну поверхню. Для отримання залежності $c(T)$ реєструвався рефлекс 006, а для визначення $a(T)$ – рефлекс 900. Сканування здійснювалося з кроком $\Delta(2\theta) = 0,02^\circ$, час накопичення імпульсів у точці 3 с. На рис. 1 представлено типові дифрактограми рефлексів 006 та 900.

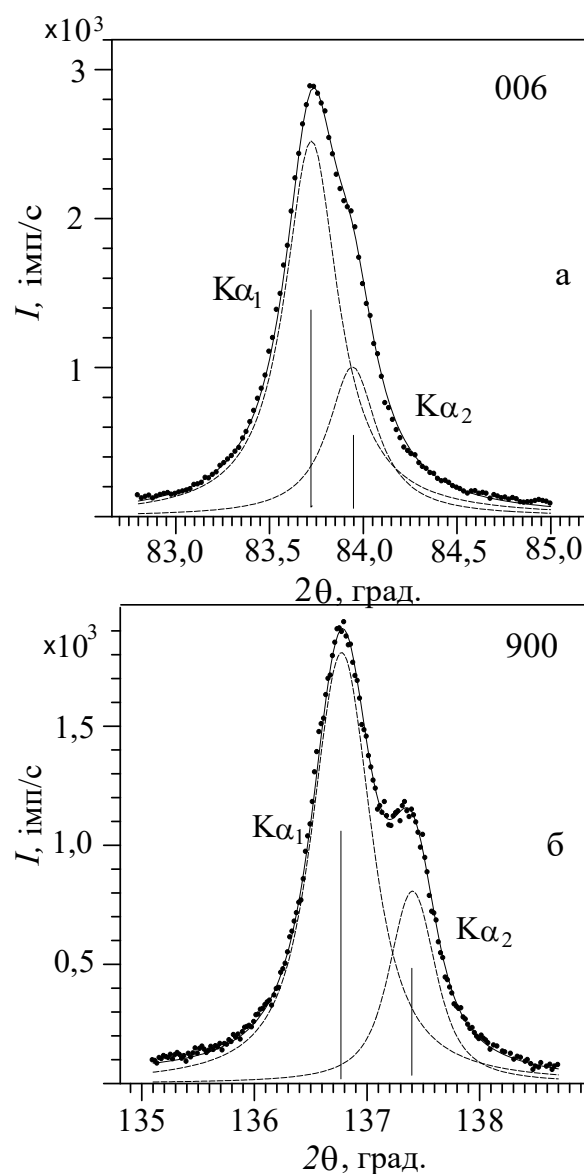


Рисунок 1 – Рентгенівські максимуми 006 (а) та 900 (б) при кімнатній температурі.

Штрихові лінії – апроксимуючі функції Фойгта.

Figure 1 – The X-rayed maximums 006 (a) and 900 (б) at room temperature.

Stroke lines are approximating Foigt functions.

У подальшому виконувався поділ $K\alpha_{1,2}$ -дублету на $K\alpha_1$ та $K\alpha_2$ на компоненти, які апроксимувалися псевдофункціями Фойгта. Завдяки цьому окремо визначалося кутове положення максимумів $K\alpha_1$ та $K\alpha_2$ ліній, по кожному з яких обчислювалися відповідні значення міжплощинних відстаней $d_{(006)}$ та $d_{(900)}$. Для рефлексів 006 та 900 згідно з квадратичною формою гексагональної сингонії параметри елементарної комірки визначалися наступним чином: $a = (2/\sqrt{3})d_{(900)}H$ та $c = d_{(006)}L$, де $H = 9$, $L = 6$. Абсолютні похибки визначення параметрів елементарної комірки дорівнюють $\Delta a = (2/\sqrt{3})d_{(900)}H \text{ctg}\theta_{(900)}\Delta\theta$ та $\Delta c = d_{(006)}L \text{ctg}\theta_{(006)}\Delta\theta$. При $\Delta\theta = 0,01^\circ$ вони складають $\Delta a = 0,0008 \text{ \AA}$, $\Delta c = 0,0017 \text{ \AA}$. Враховуючи похибку поділу $K\alpha_{1,2}$ -дублету, можна визначити $\Delta a \approx 0,001 \text{ \AA}$, $\Delta c \approx 0,002 \text{ \AA}$.

Зйомка дифрактограм виконувалася при охолодженні та подальшому відігріванні зразків в інтервалі температур $T = 120 \text{ K} - 300 \text{ K}$. Крок по температурі був змінним залежно від температурного діапазону і складав від 2 K до 10 K. При кожній температурі зразок витримувався 2-3 хвилини і потім протягом 7-10 хвилин відбувалося сканування кутового діапазону. Температура зразка

підтримувалася з точністю до 0,5 К з використанням терморегулятора ВРТ-2 і вимірювалася медь-константановою термопарою. Оптичне опромінювання зразків в процесі охолодження і нагрівання виконувалось за допомогою лазера MGL 500 мВт ($\lambda = 532$ нм), потужність випромінювання на зразку складала 40 мВ.

На рис. 2 наведено отримані температурні залежності параметру a елементарної комірки при охолодженні зразків Ag_3AsS_3 (a – за відсутності лазерного опромінення, $\bar{b}$ – за умови лазерного опромінення). Суцільними лініями представлено залежності лінійного коефіцієнта теплового розширення $\alpha_a = (\partial a / \partial T) / a$, які визначалися чисельним диференціюванням попередньо згладжених залежностей $a(T)$. Як видно, залежності $a(T)$ близькі до лінійних, а значення параметру a при опроміненні та без нього практично збігаються. Водночас, на обох графіках в області температур $T = 180\text{--}220$ К спостерігається слабка зміна кута нахилу залежності $a(T)$, так що при $T > 220$ К кут нахилу виявляється дещо меншим, ніж при $T < 180$ К. Таке зменшення кута відображується зміною коефіцієнта α_a , який в області температур $T > 220$ К складає $(2,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, а при $T < 180$ К досягає $(2,7 \pm 0,2) \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. Відзначимо, що залежності $a(T)$, які були отримані в умовах охолодження та нагрівання, практично збігаються.

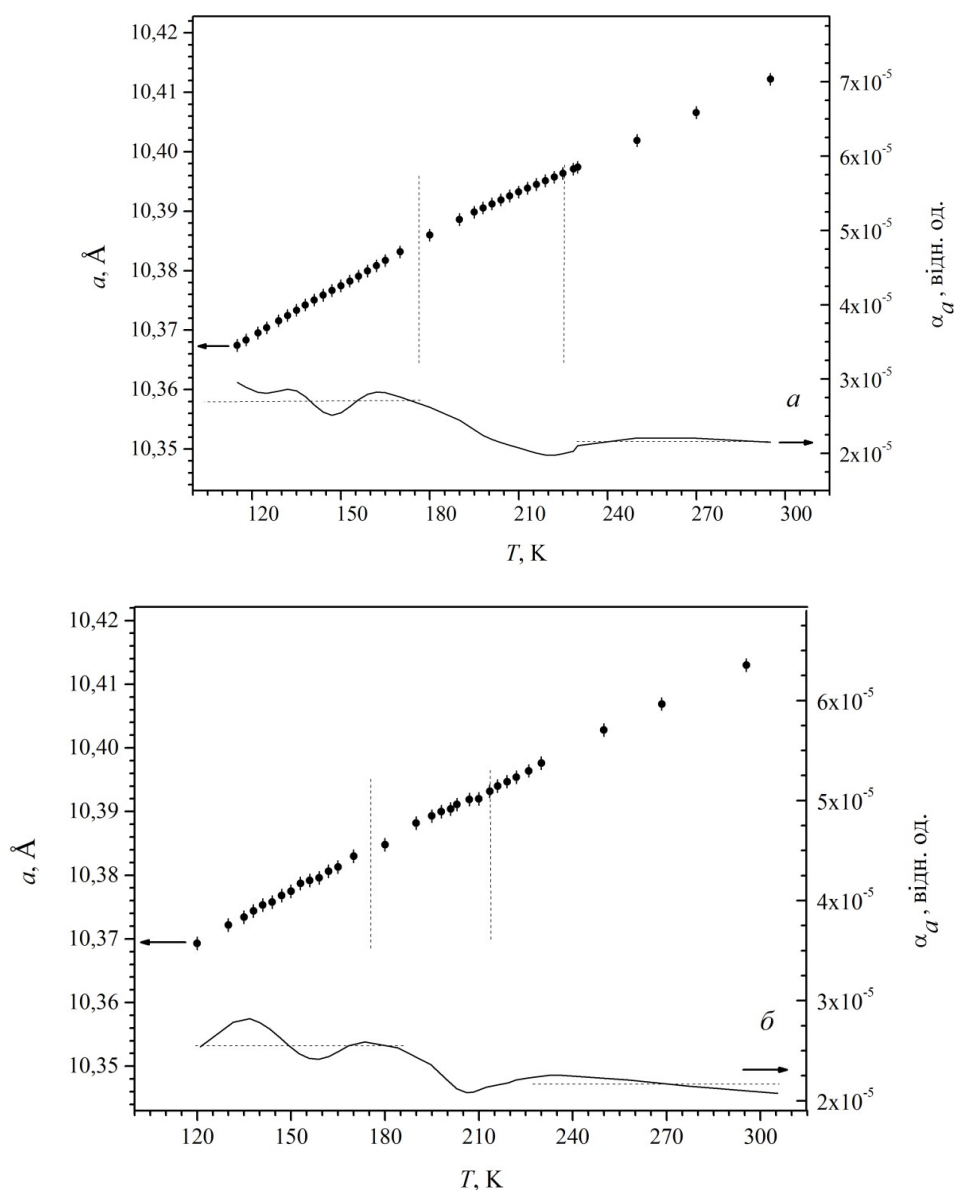


Рисунок 2 – Температурні залежності параметру $a(T)$ елементарної комірки пруститу:
 a – без опромінення; $\bar{b}$ – при лазерному опроміненні.

Figure 2 – The temperature dependences of $a(T)$ proustite elementary cell parameter:
 a – without an irradiation; $\bar{b}$ – with the laser irradiation.

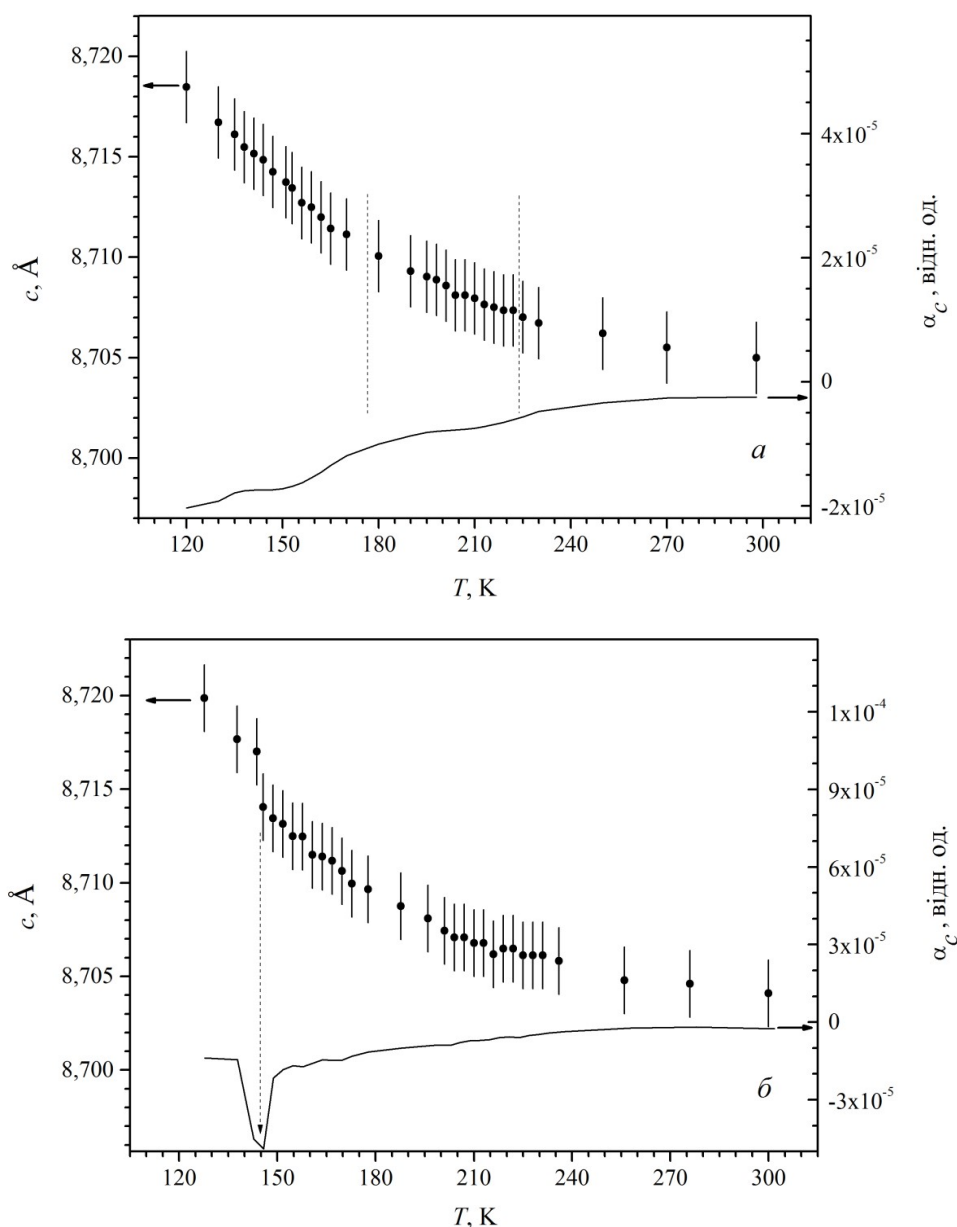


Рисунок 3 – Температурні залежності параметру $c(T)$ елементарної комірки пруститу:
 a – без опромінення; b – при лазерному опроміненні.

Figure 3 – The temperature dependences of $c(T)$ proustite elementary cell parameter:
 a – without an irradiation; b – with the laser irradiation.

На рис. 3 наведено аналогічні залежності $c(T)$, отримані у режимі охолодження як без оптичного опромінення, так і при лазерному опроміненні зразків Ag_3AsS_3 . Перш за все, розглянемо результати, отримані при охолодженні у темновому режимі (рис. 3а). Можна виділити три області температур з різним характером залежностей $c(T)$. У першому діапазоні $T > 220$ К параметр c досить слабо зростає при зменшенні температури і, відповідно, лінійний коефіцієнт теплового розширення $\alpha_c = (\partial c / \partial T) / c$ є малим за модулем та від'ємним $\alpha_c = -(4 \pm 2) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. В інтервалі температур $150 \text{ K} < T < 220 \text{ K}$ параметр c зростає за модулем вже помітно, так що коефіцієнт α_c змінюється від $\alpha_c = -(4 \pm 2) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ при $T = 220 \text{ K}$ до $\alpha_c = -(1,7 \pm 0,2) \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ при $T = 150 \text{ K}$. Нарешті, у діапазоні $120 \text{ K} < T < 150 \text{ K}$ параметр c зростає за модулем практично лінійно. Таким чином, дослідження температурних залежностей $a(T)$ та $c(T)$ у темновому режимі показало, що для Ag_3AsS_3 в області температур $150 \text{ K} < T < 220 \text{ K}$ реалізується певний «перехідний стан» кристалу, у якому при охолодженні відбувається мале зростання коефіцієнта α_a та помітне зростання за модулем від'ємного коефіцієнта α_c .

Розглянемо результати, отримані за умови лазерного опромінення. При охолодженні у діапазоні температур $150 \text{ K} < T < 300 \text{ K}$ (рис. 3б) залежність $c(T)$ практично збігається з такою, що

zareєстрована у темрявому режимі. Але у вузькому інтервалі температур $T_{к1} = (144 - 146)$ К спостерігається зростання параметру c стрибком на величину $\Delta c \approx 0,003$ Å, що відображується «V»-подібною аномалією на залежності $\alpha_c(T)$. Важливо, що при нагріванні зразка, попередньо охолодженого до температури $T=120$ К, спостерігається стрибкоподібне зменшення параметру c приблизно на таку ж величину $\Delta c \approx 0,003$ Å в околі температур $T_{к2} = (146-148)$ К, тобто має місце гістерезис $\Delta T \approx 2$ К у температурному положенні цієї аномалії. (рис. 4). При наступному циклі «охолодження-нагрівання» в умовах лазерного опромінення описані зміни параметру c повторюються.

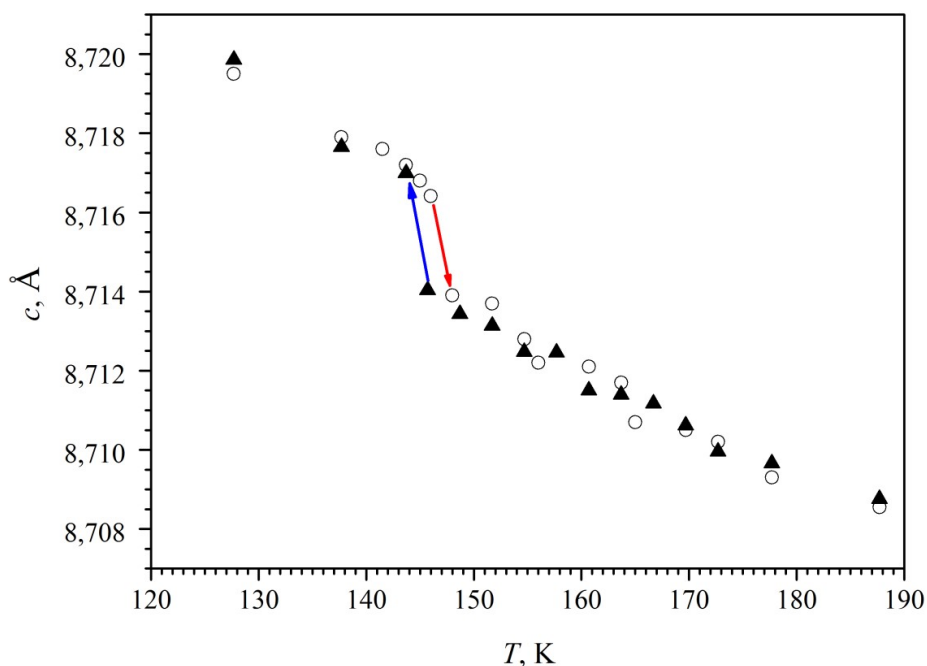


Рисунок 4 – Залежності $c(T)$ кристалів пруститу за умови лазерного опромінення:

▲ – охолодження, ○ – нагрівання.

Figure 4 – The dependences of $c(T)$ proustite crystals with the laser irradiation:

▲ – cooling, ○ – heating.

Таким чином, охолодження зразків пруститу в умовах лазерного опромінення призводить до стрибкоподібної зміни параметру c елементарної комірки кристалів пруститу при $T_{к1} = (144 - 146)$ К, причому така стрибкоподібність є зворотною за температурою. Слід зазначити, що раніше за умови оптичного опромінення зразків пруститу в околі температури $T \approx 150$ К іншими авторами спостерігалися аномалії електропровідності [3], ширини забороненої зони [4], частоти лінії спектра КРС [5] та частотних залежностей акустичних фонових [6]. Отже, зміни вказаних фізичних параметрів при температурі $T \approx 150$ К супроводжуються і певною структурною перебудовою кристалів Ag_3AsS_3 .

Розглянемо можливі механізми ефекту стрибкоподібної зміни параметру елементарної комірки c кристалів Ag_3AsS_3 при лазерному опроміненні. Перш за все, відзначимо, що структурний каркас пруститу утворюють системи право- та лівогвинтових спіралей $(\text{AgS})_\infty$, розорієнтовані між собою на кут 2° [7-10]. На кожну з таких спіралей у межах елементарної комірки припадає 18 октаедричних порожнин (ОП), які статистично заповнюються катіонами срібла Ag^+ . Оскільки на елементарну комірку припадає 18 катіонів Ag^+ , то при $T \rightarrow 0$ у кожній з право- та лівогвинтових спіралях вони заповнюють половину ОП (рис. 5). При зростанні температури відбувається активна міграція катіонів Ag^+ у вакантні ОП. Такі процеси можуть бути достатньо інтенсивним, оскільки за кімнатної температури потенціальні бар'єри при переході іонів срібла між ОП складають тільки $U_{\text{Ag}} = 0,5$ eV – $0,8$ eV [10]. Завдяки цій особливості кристалічної структури прустит має досить високу іонну провідність, яка при кімнатній температурі складає 10^{-3} См/м [11].

У роботі [12] було встановлено, що характер терморозупорядкування право- та лівогвинтових спіралей Ag_3AsS_3 дещо різний. А саме, у процесі нагрівання, починаючи з температури $T \approx 150$ К, відбувається терморозупорядкування переважно правогвинтових спіралей, що відображується

аномальною поведінкою температурних залежностей відносної інтенсивності $I(T)$ ряду структурних максимумів (для них при $T > 150$ К зростання температури супроводжується збільшенням відносної інтенсивності). Дослідження впливу оптичного опромінення на відносну інтенсивність структурних максимумів пруститу показало, що для деяких рефлексів за умови освітлення зразків аномальна залежність $I(T)$, характерна для темрявого режиму при нагріванні від $T \geq 150$ К вже не спостерігається. Було зроблено висновок, що така поведінка залежностей $I(T)$ зумовлена переважним розупорядкуванням під дією світла саме лівогвинтових спіралей, а температура $T \approx 150$ К при нагріванні відповідає початку активного розупорядкування обох підґраток срібла – як тієї, що пов'язана з право-гвинтовими спіралями $(\text{AgS})_\infty$, так і тієї, що відповідає лівогвинтовим спіралям.

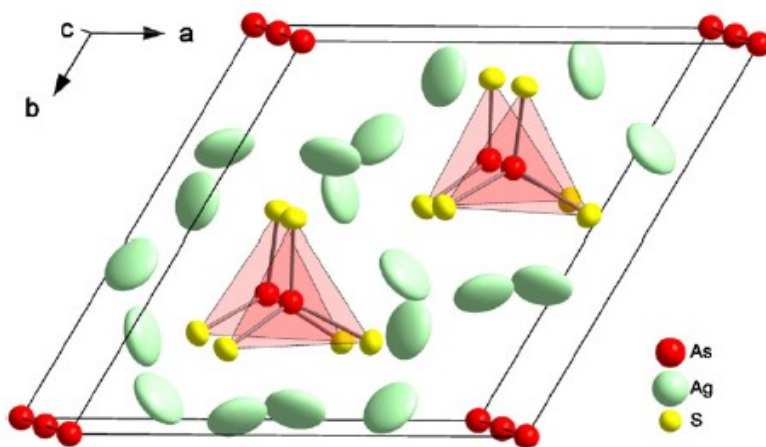


Рисунок 5 – Право- і лівогвинтові спіралі $(\text{AgS})_\infty$ та підґратка катіонів Ag^+ в елементарній комірці пруститу [10].
Figure 5 – Right- and left spirals $(\text{AgS})_\infty$ also sublattice of Ag^+ cations in the elementary cell of proustite [10].

Можна припустити, що стрибкоподібна зміна параметру c за умови лазерного опромінення супроводжується стрибком величини потенціального бар'єру U_{Ag} для катіонів Ag^+ при температурах T_{K1} та T_{K2} . Такий стрибок значень U_{Ag} не спостерігається у темрявому режимі, тобто переважне розупорядкування право-гвинтових спіралей при $T \geq 150$ К, встановлене у роботі [12], визначається тільки відмінністю температурних залежностей $U_{\text{Ag}}(T)$ для право- та лівогвинтових спіралей. Стрибкоподібне зменшення величини U_{Ag} за температури T_{K2} при нагріві спричинятиме активну теплову дифузію Ag^+ у обох спіралях. При охолодженні зразків за температури T_{K1} навпаки, відбувається стрибкоподібне зростання U_{Ag} і у подальшому при $T < T_{\text{K1}}$ стан підґраток Ag^+ у право- та лівогвинтових спіралях «заморожується». Таким чином, відмінність процесів розупорядкування підґраток Ag^+ у темрявому режимі та за умови лазерного опромінення може бути зумовлена різним характером теплових залежностей $U_{\text{Ag}}(T)$: при опроміненні вони змінюються стрибком в околі T_{K1} , а без опромінення ці функції для право- та лівогвинтових спіралей не мають стрибків, хоча і відмінні між собою. Отже, стрибкоподібна зміна параметру c при температурах T_{K1} та T_{K2} дозволяє пояснити різний характер терморозупорядкування катіонних підґраток Ag^+ у право- та лівогвинтових спіралях $(\text{AgS})_\infty$ за умови, що стрибкова зміна параметру c супроводжується стрибком величини U_{Ag} .

Відзначимо, що стрибкоподібна зміна параметру c при T_{K1} може відображувати фазовий перехід (ФП) першого роду у кристалі пруститу при цій температурі, особливо прийнявши до уваги аномалії ряду фізичних параметрів в околі температури 150 К, що спостерігалися у роботах [14-16]. На користь цього свідчить і гістерезис $\Delta T \approx 2$ К у температурному положенні стрибка параметру c при наступному нагріванні. Однак для висновку про існування ФП I роду необхідне дослідження симетрії пруститу в околі температури T_{K1} , а також його термодинамічних характеристик, наприклад, теплоємності. Це питання потребує подальшого дослідження.

Висновки.

У роботі експериментально визначено температурні залежності параметрів a та c елементарної комірки кристалів пруститу Ag_3AsS_3 , а також лінійні коефіцієнти теплового розширення у температурному діапазоні $T=120-300$ К як у темрявому режимі, так і при інтенсивному лазерному опроміненні. Виявлено, що за умови лазерного опромінення при температурі $T \approx 150$ К відбувається стрибкоподібна зміна параметру величину $\Delta c \approx 0,003 \text{ \AA}$ – зростання при охолодженні та зменшення при нагріванні. Стрибок значень параметру елементарної комірки відображує зміну характеру процесів розупорядкування підґратки катіонів Ag^+ при переході від темрявого режиму до інтенсивного лазерного опромінення, оскільки при цьому стрибком змінюються величини потенціального бар'єру переходу іонів срібла між октаедричними порожнинами.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Абдикамалов Б.А. Исследование низкотемпературного структурного превращения в кристаллах прустита / Б.А. Абдикамалов, В.И. Иванов, В.Ш. Шехтман, И.М. Шмытько // Физика твердого тела. – 1978. – Т. 20, № 10. – С.2963–2968.
2. Schonau K. High-temperature phase transitions, dielectric relaxation, and ionic mobility of proustite, Ag_3AsS_3 , and pyrrargyrite, Ag_3SbS_3 / K. Shonau, S. Redfern // Journal of Applied Physics. – 2002. – V. 92, No 12. – P. 7415–7424.
3. Горин Ю.Ф., Бабушкин А.Н., Злоказов В.Б., Кобелев Л.Я. Анизотропия электропроводности прустита при низких температурах.// ФТТ. – 1983. Т.25, № 11. – С.3473–3475.
4. Абгарян Г.А., Мелконян Р.А. Особенности температурной зависимости края поглощения в кристаллах пираргирита.// Український фізичний журнал. – 1984. Т.29, № 4. – С.603–604.
5. Ребане Л.А. Изучение симметрии кристаллической решетки прустита методом комбинационного рассеяния света // Л.А. Ребане, К.Э. Халлер / Физика твердого тела. – 1983. – Т. 24, № 8. – С. 2351–2360.
6. Смоленский Г.А. Рассеяние Мандельштама-Бриллюэна в прустите // Г.А. Смоленский, И.Г. Синий, С.Д. Прохорова, А.А. Годовиков, Р. Лайхо, Т. Левола, Е. Караемяки / Физика твердого тела. – 1981. – Т. 23, №7. – С. 2017 – 2027.
7. Harker D. The application of the three-dimensional Patterson method and the crystal structures of proustite, Ag_3AsS_3 , and pyrrargyrite, Ag_3SbS_3 / D. Harker // The Journal of Chemical Physics. – 1936. – V. 4, No 6. – P. 381–390.
8. Engel P. Die Verfeinerung der Kristallstruktur von Proustite, Ag_3AsS_3 , und Pyrrargyrit, Ag_3SbS_3 / P. Engel, W. Nowacki // Neues Jahrbuch für Mineralog. Monatsh. – 1966. – No 6. – P.181–184.
9. Holovey M.I. Preparation and some properties of synthetic proustite single crystals / M.I. Holovey, I.D. Olexeyuk, M.I. Gurzan // Kristall and Technik – 1991. – V. 6, No 5. – P. 631–637.
10. Gagor A. Silver transfer in proustite Ag_3AsS_3 at high temperatures: Conductivity and single-crystal X-ray studies / A. Gagor, A. Pawowski and A. Pietraszko // Journal of Solid State Chemistry. – 2009. – V. 182. – P. 451–456.
11. Крушельницкая Т.Д. О микроскопическом механизме низкотемпературных фазовых переходов в прустите и пираргирите / Т. Д. Крушельницкая// Физика твердого тела. – 1980. – Т. 22, № 4. – С. 1046–1051.
12. Боровой Н.А. Терморазупорядочение катионной подрешетки прустита / Н.А. Боровой, Ю.П. Гололобов, И.Н. Саливов // Физика низких температур. – 1999. – Т.25, № 7. – С. 731–736.
13. Гололобов Ю.П. Індуковане світлом розупорядкування катіонної підґратки пруститу / Ю.П. Гололобов // Український фізичний журнал. – 1999. – Т. 44, № 8. – С. 1007–1010.
14. Гололобов Ю.П. О фотоиндуцированном фазовом переходе в кристаллах Ag_3AsS_3 / Ю.П. Гололобов // Физика твердого тела. – 1999. – Т. 41, № 4. – С. 702–704.
15. Schonau K. A., Derfern S. A. T. High-temperature phase transitions, dielectric relaxation, and ionic mobility of proustite, Ag_3AsS_3 , and pyrrargyrite, Ag_3SbS_3 // Journal of Applied Physics – 2002. – V. 92, № 12, P.7415-7424.
16. Laufek F. The role of silver in the crystal structure of pyrrargyrite: single crystal X-ray diffraction study / F. Laufek, J. Sejkora, M.Dusek // Journal of Geosciences. – 2010. – V. 55. – P. 161–167.

REFERENCES

1. Abdikamalov B. A. Research of the low temperature structural converting into the proustite crystals // Phys. Solid State 20(10), p. 2963–2968 (1978). (Rus).

2. Schonau K. High-temperature phase transitions, dielectric relaxation, and ionic mobility of proustite, Ag_3AsS_3 , and pyrargyrite, Ag_3SbS_3 / K. Shonau, S. Redfern // *Journal of Applied Physics*. – 2002. – V. 92, No 12. – P. 7415–7424.
3. Gorin Yu.F., Babushkin A.N., Zlokazov V.B. . Anisotropy of proustite conductivity at low temperatures. // *Phys. Solid State* 25(11), p. 3473–3475 (1983). (Rus).
4. Abgaryan G.A., Melkonyan R.A. // *Ukrainian Journal of Physics* Features of temperature dependence of edge of absorption are in the crystals of pyrargyrite. 29(4), p. 603–604 (1984) (Rus).
5. Rebane L.A., Haller K.E. Study of proustite crystalline grate symmetry by the light combination dispersion method. // *Phys. Solid State* 24(8), p. 2351–2360 (1983). (Rus).
6. Smolenskiy G.A., Siniy I.G., Prohorova S.D., Kuzminov E.G., Godovikov A.V. Brillouin scattering in proustite // *Phys. Solid State* 23(7), p. 2017 – 2027 (1981). (Rus).
7. Harker D. The application of the three-dimensional Patterson method and the crystal structures of proustite, Ag_3AsS_3 , and pypargyrite, Ag_3SbS_3 / D. Harker // *The Journal of Chemical Physics*. – 1936. – V. 4, No 6. – P. 381–390.
8. Engel P. Die Verfeinerung der Kristallstruktur von Proustit, Ag_3AsS_3 , und Pyrargyrit, Ag_3SbS_3 ./ P. Engel, W. Nowacki // *Neues Jahrbuch für Mineralog. Monatsh.* – 1966. – No 6. – P.181–184.
9. Holovey M.I. Preparation and some properties of synthetic proustite single crystals / M.I. Holovey, I.D. Olexeyuk, M.I. Gurzan // *Kristall and Technol* – 1991. – V. 6, No 5. – P. 631–637.
10. Gabor A. Silver transfer in proustite Ag_3AsS_3 at high temperatures: Conductivity and single-crystal X-ray studies / A. Gabor, A. Pawowski and A. Pietraszko // *Journal of Solid State Chemistry*. – 2009. – V. 182. – P. 451–456.
11. Krushelnyskaya T.D. About the microscopic mechanism of the low temperature phase transitions in proustite and pyrargyrite. // *Phys. Solid State* 22(4), p. 1046–1051 (1980). (Rus).
12. N.A. Borovoy, Yu.P. Gololobov and I.N. Salivonov, Termorearrangement of cation sublattice in proustite // *Low Temp. Phys.* 25, p. 546–549 (1999). (Rus)
13. Gololobov Yu.P. Deserializing of cationic sublattice of proustite induced by light // *Ukrainian Journal of Physics* 44(8), p.1007–1010 (1999). (Rus).
14. Gololobov Yu.P. About photostimulated phase transition in Ag_3AsS_3 crystal // *Phys. Solid State* 41(4), p. 702–704 (1999). (Rus).
15. Schonau K. A., Derfern S. A. T. High-temperature phase transitions, dielectric relaxa-tion, and ionic mobility of proustite, Ag_3AsS_3 , and pyrargyrite, Ag_3SbS_3 // *Journal of Applied Physics* – 2002. – V. 92, № 12, P.7415-7424.
16. Laufek F. The role of silver in the crystal structure of pyrargyrite: single crystal X-ray diffraction study / F. Laufek, J. Sejkora, M.Dusek // *Journal of Geosciences*. – 2010. – V. 55. – P. 161–167.

РЕФЕРАТ

Гололобов Ю.П. Особливості змін параметрів структури напівпровідника Ag_3AsS_3 / Ю.П. Гололобов, М.О. Боровий, А.В. Ніколаєнко // *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник*. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

Досліджено вплив температури та оптичного опромінення на параметри елементарної комірки та лінійні коефіцієнти теплового розширення кристалів Ag_3AsS_3 .

Об'єкт дослідження – монокристали халькогенідної сполуки-напівпровідника пруститу (Ag_3AsS_3).

Мета роботи – визначення особливостей зміни параметрів елементарної комірки кристалів пруститу Ag_3AsS_3 в інтервалі температур $T = 120\text{--}300\text{ K}$ при наявності оптичного опромінення.

Метод дослідження – метод рентгеноструктурного аналізу, дослідження рентгенівських дифрактограм монокристалів пруститу в інтервалі температур $T = 120\text{--}300\text{ K}$ як при лазерному опроміненні, так і у темрявому режимі.

Експериментально визначено температурні залежності параметрів a та c елементарної комірки кристалів пруститу Ag_3AsS_3 , а також лінійні коефіцієнти теплового розширення у температурному діапазоні $T = 120\text{--}300\text{ K}$ як у темрявому режимі, так і при інтенсивному лазерному опроміненні. Виявлено, що за умови лазерного опромінення при температурі $T \approx 150\text{ K}$ відбувається стрибкоподібна зміна параметру величину $\Delta c \approx 0,003\text{ \AA}$ – зростання при охолодженні та зменшення при нагріванні. Стрибок значення параметру елементарної комірки відображує зміну характеру процесів розупорядкування катіонів Ag^+ при переході від темрявого режиму до інтенсивного лазерного опромінення, оскільки при цьому стрибком змінюється величина потенціального бар'єру переходу іонів срібла між октаедричними порожнинами.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КРИСТАЛІЧНА СТРУКТУРА, ПАРАМЕТРИ ЕЛЕМЕНТАРНОЇ КОМІРКИ, ПРУСТИТ, ФАЗОВИЙ ПЕРЕХІД.

ABSTRACT

Gololobov Yu.P., Borovoy N.A., Nikolaenko A.V. The features of structure parameters changes Ag_3AsS_3 semiconductor. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

Influence of temperature and optical irradiation is investigated on the parameters of elementary cell and linear coefficients of thermal expansion of Ag_3AsS_3 proustite crystals.

Object of the study – single-crystals of compounds – semiconductor Ag_3AsS_3 .

Purpose of the study – to determine an elementary cell parameters change features of Ag_3AsS_3 crystals in the interval of temperatures of $T = 120\text{--}300\text{ K}$ with presence of optical irradiation.

Method of the study – X-rays metod.

Temperature dependences of the elementary cell parameters and also linear coefficients of thermal expansion of crystals of proustite Ag_3AsS_3 are investigated in the temperature range of $T = 120\text{--}300\text{ K}$ both in the darken mode and with an intensive laser irradiation. It is discovered, that there is a change of the parameter $\Delta c \approx 0,003\text{ \AA}$ as a height at cooling and reduction at heating at the temperature of $T \approx 150\text{ K}$ on condition of laser irradiation. The jump of values of parameter of elementary cell represents the change of character of processes of deserializing of cations of Ag^+ in transition from the darken mode to the intensive laser irradiation, because the size of silver ions transition potential barrier between octahedral cavities change as a jump.

KEY WORDS: CRYSTALLINE STRUCTURE, PHASE TRANSITION, PARAMETERS OF ELEMENTARY CELL, PROUSTITE.

РЕФЕРАТ

Гололобов Ю.П. Особенности изменений параметров структуры полупроводника Ag_3AsS_3 / Ю.П. Гололобов, Н.А. Боровой, А.В. Николаенко // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

Исследовано влияние температуры и оптического облучения на параметры элементарной ячейки и линейные коэффициенты теплового расширения кристаллов Ag_3AsS_3 .

Объект исследования – монокристаллы халькогенидного соединения-полупроводника прустита (Ag_3AsS_3).

Цель работы – определение особенностей изменения параметров элементарной ячейки кристаллов пруститу Ag_3AsS_3 в интервале температур $T = 120\text{--}300\text{ K}$ при наличии оптического облучения.

Метод исследования – метод рентгеноструктурного анализа, исследования рентгеновских дифрактограмм монокристаллов пруститу в интервале температур $T = 120\text{--}300\text{ K}$ как при лазерном облучении, так и в темновом режиме.

Экспериментально определены температурные зависимости параметров a и c элементарной ячейки кристаллов пруститу Ag_3AsS_3 , а также линейные коэффициенты теплового расширения в температурном диапазоне $T = 120\text{--}300\text{ K}$ как в темновом режиме, так и при интенсивном лазерном облучении. Выявлено, что при условии лазерного облучения при температуре $T \approx 150\text{ K}$ происходит скачкообразное изменение параметру величину $\Delta c \approx 0,003\text{ \AA}$ – рост при охлаждении и уменьшение при нагревании. Скачок величины параметра элементарной ячейки отображает изменение характера процессов разупорядочения катионов Ag^+ при переходе от темнового режима к интенсивному лазерному облучению, поскольку при этом прыжком изменяется величина потенциального барьера перехода ионов серебра между октаэдрическими пустотами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА, ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД, ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ЯЧЕЙКИ, ПРУСТИТ.

АВТОРИ:

Боровий Микола Олександрович, доктор фізико-математичних наук, професор, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, завідувач кафедри загальної фізики, e-mail: borovoy@univ.kiev.ua, тел. +380445262288, Україна, 03680, м. Київ, просп. Акад. Глушкова 2, корпус №1, к. 225, orcid.org/0000-0002-2435-2620.

Гололобов Юрій Павлович, доктор фізико-математичних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри, e-mail: «Yuriy Gololobov» <gololo@ukr.net>, тел. +380442846709, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 406, orcid.org/0000-0003-3360-6669.

Ніколаєнко А.В., Київський національний університет імені Тараса Шевченка, кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник кафедри загальної фізики, e-mail: alina.salnik@gmail.com, тел. +380969512897, Україна, 03680, м. Київ, просп. Акад. Глушкова 2, корпус №1, к. 225, orcid.org/0000-0002-8744-8232.

AUTHORS:

Borovoy Mikola O., doctor of sciences, professor, Kyiv Taras Shevchenko National University, head department of general physics, e-mail: borovoy@univ.kiev.ua, tel. +380445262288, Ukraine, 03680, Kyiv, Acad. Glushkova Prosp.2, build. 1, of. 225, orcid.org/0000-0002-2435-2620.

Gololobov Yuri P., doctor of sciences, professor, National Transport University, professor of department, Kyiv, e-mail: «Yuriy Gololobov» <gololo@ukr.net>, tel. +380442846709, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 406, orcid.org/0000-0003-3360-6669.

Nikolaenko Alina V., Ph. D., Taras Shevchenko Kyiv National University, researcher, department of general physics, e-mail: alina.salnik@gmail.com, tel. +380969512897, Ukraine, 03680, Kyiv, Acad. Glushkova Prosp.2, build. 1, of. 225, orcid.org/0000-0002-8744-8232.

АВТОРЫ:

Боровой Николай Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, заведующий кафедры общей физики, e-mail: borovoy@univ.kiev.ua, тел. +380445262288, Украина, 03680, г. Киев, просп. Акад. Глушкова 2, корпус №1, к. 225, orcid.org/0000-0002-2435-2620.

Гололобов Юрий Павлович, доктор физико-математических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры, e-mail: «Yuriy Gololobov» <gololo@ukr.net>, тел. +380442846709, Украина, 01103, г. Киев, ул. М. Бойчука, 42, к. 406, orcid.org/0000-0003-3360-6669.

Николаенко Алина Владимировна, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, научный сотрудник кафедры общей физики, кандидат физико-математических наук, mail: alina.salnik@gmail.com, тел. +380969512897, Украина, 03680, г. Киев, просп. Акад. Глушкова 2, корпус №1, к. 225, orcid.org/0000-0002-8744-8232.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гуляев В.І., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри математики, Київ, Україна.

Ільїн П.П., кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України, доцент кафедри фізики, Київ, Україна.

REVIEWER:

Gulyayev V.I., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, head department of mathematics, Kyiv, Ukraine.

Ilin P.P., Ph. D., associate professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, associate professor department of physics, Kyiv, Ukraine.

ВИБІР СПОСОБУ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗА КРИТЕРІЯМИ ЯКОСТІ

Горбенко С.С., Національний транспортний університет, Київ, Україна, horbenkoserhii@ukr.net, orcid.org/0000-0002-6497-7959

CHOICE THE RESTORING METHOD OF DETAILS BY QUALITY CRITERIA

Horbenko S.S., National Transport University, Kyiv, Ukraine, horbenkoserhii@ukr.net, orcid.org/0000-0002-6497-7959

ВЫБОР МЕТОДА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПО КРИТЕРИЯМ КАЧЕСТВА

Горбенко С.С., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, horbenkoserhii@ukr.net, orcid.org/0000-0002-6497-7959

Вступ.

Обираючи найбільш раціональний технологічний процес модифікації деталей враховують наступні початкові дані: геометричні параметри, форму, точність виготовлення деталі, матеріал, термічну обробку, умови роботи, вид і характер дефекту, виробничі потужності ремонтного підприємства та ін.

Важливим чинником є локалізація дефекту, його виду та походження, який впливає на подальший вибір технологічного процесу відновлення експлуатаційних властивостей деталей.

В рамках забезпечення надійності сучасних двигунів, як складової якості, використовують такі характерні напрямки модифікації їх складових, а саме: застосування прогресивних технологічних процесів відновлення деталей і складальних одиниць, що дозволяють істотно поліпшити їх якісні показники; впровадження матеріалів підвищеної стійкості процесам зношення; розробка та впровадження в виробничі процеси зміцнювальних технологій поверхні ресурсовизначальних деталей [1].

Для підвищення довговічності деталей застосовуються різні технологічні процеси зміцнення (модифікації) поверхневого шару: фізико-хімічна обробка робочих поверхонь деталей, термічна обробка, поверхневе пластичне деформування (ППД), наплавка поверхонь, гальванічні покриття, електроерозійне легування (ЕЕЛ) і ін. Застосування перерахованих методів дозволяє поліпшити якісні параметри поверхневого шару, а саме: підвищити зносостійкість за рахунок зміни твердості і мікротвердості оброблюваного матеріалу деталей, знизити шорсткість і відновити зношені поверхні, тощо.

Мета роботи.

Мета роботи полягає в аналізі існуючих методів модифікації поверхневого шару та у виборі ефективного та економічно обґрунтованого способу відновлення деталей, що враховує критерії якості, які впливають на експлуатаційні властивості та забезпечить відповідний вимогам рівень після процесу модифікації.

Постановка проблеми.

З метою підвищення експлуатаційних властивостей ресурсовизначальних деталей ДВЗ, а саме їх надійності і довговічності, шляхом надання поверхневому шару необхідних фізико-механічних властивостей, в машинобудуванні та ремонтному виробництві широко використовують різні методи його модифікації шляхом структурних змін, а також підвищення твердості і міцності, утворення сприятливих стискаючих напруг, зниження шорсткості оброблюваних поверхонь. Це сприяє підвищенню надійності і довговічності деталей, які особливо піддаються абразивному зношуванню в процесі експлуатації.

Жоден з перерахованих методів модифікації поверхневого шару не забезпечує достатнього рівня універсальності, тому в кожному окремому випадку для конкретних деталей, при відновленні у ремонтному виробництві, підбирають той метод, який в повній мірі задовольняє вимогу підвищення експлуатаційних характеристик та є економічно доцільним.

Основний матеріал.

Для отримання високої твердості поверхневого шару деталі із збереженням в'язкого осердя, що забезпечує стійкість процесам зношення, застосовують модифікацію поверхні або хіміко-термічну обробку. Серед цілого ряду методів поверхневого зміцнення (в розплавлених металах, електрострумом високої частоти, полуменевий гарт), в практиці найбільш широке застосування знайшов спосіб

високочастотного гартування при нагріванні поверхневого шару деталі змінним струмом високої частоти (СВЧ). До основних переваг даного методу можна віднести: можливість контролювати глибину зміцненого шару від часток міліметра до 10мм та забезпечити мінімальне короблення при цьому. Але з позиції економічної ефективності загартування СВЧ доцільно застосовувати тільки в масовому і великосерійному виробництві через високу вартість обладнання і самого технологічного процесу [2].

Одним з напрямків підвищення зносостійкості деталей є створення на їх поверхнях шарів хімічних сполук, властивості яких відрізняються від властивостей основних металів. До таких методів слід віднести: цементацію, азотування, борування, хромування, металізацію і ряд інших, які в основному знаходять широке застосування при виготовленні деталей ДВЗ переважно для поліпшення протизадирних та антифрикційних якостей деталей машин, що працюють у важких умовах тертя.

Процес цементації полягає в насиченні поверхневих шарів деталей, які перебувають в процесах активного тертя, вуглецем на глибину 0,5-2,5мм з подальшим м'яким осерддям [3]. Основний недолік цементації – виникнення в поверхневому цементованому шарі напружень стиску, а в осерді – напруження розтягу, яке призводить до утворення значної деформації деталі.

У виробничих процесах цементації поверхневих шарів деталей застосовують азотування (дифузійне насичення азотом поверхонь сталевих деталей), яке проводять при температурі 500-600° С в шахтній електричній печі. Тривалість витримки в залежності від необхідної глибини шару і температури процесу задають з розрахунку 15год на 0,1мм азотованого шару. В результаті наявності в азотованому шарі залишкових напружень стиску межа витривалості деталей значно підвищується. Застосування процесу азотування найбільш ефективно для деталей, які повинні мати високу зносостійкість і мікротвердість поверхневого шару та стійкість до корозійного впливу.

Останнім часом в промисловості набув поширеного застосування більш вдосконалений процес азотування іонізованим азотом в плазмі тліючого розряду – іонне азотування (ІА). Переваги даного методу в порівнянні зі звичайним рідинним і газовим азотуванням полягає в можливості цілеспрямованого контролю структури отриманого поверхневого шару, зменшити короблення, поліпшити показники екологічної безпеки процесу, скоротити тривалість обробки.

Для деталей, які працюють при знакозмінних навантаженнях та в агресивних і абразивних середовищах, з метою підвищення зносостійкості їх поверхневого шару застосовують процес дифузійного насичення поверхні сполуками бору у вигляді боридів заліза.

Хромування зазвичай використовують для підвищення жаро-, зносо-, кавітаційної і корозійної стійкості деталей машин та забезпечує окалиностійкість. Твердість хромованого шару підвищується зі збільшенням вмісту вуглецю і може досягати HV1300 при глибині шару до 0,3 мм. Недоліком методу є: мала товщина шару при великій тривалості і складності процесу.

Металізація напиленням полягає в розпиленні розплавленого металу струменем стисненого повітря і осадженні його на попередньо підготовлену поверхню деталі. Незважаючи на достатню простоту і значну продуктивність, метод має істотні недоліки: висока пористість (до 10%), зниження опору втоми, незадовільна робота в умовах тертя без змащувального матеріалу. Застосовується, як правило, для відновлення шийок валів, колінвалів, вкладишів підшипників і т.п.

В сучасному машинобудуванні для зміцнення і нанесення захисних покриттів також застосовують метод електроерозійного легування (ЕЕЛ) – перенесення легованого матеріалу аноду на леговану поверхню при іскровому розряді в середовищі кисню. Цей метод дозволяє змінювати в широких межах механічні, термічні, і інші властивості робочих поверхонь деталей. До основних особливостей ЕЕЛ слід віднести локальну обробку поверхні, високу міцність адгезії нанесеного матеріалу з основою, відсутність необхідності спеціальної підготовки поверхні [4]. Недоліками методу є: виникнення в поверхневому шарі залишкових напружень розтину, зниження втомної міцності.

Метод лазерного термозміцнення поверхні деталі, який заснований на використанні явища високошвидкісного розігріву металу під тиском лазерного променя до температур, що перевищують температуру фазових перетворень і подальшого високошвидкісного охолодження за рахунок відведення тепла з поверхні в основну масу металу.

В своїх дослідженнях автори [5] встановили, що при обробці променем лазера, як і при звичайному гартуванні, в поверхневому шарі утворюється мартенсит і залишковий аустеніт. Мікротвердість в зоні обробки підвищується за рахунок того, що в зоні швидкого нагріву і охолодження утворюється більш дрібнозернистий мартенсит, при чому глибина зміцненого шару досягає до 0,2мм. До переваг згаданого методу можна віднести наступне: можливість високопродуктивного зміцнення локальних ділянок деталей в місцях їх інтенсивного зносу; відсутність деформації деталі і можливість обро-

бки без збільшення шорсткості, що створює можливість виключити фінішну обробку. Недоліки методу: неможливість відновлення геометричних розмірів зношених ділянок, низька продуктивність зміцнення великих площ поверхні, необхідність у забезпеченні складної оснастки, а це в кінцевому результаті в значній мірі впливає на економічні показники, тобто на собівартість продукції.

З метою порівняння якісних та кількісних показників розглянутих методів модифікації поверхневих шарів деталей при виготовленні та ремонті їх переваги і недоліки зводимо в таблицю 1.

Таблиця 1 – Переваги та недоліки технологічних методів модифікації поверхневих шарів
Table 1 – Advantages and disadvantages of technological methods of surface layer modification

Характеристика якості поверхневого шару	Методи підвищення якості поверхневого шару
Переваги	
Підвищення твердості	Загартування СВЧ, цементация, термодифузійне хромування, наплавлення, вібраційна обробка
Підвищення зносостійкості	Вібраційна обробка, цементация, азотування, термодифузійне хромування, гальванопокриття, ЕЕЛ
Підвищення корозійної стійкості	Вібраційна обробка, ІА, азотування, термодифузійне хромування, гальванопокриття, ЕЕЛ
Можливість відновлення зношених поверхонь	Вібраційна обробка, наплавлення, гальванопокриття, металізація напиленням, ЕЕЛ
Підвищення втомної міцності	Вібраційна обробка, загартування СВЧ, цементация, ІА, термодифузійне хромування, ППД
Зниження шорсткості	Вібраційна обробка, ППД
Екологічна безпека	Вібраційна обробка, загартування СВЧ, ІА, ППД, ЕЕЛ
Недоліки	
Викривлення	Загартування СВЧ, цементация, ІА, термодифузійне хромування, наплавлення, гальванопокриття, металізація напиленням
Збільшення шорсткості	Наплавлення, гальванопокриття, металізація напиленням, ЕЕЛ
Зниження втомної міцності	Наплавлення, гальванопокриття, металізація напиленням, ЕЕЛ
Неможливість відновлення зношених поверхонь	Загартування СВЧ, цементация, азотування, ІА, термодифузійне хромування
Підвищена екологічна безпека	Цементация, азотування, термодифузійне хромування, наплавлення, гальванопокриття, металізація напиленням

Аналізуючи дані літературних джерел [2-6], виділимо основні експлуатаційні властивості деталей, набуті в результаті технологічних процесів модифікації поверхневого шару та зводимо їх до таблиці 2.

Таблиця 2 – Характеристика основних методів зміцнення поверхні
Table 2 – Main surface hardening methods characteristics

Метод Властивості	Азотування	Борування	Ін. методи ХТО	Поверхнево- пластичне деформування	Гальванічні покриття	Електроіскрове легування	Газотермічне напилювання	Вакуум-плазмові покриття	Лазерна термічна обробка	Іонне азотування
	Хіміко – термічна обробка (ХТО)									
Твердість, МПа	1230 – 1640 HV	1500 – 1700 HV	7500 – 8500	4000– 6200	1100	500– 1000	6500– 11000	1100 0– 1600 0	7500– 15000	10500 – 10700
Товщина, мм	0,05– 0,15	0,12– 0,5	0,01– 0,25	0,35– 0,45	0,15– 0,7	0,2– 0,4	0,1–0,5	0,05 – 0,12	0,35–5	0,1– 0,3
Температура процесу, °С	900– 1100	900– 1200	750– 950	20–50	50– 450	300– 500	50–350	400– 600	1000– 1500	300– 900
Тривалість процесу	3– 100 год	3–20 год	2–50 год	0,5–4 год	0,5–3 год	0,000 3 м2 /хв	0,1–10 кг/год	0,5– 1,5 год	10–100 м/с	0,5-10 год
Зносо- стійкість	↑ в 2,5– 3,2 рази	↑ в 8,0 разів	↑ в 1,5- 3,0 рази	↑ в 1,2– 2, 0 рази	↑ в 5,4 рази	↑ в 1,6– 3,5 рази	↑2,5– 3,1 рази	↑ в 2,0– 4,0 рази	↑1,5...3, 0 рази	↑ 1,7– 3,1 рази
Корозійна стійкість	↑ в 20 разів	в 35 разів	↑ в 15 разів	↑ в 2 рази	↑ в 3 рази	-	↑ в 5 разів	↑ до 10 разів	↑ на 15%	-
Ерозійна стійкість	↑ в 2 рази	↑ в 2 рази	↑ в 2 рази	↑ на 23%	↓ до 5%	-	↑ в 3 рази	↑ в 7...1 0 разів	↑ на 10%	-

Кожен із розглянутих методів модифікації поверхневого шару має свої переваги та недоліки технічного, технологічного та економічного характеру. Вибір того чи іншого способу відновлення можна здійснювати в наступній послідовності:

1. Визначення застосування можливих способів відновлення з урахуванням кожного дефекту;
2. Відібрані способи слід оцінити за критеріями якості (технологічності, трудомісткості, собівартості, коефіцієнту витрати матеріалу, кратністю відновлення).

При виборі технологічного процесу спочатку необхідно звернути увагу на можливі способи відновлення по кожному дефекту в даних конкретних виробничих умовах у заданий термін і в необхідному обсязі.

Обравши спосіб відновлення, необхідно оцінити їх за наступними критеріями: технологічність, яка обумовлена трудомісткістю, собівартістю, коефіцієнтом оброблюваності, кратністю відновлення; продуктивністю; надійністю та ін.

Потім обираємо сукупності способів відновлення, з урахуванням їхнього логічного взаємозв'язку, технологічної спадковості й обмежень по ергономічним (гігієнічність і безпека праці), економічним, естетичним показникам, рівнем механізації, автоматизації, уніфікації, патентної чистоти. У бі-

льшості випадків ці показники відіграють допоміжну роль, що дозволяє заповнити характеристику раціональних варіантів.

Із літературних джерел [11] відомо, що типові і групові технологічні процеси відновлення не одержали широкого використання, оскільки їх складно застосувати при відновленні конкретних деталей машин.

При виборі способу відновлення в першу чергу необхідно зробити аналіз за критеріями якості про застосування методу, мета якого полягає у виборі способу усунення дефекту деталі, що найкраще відповідає критеріям застосовуваності, технологічному і техніко-економічному обґрунтуванню, а саме:

1. *Критерій застосовності* є технологічним критерієм і визначає принципову можливість застосування різних способів відновлення по відношенню до конкретних деталей. Цей критерій описується функцією.

$$K_{\Pi} = \varphi(M_d; \Phi_d; D_d; Z_d; H_d; \sum_{i=1}^m T_i)$$

де M_d – матеріал деталі; Φ_d – форма деталі; D_d – діаметр деталі; Z_d – знос деталі; H_d – навантаження, що сприймається деталлю; $\sum_{i=1}^m T_i$ – сума технологічних особливостей способу відновлення.

За цим критерієм вибираються конкретні способи для подальшої оцінки їх за допомогою інших критеріїв.

2. *Критерій довговічності* визначає працездатність відновлюваних деталей. Він виражається через коефіцієнт довговічності, під яким розуміється відношення довговічності відновлюваної деталі до довговічності нової деталі цього найменування. Цей коефіцієнт визначається як функція.

$$k_d = f_1(k_z; k_b; k_{зц})$$

де k_z – коефіцієнт зносостійкості; k_b – коефіцієнт витривалості; $k_{зц}$ – коефіцієнт зчеплення.

3. *Техніко-економічний критерій* є функцією двох аргументів.

$$k_{m.e.} = f_2(k_{np}; E)$$

де k_{np} – коефіцієнт продуктивності способу; E – показник економічності способу. За продуктивністю оцінюють окремо спосіб відновлення в цілому і процес нанесення матеріалу при цьому способі. Продуктивність вибраного способу модифікації визначається за формулою:

$$K_n = t_{p.n} / t_i$$

де $t_{p.n}$ – основний час відновлення умовної деталі ручним наплавленням;
 t_i – основний час відновлення умовної деталі даним способом.

Використовуючи вище наведену методику та дані з таблиці 2, побудуємо діаграму (Рис.1) залежності витрат енергоресурсів, що будуть витрачені при забезпеченні шару певної твердості на задану товщину.

На основі аналізу діаграм та підрахунків енерговитрат можна зробити висновок про економічність того чи іншого способу модифікації поверхневого шару та обрати необхідний, в залежності від задоволення критеріїв якості, умов використання та експлуатаційних властивостей відповідних поверхонь деталей.

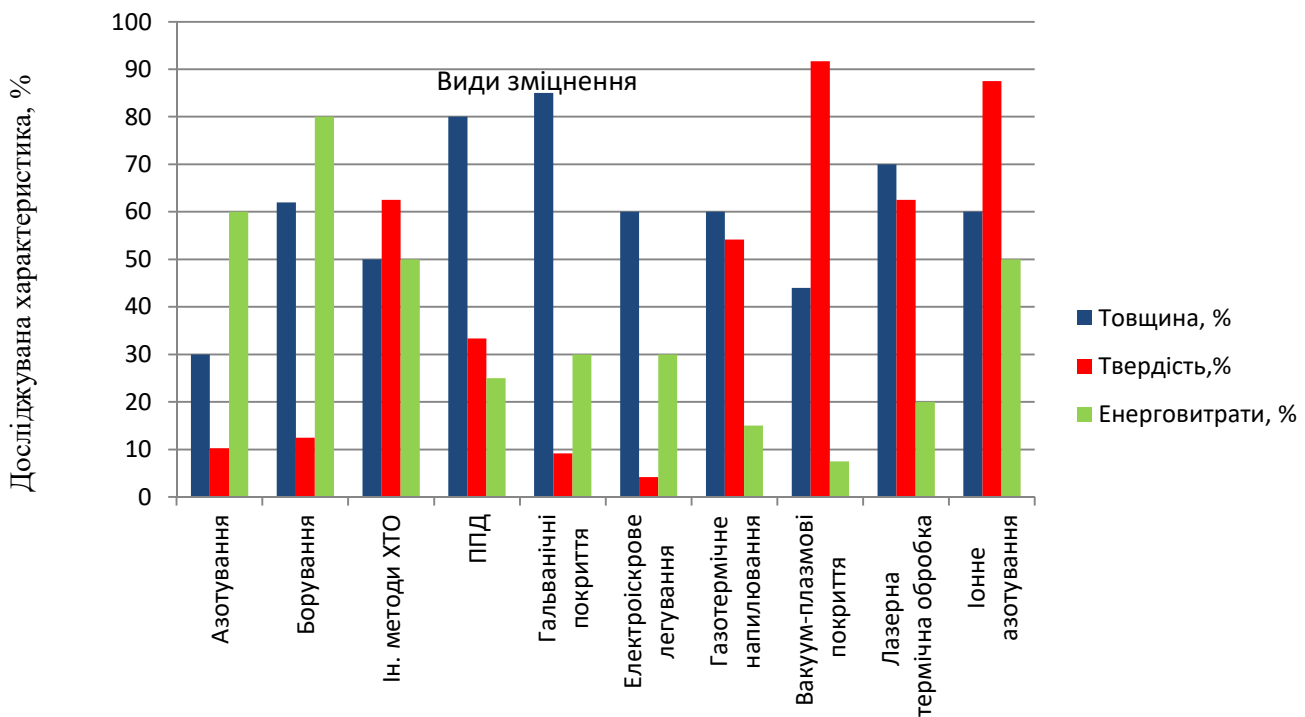


Рисунок 1 – Діаграма залежності витрат енергоресурсів від отриманого зміцненого поверхневого шару
Figure 1 – Dependence of energy consumption on the obtained hardened surface layer diagram

Висновки.

Проведеними дослідженнями методів модифікації поверхневих шарів деталей встановлено, що найбільш перспективнішим є методи іонного азотування (в тому числі вакуумно – плазмове азотування як комбінований метод) та лазерного термозміцнення. На основі аналізу, що включав в себе порівняння характеристик методів поверхневого зміцнення та їх оцінки за критеріями якості (технологічності, трудомісткості, собівартості, коефіцієнту витрати матеріалу, кратністю відновлення), дані методи є такими, що потребують більш детального вивчення та можуть бути використанні для забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей деталей, що будуть відновлені в міжремонтному інтервалі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гуляев А.П. Металловедение / А.П.Гуляев. –М.: Металлургия, 1977. – 646 с.
- 2.Полевой С.Н. Упрочнение металлов/ С.Н. Полевой, В.Д. Евдокимов. –М.: Машинностроение, 1986. – 319 с.
- 3.Верхутов А.Д. Технология электроискрового легирования металлических покрытий/ А.Д. Верхутов, И.М. Муха. –К.: Техника, 1982. – 181 с.
- 4.Коваленко А.Д. Упрочнение деталей пучком лазера/ А.Д. Коваленко,Л.Ф. Головкин, Г.В. Меркулов, А.И. Стрижак. К.: Техника, 1981. – 131 с.
- 5.Дудніков І.А.Розрахунок напруженого стану відновлюваних циліндричних деталей / І.А. Дудніков, О.І.Біловод // Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця. – 2005. – №1.-35-37.
6. Молодык Н. В. Восстановление деталей машин [Текст] / Н. В. Молодык, А.С. Зенкин. – М. : Машиностроение, 1989. – 480 с.
7. Харламов Ю.О., Будагянц Н.А. Основы технологии восстановления и упрочнения деталей машин. Учебное пособие в 2т. – Луганск: изд-во Восточно-укр. Национ. ун-та им. В. Даля. 2003.
8. Аскинази Б.М. Упрочнение и восстановление деталей машин электромеханической обработкой. – 3-е изд. – М.: Машиностроение. 1989. – 200 с.
9. Сидоров А.И. Восстановление деталей машин напылением и наплавкой.- М.: Машиностроение; 1987.– 192 с.

10. Восстановление автомобильных деталей. Технология и оборудование: учебник для высш. учеб. заведений / В.Е. Канарчук, А.Д. Чигринец, О.Л. Голяк, П.М. Шощкий. – М.: Транспорт, 1995. – 301 с.
11. Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственной техники. М.И. Черновол, Киев, УМКВО, 1989
12. Надежность и ремонт машин. Под редакцией В.В. Курчаткина. – М., „Колос”. 2000.– 776 с.
13. Відновлення деталей машин. Молодик М. В., Лангерд, Бредун А. – К.: “Урожай”.– 1989. – 256 с.

REFERENCES

1. Gulyaev AP Metal Science / AP Gulyaev. –M .: Metallurgy, 1977. – 646 p.
2. Polevoy SN Strengthening of metals / S.N. Field, VD Evdokimov. –M .: Mechanical Engineering, 1986. – 319 p.
3. Verhutorov AD Technology of electrospark alloying of metal coatings / AD Verkhutov, I.M. Fly. –K .: Engineering, 1982. – 181 p.
4. Kovalenko AD Hardening of parts by laser beam / AD. Kovalenko, L.F. Golovko, GV Merkulov, A.I. Haircut. K .: Engineering, 1981. – 131 p.
5. Dudnikov IA Calculation of the stress state of the recovered cylindrical parts / IA Dudnikov, OI Belovod // Vibrations in Engineering and Technology. – Vinnytsia. – 2005. – №1.-35-37.
6. Molodyk NV Restoration of machine parts [Text] / NV Molodyk, AS Zenkin. – M.: Mechanical Engineering, 1989. – 480 p.
7. Yu.A. Kharlamov, NA Budagyants; Fundamentals of technology for restoration and strengthening of machine parts. Study Guide in 2t. – Lugansk: Publishing House East-Ukr. Nation. them. V. Dalia. 2003.
8. Askinazi B.M. Strengthening and restoration of machine parts by electromechanical treatment. – 3rd ed. – M .: Mechanical Engineering. 1989. – 200 p.
9. AI Sidorov Restoration of machine parts by spraying and surfacing. – M .: Mechanical Engineering; 1987. – 192 p.
10. Restoration of car parts. Technology and equipment: a textbook for higher education. textbooks the institution / V.E. Kanarchuk, A.D. Chigrynets, OL Golyak, P.M. Shotsky. – M .: Transport, 1995. – 301 p.
11. Restoration and strengthening of agricultural machinery parts. WE. Chernovol, Kiev, UMCWH, 1989
12. Reliability and repair of machines. Edited by V.V. Kurchatkina. – M., Colossus. 2000– 776 p.
13. Restoration of machine parts. Molodok MV, Langerd, Bradun A. – K .: Harvest. – 1989. – 256 p.

РЕФЕРАТ

Горбенко С.С. Вибір способу відновлення деталей за критеріями якості / С.С. Горбенко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

Мета статті полягає в аналізі існуючих методів модифікації поверхневого шару та у виборі такого способу відновлення деталей, що враховує критерії якості, які впливають на експлуатаційні властивості та забезпечить їх необхідний рівень після процесу модифікації.

У статті розглянуто основні методи модифікації поверхневого шару, проаналізовано та систематизовано основні переваги та недоліки технологічного процесу того чи іншого методу, що може бути застосованим. Також у статті розглянуто та подано у вигляді таблиці кількісні показники основних технологічних параметрів кожного з розглянутих методів відновлення експлуатаційних властивостей.

За результатами проведеного аналізу запропоновано методику вибору раціонального технологічного процесу відновлення та сформовано критерії, згідно якими буде виконуватись вибір найоптимальнішого методу модифікації поверхневого шару, мета якого полягає у виборі способу усунення дефекту деталі, що найкраще відповідає критеріям застосовуваності, технологічному і техніко-економічному обґрунтуванню.

Об'єкт дослідження – критерії якості та основні методи відновлення експлуатаційних властивостей деталей двигунів, що задовольняють ці критерії.

Використовуючи розроблену методику та дані з таблиці 2, було побудовано діаграму залежності витрат енергоресурсів, що будуть витрачені при забезпеченні шару певної твердості на задану товщину.

На основі аналізу, що включав в себе порівняння характеристик методів поверхневого зміцнення та їх оцінки за критеріями якості, встановлено, що найбільш перспективнішим є метод іонного азотування та лазерного термозміцнення.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОДИФІКАЦІЯ, ПОВЕРХНЕВИЙ ШАР, ВІДНОВЛЕННЯ, КРИТЕРІЙ ЯКОСТІ

ABSTRACT

Horbenko S.S. Choice the restoring method of details by quality criteria. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The purpose of the article is to analyze the existing methods of surface layer modification and to choose such a method of restoration of parts, which takes into account the quality criteria that affect the operational properties and ensure their required level after the modification process.

The main methods of surface layer modification are considered in the article, the main advantages and disadvantages of technological process that can be applied are analyzed and systematized. In the article quantitative indicators of the main technological parameters of each of the considered methods of restoration of operational properties are considered and presented as a table.

According to the results of the analysis, a method for choosing a rational technological process of restoration was proposed and criteria were formed according to which the most optimal method of surface layer modification would be fulfilled.

The object of study is the quality criteria and the basic methods for restoring the performance of engine parts that satisfy these criteria.

Using the developed methodology and the data from Table 2, a diagram of the dependence of energy consumption costs, which will be consumed when provided with a layer of certain hardness for a given thickness, was constructed.

Based on the analysis, which included a comparison of the characteristics of surface hardening methods and their evaluation by quality criteria, it was found that the most promising method is ion nitriding and laser thermal hardening.

KEYWORDS: MODIFICATION, SURFACE LAYER, RESTORATION, QUALITY CRITERIA

РЕФЕРАТ

Горбенко С.С. Выбор метода восстановления деталей по критериям качества / С.С. Горбенко // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1(46).

Цель статьи заключается в анализе существующих методов модификации поверхностного слоя и в выборе такого способа восстановления деталей, который учитывает критерии качества, влияют на эксплуатационные свойства и обеспечит их необходимый уровень после процесса модификации.

В статье рассмотрены основные методы модификации поверхностного слоя, проанализированы и систематизированы основные преимущества и недостатки технологического процесса того или иного метода который может быть применен. Также в статье рассмотрены и представлены в виде таблицы количественные показатели основных технологических параметров каждого из рассмотренных методов восстановления эксплуатационных свойств.

По результатам проведенного анализа предложена методика выбора рационального технологического процесса восстановления и сформированы критерии, согласно которым будет выполняться выбор оптимального метода модификации поверхностного слоя, цель которого заключается в выборе способа устранения дефекта детали, которая лучше всего отвечает критериям применимости, технологическом и технико-экономическом обосновании.

Объект исследования - критерии качества и основные методы восстановления эксплуатационных свойств деталей двигателей, удовлетворяющих эти критерии.

Используя разработанную методику и данные из таблицы 2, было построено диаграмму зависимости расхода энергоресурсов, истрачиваемых при обеспечении слоя определенной твердости на заданную толщину.

На основе анализа, включавшего в себя сравнение характеристик методов поверхностного упрочнения и их оценки по критериям качества, установлено, что наиболее перспективным является метод ионного азотирования и лазерного термоупрочнения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МОДИФИКАЦИЯ, ПОВЕРХНОСТНЫЙ СЛОЙ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ, КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА

АВТОРИ:

Горбенко Сергій Сергійович, асистент кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail : horbenkoserhii@ukr.net, тел. +380974523053, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к. 102, orcid.org/0000-0002-6497-7959.

AUTHORS:

Horbenko Serhii Serhiiovich, assistant of department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: horbenkoserhii@ukr.net, tel. +380974523053, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 102, orcid.org/0000-0002-6497-7959.

АВТОРЫ:

Горбенко Сергей Сергеевич, ассистент кафедры «Производство, ремонт и материаловедение», e-mail: horbenkoserhii@ukr.net, тел. +380974523053, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к. 102, orcid.org/0000-0002-6497-7959.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Поляков В. М., кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів Національного транспортного університету, Київ, Україна

Слинько Г.І., доктор технічних наук, професор кафедри «Двигуни внутрішнього згорання» Національного університету «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Україна

REVIEWER:

Polyakov V. M., candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Automobile National Transport University, Kyiv, Ukraine

Slynko H.I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Internal Combustion Engines, Zaporizhia Polytechnic National University, Zaporizhzhia, Ukraine

ДОСЛІДЖЕННЯ ОБЕРТОВОГО Й ПОЗДОВЖНЬОГО РУХІВ НАДДОВГОГО СТРИЖНЯ В ПОХИЛИХ ПОРОЖНИНАХ

Горбунович І.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, irina.gorbunovich@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6859-0663

Левківська Л.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, l_v_g@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5589-5257

INVESTIGATION OF ROTATIONAL AND LONGITUDINAL MOTIONS OF A SUPER LONG ROD IN INCLINED BORE-HOLES

Gorbunovich I.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, irina.gorbunovich@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6859-0663

Levkivska L.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, l_v_g@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5589-5257

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРАЩАТЕЛЬНОГО И ОСЕВОГО ДВИЖЕНИЙ СВЕРХДЛИННОГО СТЕРЖНЯ В НАКЛОННЫХ ПОЛОСТЯХ

Горбунович И.В., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, irina.gorbunovich@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6859-0663

Левковская Л.В., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, l_v_g@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5589-5257

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими й практичними завданнями.

Освоювання техніки й технології буріння глибоких нафтових і газових свердловин є однією з найбільш важливих задач сучасного гірничого виробництва.

Згідно з вимогами економіки, геологічними умовами залягання родовищ і технологічними можливостями нафтогазових компаній у наш час бурять вертикальні, похило скеровані й горизонтальні нафтові та газові свердловини різної глибини. Однак практичне впровадження технології буріння більш глибоких свердловин з різною просторовою орієнтацією їхніх траєкторій пов'язано з необхідністю теоретичного моделювання механічних явищ, які відбуваються в конструкціях бурильного обладнання, з метою попередження критичних режимів їх функціонування. При цьому одним із найважливіших аспектів даного напрямку є теоретичне моделювання механіки згинання трубчастих конструкцій колон надглибокого буріння в похилих прямолінійних і криволінійних свердловинах на етапах їх функціонування та здійснення спуско-підймальних операцій.

Освоювання підземних енергетичних ресурсів, інтенсифікація їх видобутку з великих глибин і забезпечення високого рівня їх добування за допомогою сучасних бурильних геотехнологій найближчим часом будуть постійно зростати. Але великі глибини й складні геологічні умови значно затруднюють буріння надглибоких свердловин. Режимі буріння можуть супроводжуватися ефектами біфуркаційного випинання колон, інтенсифікацією їхніх вібрацій та іншими позаштатними ситуаціями. Під час дослідження цих процесів бурильна колона ототожнюється, як правило, з обертовим наддовгим стрижнем. Тому, враховуючи викладене вище, можна стверджувати, що проблема дослідження обертового й поздовжнього рухів наддовгого стрижня в похилих порожнинах є досить актуальною.

Аналіз публікацій, в яких розпочато дослідження даної проблеми і на які спираються автори. Об'єктом дослідження в роботах [1–3] є обертова бурильна колона у прямолінійній похило скерованій надглибокій свердловині. Розглядається виникнення критичних станів бурильної колони з урахуванням її фрикційної взаємодії з циліндричною поверхнею стінки.

Якщо бурильна колона знаходиться в похилій або горизонтальній свердловині (рис. 1), то проблема прогнозування й моделювання початкової стадії її випинання набуває особливої специфіки.

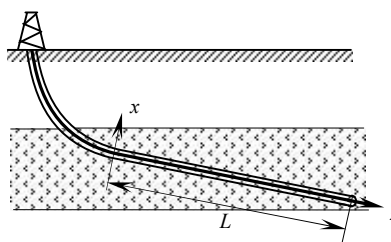


Рисунок 1 – Геометрична схема бурильної колони в похило скерованій свердловині
Figure 1 – Geometric diagram of a drill string in an inclined bore-hole

У цьому випадку в загальний баланс сил включено також сили тертя та їх моменти.

Виділяючи два стани рівноваги бурильної колони, виведено рівняння її стійкості. У першому стані визначено внутрішні сили $T(z)$ і моменти $M_z(z)$ у бурильній колоні, спричинені силами ваги й тертя, у другому – функції $T(z)$ і $M_z(z)$ використані як коефіцієнти в розв'язувальних рівняннях і знайдено їх значення, за яких оператор рівнянь біфуркації вироджується та настає втрата стійкості.

Прийнято, що головною причиною, яка викликає випинання бурильної колони, є внутрішня поздовжня сила $T(z)$ і крутний момент $M_z(z)$. На формування цих силових чинників основний вплив справляють осьова сила R , з якою бурильна колона упирається в дно свердловини на кінці $z = L$, крутний момент $M_{дол}$, з яким долото руйнує породу, розподілені сили гравітації інтенсивністю f_{zp} , розподілені сили тертя f_{mp} і розподілені моменти сил тертя m_{mp} .

У роботах [4–6] виконано теоретичне моделювання поведінки колон глибокого буріння в похилих криволінійних свердловинах на етапах здійснення спуско-підймальних операцій та функціонування, прогнозуються критичні стани колон.

Особливості технологій буріння криволінійних свердловин полягають в їх примусовому викривленні у заданому напрямку і в постійному контролі та керуванні траєкторією свердловин з метою виконання проєктних завдань. Тому найважливішими елементами технології будівництва таких свердловин є вибір і проєктування їх профілю.

Зрозуміло, що свердловина повинна мати найменшу довжину для досягнення поставленої мети та проєктуватися в одній площині. Виходячи з цих вимог, фірмами США, Англії та Росії розроблено свердловини найпростіших профілів форм J та S (рис. 2 а, б), а також хвилеподібних траєкторій (рис. 2. в).

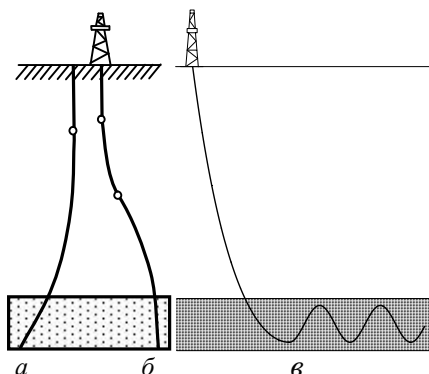


Рисунок 2 – Профілі криволінійних свердловин
Figure 2 – Profiles of inclined bore-holes

Теоретичне моделювання механіки поведінки криволінійних бурильних колон мають певні особливості: необхідно обчислювати як внутрішні поздовжні та поперечні сили і моменти, так і зовнішні сили контактної та фрикційної взаємодії колони зі стінкою свердловини. Для визначення

внутрішніх сил ставляться прями задачі, у той час як зовнішні сили обчислюються шляхом постановки обернених задач. У зазначених роботах сформульовано прями й обернені задачі моделювання пружного згинання бурильних колон у каналах глибоких криволінійних свердловин. Поставлено задачу про моделювання квазістатичних станів бурильних колон. Рівняння квазістатичної рівноваги бурильної колони розглядаються у вигляді

$$d\vec{F}/ds = -\vec{\omega}_\chi \times \vec{F} - \vec{f}, \quad d\vec{M}/ds = -\vec{\omega}_\chi \times \vec{M} - \vec{\tau} \times \vec{F} - \vec{m}, \quad (1)$$

де $\vec{F}$, $\vec{M}$ – головний вектор і головний момент внутрішніх сил; $\vec{f}$, $\vec{m}$ – вектори інтенсивностей зовнішніх розподілених сил і моментів; $\vec{\omega}_\chi$ – вектор Дарбу, s – довжина дуги осьової лінії колони.

Постановка завдання. Виклад основного матеріалу дослідження.

Розглядається наддовгий пружний трубчастий стрижень з внутрішнім потоком рідини [7,8]. Вивчається його обертний і поздовжній рухи в похилій циліндричній порожнині.

Мета дослідження – виявити зародження біфуркаційних станів прямолінійного й криволінійного стрижнів з урахуванням їхньої фрикційної взаємодії з внутрішньою циліндричною поверхнею порожнини.

Спочатку розглянемо наддовгий прямолінійний стрижень довжиною L у похилій циліндричній порожнині, яка нахилена під кутом α до горизонталі (рис.3).

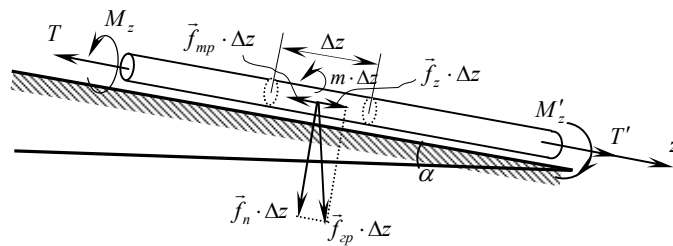


Рисунок 3 – Сили й моменти сил, що діють на елемент стрижня
Figure 3 – Forces and torques acting on an element of string

Будемо вважати, що обертання стрижня відбувається з малою кутовою швидкістю ω . Тому сили інерції обертального руху не враховуються. Неістотним вважається також вплив сил інерції внутрішнього потоку рідини. Сили і моменти сил, що діють на елемент стрижня, показано на Рис.3. Також на стрижень у точці $z = L$ діють задані осьова сила R і крутний момент M .

Головною причиною, яка викликає випинання стрижня, є внутрішня поздовжня сила $T(z)$ і крутний момент $M_z(z)$.

Рівняння втрати стійкості стрижня під дією цих сил запишемо у вигляді:

$$\begin{aligned} EI \frac{d^4 u}{dz^4} - T(z) \frac{d^2 u}{dz^2} - \frac{dT(z)}{dz} \cdot \frac{du}{dz} - M_z(z) \frac{d^3 v}{dz^3} - \frac{dM_z(z)}{dz} \cdot \frac{d^2 v}{dz^2} &= 0, \\ EI \frac{d^4 v}{dz^4} - T(z) \frac{d^2 v}{dz^2} - \frac{dT(z)}{dz} \cdot \frac{dv}{dz} + M_z(z) \frac{d^3 u}{dz^3} + \frac{dM_z(z)}{dz} \cdot \frac{d^2 u}{dz^2} &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

де u , v – пружні переміщення елемента стрижня уздовж осей Ox , Oy відповідно; z – поздовжня координата; E – модуль пружності матеріалу стрижня; I – момент інерції поперечного перерізу труби стрижня щодо осей Ox , Oy .

Розподілені сили ваги обчислюються за формулою

$$f_{zp} = g(\rho - \rho_p)F, \quad (3)$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – присквидження вільного падіння; ρ, ρ_p – щільності матеріалу труби стрижня й рідини відповідно; F – площа поперечного перерізу труби. Осьова й нормальна складові сили тертя записуються відповідно як

$$f_z = f_{zp} \sin \alpha, \quad f_n = f_{zp} \cos \alpha. \quad (4)$$

Уважається, що сила тертя підпорядкована закону Кулона $f_{mp} = \mu f_n$, де μ – коефіцієнт тертя. Під час поздовжнього руху стрижня інтенсивність сил тертя

$$f_{mp} = \mu g(\rho - \rho_p)F \cos \alpha, \quad (5)$$

а інтенсивність моменту сил тертя $m = m_{mp} = 0$. Під час обертвого руху стрижня

$$f_{mp} = 0, \quad m_{mp} = \mu g(\rho - \rho_p)F \cos \alpha \cdot r, \quad (6)$$

де r – зовнішній радіус труби стрижня.

Якщо ж рух стрижня одночасно обертвий і поздовжній, то обчислення інтенсивностей поздовжньої сили тертя й моменту сили тертя ускладнюються:

$$\begin{aligned} f_{mp} &= \mu g(\rho - \rho_p)F \cos \alpha \cdot \dot{z} / \sqrt{(\dot{z})^2 + (\omega r)^2}, \\ m_{mp} &= \mu g(\rho - \rho_p)F \cos \alpha \cdot \omega r^2 / \sqrt{(\dot{z})^2 + (\omega r)^2}. \end{aligned} \quad (7)$$

У цих формулах $\dot{z}$ – швидкість поздовжнього руху стрижня, ωr – обертова швидкість руху елемента поверхні труби стрижня. Тоді внутрішню поздовжню силу $T(z)$ і крутний момент $M_z(z)$ можна подати у вигляді

$$\begin{aligned} T(z) &= -R + (f_{mp} - f_z)(z - L) = \\ &= -R + g(\rho - \rho_p)F [\mu \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\dot{z}}{\sqrt{(\dot{z})^2 + (\omega r)^2}} - \sin \alpha] (z - L), \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} M_z(z) &= M + m_{mp}(L - z) = \\ &= M + \mu g(\rho - \rho_p)F \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\omega r^2}{\sqrt{(\dot{z})^2 + (\omega r)^2}} (L - z). \end{aligned} \quad (9)$$

Диференціюємо формули (8) і (9) за змінною z :

$$\frac{dT}{dz} = g(\rho - \rho_p)F [\mu \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\dot{z}}{\sqrt{(\dot{z})^2 + (\omega r)^2}} - \sin \alpha], \quad (10)$$

$$\frac{dM_z}{dz} = -\mu g(\rho - \rho_p)F \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\omega r^2}{\sqrt{(\dot{z})^2 + (\omega r)^2}}. \quad (11)$$

Підставляючи функції $T(z)$, $M_z(z)$, $\frac{dT}{dz}$, $\frac{dM_z}{dz}$, визначені формулами (8)-(11) в рівняння (2), дістанемо диференціальні рівняння стійкості наддовгого прямолінійного стрижня:

$$\begin{aligned}
& EI \frac{d^4 u}{dz^4} - (-R + g(\rho - \rho_p)F[\mu \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\dot{z}}{\sqrt{(\dot{z})^2 + (\omega r)^2}} - \sin \alpha](z - L)) \frac{d^2 u}{dz^2} - \\
& - (g(\rho - \rho_p)F[\mu \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\dot{z}}{\sqrt{(\dot{z})^2 + (\omega r)^2}} - \sin \alpha]) \cdot \frac{du}{dz} - \\
& - (M + \mu g(\rho - \rho_p)F \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\omega r^2}{\sqrt{(\dot{z})^2 + (\omega r)^2}}(L - z)) \frac{d^3 v}{dz^3} - \\
& - (-\mu g(\rho - \rho_p)F \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\omega r^2}{\sqrt{(\dot{z})^2 + (\omega r)^2}}) \cdot \frac{d^2 v}{dz^2} = 0,
\end{aligned} \tag{12}$$

$$\begin{aligned}
& EI \frac{d^4 v}{dz^4} - (-R + g(\rho - \rho_p)F[\mu \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\dot{z}}{\sqrt{(\dot{z})^2 + (\omega r)^2}} - \sin \alpha](z - L)) \frac{d^2 v}{dz^2} - \\
& - (g(\rho - \rho_p)F[\mu \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\dot{z}}{\sqrt{(\dot{z})^2 + (\omega r)^2}} - \sin \alpha]) \cdot \frac{dv}{dz} + \\
& + (M + \mu g(\rho - \rho_p)F \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\omega r^2}{\sqrt{(\dot{z})^2 + (\omega r)^2}}(L - z)) \frac{d^3 u}{dz^3} + \\
& + (-\mu g(\rho - \rho_p)F \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\omega r^2}{\sqrt{(\dot{z})^2 + (\omega r)^2}}) \cdot \frac{d^2 u}{dz^2} = 0.
\end{aligned}$$

У зв'язку з великою довжиною стрижня та його гнучкістю граничні умови на кінцях $z = 0$, $z = L$ несуттєво впливають на критичні стани стрижня. Вважаємо, що на кінцях стрижня маємо такі граничні умови:

$$\begin{aligned}
u(0) = v(0) = 0, \quad u''_{zz}(0) = v''_{zz}(0) = 0, \\
u(L) = v(L) = 0, \quad u''_{zz}(L) = v''_{zz}(L) = 0.
\end{aligned} \tag{13}$$

Крайова задача (12),(13) повністю визначає напружено-деформований стан і стійкість наддовгого стрижня в похилій порожнині. Розв'язуючи її, можна виявити зародження біфуркаційних станів прямолінійного наддовгого стрижня з урахуванням його фрикційної взаємодії з внутрішньою циліндричною поверхнею порожнини. Значення функцій $T(z)$ і $M_z(z)$, за яких крайова задача (12),(13) має нетривіальні розв'язки, є критичними. Вони визначають стан стрижня, за якого він починає випинати. Для знаходження таких станів і побудови біфуркаційних форм зазначену крайову задачу можна розв'язати методом дискретних диференціальних перетворень Тейлора. Або за допомогою методу початкових параметрів, методу зрощування й методу ортогоналізації Годунова редукувати її до еквівалентної задачі Коші, частинні розв'язки якої можна знайти, наприклад, методом Рунге-Кутти.

Далі досліджуватимемо рух криволінійного наддовгого стрижня в криволінійній похилій порожнині. Зафіксуємо прямокутну декартову систему координат $Oxyz$ з точкою O в початку стрижня. Для визначення кривої осьової лінії стрижня застосуємо метод рухомого репера. Вважаємо осьову лінію регулярною кривою класу C^3 . Задаємо цю криву параметрично у векторній формі.

Зручно використати натуральну параметризацію кривої, тобто як параметр вибрати довжину s дуги кривої, відлічувану від точки O :

$$\vec{r} = \vec{r}(s) = x(s)\vec{i} + y(s)\vec{j} + z(s)\vec{k}, \quad s \in [0, L], \quad (14)$$

де L – довжина стрижня.

На кривій уведемо рухомий репер – упорядковану трійку векторів $\vec{\tau}, \vec{\nu}, \vec{\beta}$.

$\vec{\tau}(s) = \frac{d\vec{r}}{ds}$ – орт вектора дотичної до кривої, $\vec{\nu}(s) = \frac{d\vec{\tau}}{ds} \frac{1}{k}$ – вектор головної нормалі (вважаємо, що на кривій немає точок розпрямлення), $\vec{\beta}(s) = \vec{\tau} \times \vec{\nu}$ – вектор бінормалі, де $k = \sqrt{\left(\frac{d^2x}{ds^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2y}{ds^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2z}{ds^2}\right)^2}$ – кривина кривої.

У кожній точці кривої $\vec{r} = \vec{r}(s)$ упорядкована трійка векторів $\vec{\tau}, \vec{\nu}, \vec{\beta}$ утворює ортонормований репер – супровідний репер Френе. З цим репером пов'яжемо рухому систему координат з осями u, v, w .

Диференціальні рівняння квазістатичної рівноваги стрижня запишемо у вигляді [4]

$$\begin{aligned} dF_u/ds &= -qF_w + rF_v - f_u, & dM_u/ds &= -qM_w + rM_v + F_v - m_u, \\ dF_v/ds &= -rF_u + pF_w - f_v, & dM_v/ds &= -rM_u + pM_w - F_u - m_v, \\ dF_w/ds &= -pF_v + qF_u - f_w, & dM_w/ds &= -pM_v + qM_u - m_w, \end{aligned} \quad (15)$$

де $\vec{F} = (F_u, F_v, F_w)$ і $\vec{M} = (M_u, M_v, M_w)$ – головний вектор і головний момент внутрішніх сил; $\vec{f} = (f_u, f_v, f_w)$ і $\vec{m} = (m_u, m_v, m_w)$ – вектори інтенсивностей зовнішніх розподілених сил і моментів; p, q, r – функції кривини й скруту стрижня в деформованому стані.

Координати вектора $\vec{M}$ подамо у вигляді

$$M_u = E I_u (p - p_0), \quad M_v = E I_v (q - q_0), \quad M_w = G I_w (r - r_0), \quad (16)$$

де p_0, q_0, r_0 – функції кривини й скруту стрижня у вихідному недеформованому стані; E і G – модулі пружності та зсуву матеріалу стрижня, відповідно; I_u, I_v, I_w – моменти інерції площі поперечного перерізу стрижня щодо осей u, v, w . Тоді останні три рівняння (15) можна звести до вигляду

$$\begin{aligned} dp/ds &= (E I_u dp_0/ds - G I_w qr + G I_w qr_0 + E I_v rq - E I_v rq_0 + F_v - m_u) / E I_u, \\ dq/ds &= (E I_v dq_0/ds - E I_u rp + E I_u rp_0 + G I_w pr - G I_w pr_0 - F_u - m_v) / E I_v, \\ dr/ds &= (G I_w dr_0/ds - E I_v pq + E I_v pq_0 + E I_u qp - E I_u qp_0 - m_w) / G I_w. \end{aligned} \quad (17)$$

Використовуючи формули Френе для базисних векторів $\vec{\tau}, \vec{\nu}, \vec{\beta}$

$$\begin{aligned} \frac{d\vec{\tau}}{ds} &= k\vec{\nu}, \\ \frac{d\vec{\nu}}{ds} &= -k\vec{\tau} + \alpha\vec{\beta}, \\ \frac{d\vec{\beta}}{ds} &= -\alpha\vec{\nu}, \end{aligned} \quad (18)$$

дістанемо

$$\frac{d\vec{\tau}}{ds} = \sqrt{p^2 + q^2} \vec{v}, \quad \frac{d\vec{v}}{ds} = -\sqrt{p^2 + q^2} \vec{\tau} + \left(r - \frac{d\chi}{ds}\right) \vec{\beta}, \quad \frac{d\vec{\beta}}{ds} = -\left(r - \frac{d\chi}{ds}\right) \vec{v}, \quad (19)$$

де χ – скрут кривої; χ – кут пружного закручення. За означенням модуль скриту кривої $|\chi| = \left| \frac{d\vec{\beta}}{ds} \right|$.

Система рівнянь (17), (18), (19) і $\vec{r}(s) = \frac{d\vec{r}}{ds}$ описує напружено-деформований стан наддовгого криволінійного стрижня під дією заданого навантаження за заданих граничних умов.

Якщо криву осьову лінію стрижня задано параметрично у векторній формі

$$\vec{r} = \vec{r}(s) = x(s)\vec{i} + z(s)\vec{k}, \quad (20)$$

то можна знайти радіуси R і T кривини й скриту, а також вектори $\vec{\tau}, \vec{v}, \vec{\beta}$ рухомого репера. Тоді

$$p = \frac{1}{R} \sin \chi, \quad q = \frac{1}{R} \cos \chi, \quad r = \frac{1}{T} + \frac{d\chi}{ds}. \quad (21)$$

Оскільки в початковому стані стрижень прямолінійний, то $p_0 = 0$, $q_0 = 0$, $r_0 = 0$.

Після визначення геометричних величин знаходять внутрішні й зовнішні сили, що діють на криволінійний стрижень.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.

У статті вивчається актуальна задача про обертовий і поздовжній рухи наддовгого пружного прямолінійного й криволінійного стрижнів в похилих порожнинах.

Побудовано крайові задачі, що дозволяють виявити початковий етап зародження біфуркаційних станів стрижня з урахуванням його фрикційної взаємодії з внутрішньою поверхнею порожнини.

Здійснений аналіз дає змогу визначити вплив гравітаційних сил, сил і моментів тертя на величину внутрішньої поздовжньої сили й крутного моменту. Окрім того, визначено вплив взаємозв'язку швидкостей поздовжнього й обертового рухів стрижня на формування зазначених силових факторів.

Запропоновано методи знаходження критичних значень поздовжньої сили, крутного моменту та побудови біфуркаційних розв'язків сформульованих крайових задач.

На завершення накреслимо перспективи дослідження. На думку авторів у подальших дослідженнях варто визначити вплив сил інерції обертового руху стрижня й внутрішнього потоку рідини на біфуркаційні випинання стрижня на початковому етапі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 Гуляев В.И. Устойчивость бурильных колонн в наклонно направленных скважинах / В.И. Гуляев, И.В. Горбунович // Проблемы прочности. – 2008. – №6. – С. 71 – 81.

2 Gulyayev V.I. The buckling of elongated rotating drill strings / V.I. Gulyayev, V.V. Gaidaichuk, I.L. Solovjov, I.V. Gorbunovich // J. Petr. Sci. Eng. – 2009. No 67. – P. 140 – 148.

3 Горбунович И.В. Стійкість бурильних колон в похило-скерованих нафтових та газових свердловинах / И.В. Горбунович, Л.С. Межейнікова // Вісник Національного транспортного університету. – 2007. – №15. – С. 380 – 383.

4 Горбунович И.В. Изучение проблемы выявления критических режимов функционирования бурильных колонн в вертикальных и криволинейных скважинах / И.В. Горбунович, Л.В. Левковская // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – №1(40). – 2018. – С.90 –97.

5 Гуляєв В.І. Мінімізація сил опору при осьовому русі бурильної колони у криволінійній свердловині / В.І. Гуляєв, О.М. Андрусенко, Л.В. Левківська // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. Вип. 1 (31). – 2015. – С. 145 – 152.

6 Гайдайчук В.В. Математичне моделювання пружного згинання бурильної колони у каналі криволінійної нафто-газової свердловини / В.В. Гайдайчук, Л.В. Левківська, Я.І. Ковальчик // Опір матеріалів і теорія споруд: Науково-технічний збірник. – Вип. 97. – К: КНУБА, 2016. – С. 43 –58.

7 Горбунович І.В. Біфуркаційні випинання обертових гіпердовгих стрижнів з внутрішнім потоком рідини / І.В. Горбунович // Вісник Національного транспортного університету. – 2010. – №21. – С.310 –314.

8 Горбунович І.В. Виникнення біфуркаційних станів обертових гіпердовгих стрижнів / І.В. Горбунович // Матеріали Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми механіки та математики» Інститут прикладних проблем механіки і математики НАН України, Львівський національний університет. Матеріали конференції. – Львів, 2018 С.86-88.

REFERENCES

1 Gulyayev V.I., Gorbunovich I.V. (2008). Ustoychivost burilnykh kolonn v naklonno napravlennykh skvazhinah [Drill string stability in inclined bore-holes]. Problemy prochnosti - Strength of Materials, 6, 71–81 [in Russian].

2 Gulyayev V.I., Gaidaichuk V.V., Solovjov I.L., Gorbunovich I.V. (2009). The buckling of elongated rotating drill strings. J. Petr. Sci. Eng. No 67. – P. 140 – 148.

3 Gorbunovich I.V., Mezheynikova L.S. [2007]. Stikist burylnykh kolon v pokhylo-skerovanykh naftovykh ta hazovykh sverdlodynakh [Drill columns stability in inclined oil and gas bore-holes]. Visnyk Natsionalnoho Transportnoho Universytetu – Visnyk of National Transport University, 15, 380-383 [in Ukrainian].

4 Gorbunovich I.V., Levkovskaia L.V. [2018]. Izuchenie problemy vyiyavleniya kriticheskikh rezhimov funktsionirovaniya burilnykh kolonn v vertikalnykh i krivolineynykh skvazhinah [Investigation of the problem of detection of critical drill string operating modes in vertical and curved bore-holes]. Visnyk Natsionalnoho Transportnoho Universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky». Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk – Visnyk of National Transport University. «Technical sciences» series. Scientific and Technical collection, 1(40), 90–97 [in Russian].

5 Gulyayev V.I., Andrusenko O.M., Levkivska L.V. (2015). Minimizatsia syl oporu pry osovomu rusi burylnoi kolony u kryvoliniinii sverdlovyni [Minimization of resistance forces in axial motion of a drill string in a curve bore-hole]. Visnyk Natsionalnoho Transportnoho Universytetu. Seria «Tehnichni nauky». Naukovo – tekhnichniy zbirnyk – Visnyk of National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. Issue 1 (31), 145 - 152 [in Ukrainian].

6 Gaidaichuk V.V., Levkivska L.V., Kovalchuk Y. I. (2016). Matematychnе modeliuвання пружного згynання burylnoi kolony u kanali kryvoliniinoi nafto-hazovoi sverdlovyny [Mathematical modeling of the drill string elastic bending in channel curvilinear oil and gas bore-holes] Opir materialiv i teoria sporud - Strength of Materials and Theory of Structures. Issue 97, 43–58 [in Ukrainian].

7 Gorbunovich I.V. (2010). Bifurkatsiini vypynannia obertovykh hiperdovhykh stryzhniv z vnutrishnim potokom ridyny [Bifurcation protrusion of rotating super long strings with internal fluid flow]. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu – Visnyk of National Transport University, 21, 310 – 314 [in Ukrainian].

8 Gorbunovich I.V. (2018). Vynyknennia bifurkatsiinykh staniv obertovykh hiperdovhykh stryzhniv [Appearance of bifurcation states of rotating super long strings]. Mizhnarodna naukova konferentsiia

«Suchasni problemy mekhaniky ta matematyky – 2018». Instytut prykladnykh problem mekhaniky i matematyky NAN Ukrainy, Lvivskyi natsionalnyi universytet. Materialy konferentsii – International scientific conference «Modern Problems of Mechanics and Mathematics». Institute of Applied Problems of Mechanics and Mathematics of NAS of Ukraine. Lviv National University. Conference theses. (pp.86-88). Lviv. [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Горбунович І.В. Дослідження обертового й поздовжнього рухів наддовгого стрижня в похилих порожнинах / І.В. Горбунович, Л.В. Левківська // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

У статті розглянуто наддовгий пружний трубчастий стрижень з внутрішнім потоком рідини. Вивчено обертовий і поздовжній рухи прямолінійного й криволінійного стрижнів в похилих порожнинах. Досліджено біфуркаційні стани стрижня під час цих рухів.

Мета дослідження – виявити зародження біфуркаційних станів прямолінійного й криволінійного стрижнів з урахуванням їхньої фрикційної взаємодії з внутрішньою поверхнею порожнини.

Зазначено причини, які сприяють виникненню біфуркаційного випинання стрижня. Поміж цих причин, як основні, виділяються й описуються внутрішня поздовжня сила й крутний момент.

Методи дослідження полягають у побудові крайових задач, які визначають напружено-деформований стан і стійкість наддовгих прямолінійного й криволінійного стрижнів в похилій порожнині. Розв'язуючи їх, можна виявити зародження біфуркаційних станів стрижня.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: НАДДОВГИЙ СТРИЖЕНЬ, ПРЯМОЛІНІЙНА Й КРИВОЛІНІЙНА ПОРОЖНИНИ, ОБЕРТОВИЙ І ПОЗДОВЖНІЙ РУХИ, БІФУРКАЦІЙНІ СТАНИ, ПОЗДОВЖНЯ СИЛА, КРУТНИЙ МОМЕНТ.

ABSTRACT

Gorbunovich I.V., Levkivska L.V. Investigation of rotational and longitudinal motions of a super long string in inclined bore-holes. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article deals with a super long elastic tubular rod with an internal fluid flow. The rotational and longitudinal motions of straight and curved rods in inclined bore-holes are studied. The bifurcation states of the rod at these motions are investigated.

The purpose of the study is to detect at the beginning of bifurcation states of straight and curved rods taking into account their friction interaction with the inner surface of a bore-holes.

The reasons of appearance of bifurcation protrusion of the rod are stated. Among these reasons, an internal longitudinal force and torque are identified and described as main ones.

Research methods are based on the construction of boundary-value problems determining the stress-strain state and stability of super long straight and curved rods in an inclined bore-hole. Solving the problems allows detecting the beginning of bifurcation states of rods.

KEY WORDS: SUPER LONG ROD, STRIGHT AND INCLINED BORE-HOLE, ROTATIONAL AND LONGITUDINAL MOTIONS, BIFURCATION STATES, LONGITUDINAL FORCE, TORQUE.

РЕФЕРАТ

Горбунович И.В. Исследование вращательного и продольного движений сверхдлинного стержня в наклонных полостях / И.В. Горбунович, Л.В. Левковская // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье рассматривается сверхдлинный упругий трубчатый стержень с внутренним потоком жидкости. Изучены вращательное и продольное движения прямолинейного и криволинейного стержней в наклонных полостях. Исследованы бифуркационные состояния стержня при этих движениях.

Цель исследования – выявить зарождение бифуркационных состояний прямолинейного и криволинейного стержней с учетом их фрикционного взаимодействия с внутренней поверхностью полости.

Указаны причины, которые способствуют возникновению бифуркационного выпучивания стержня.

Среди этих причин, как основные, выделяются и описываются внутренняя продольная сила и крутящий момент.

Методы исследования состоят в построении краевых задач, которые определяют напряженно-деформированное состояние и устойчивость сверхдлинных прямолинейного и криволинейного

стержней в наклонной полости. Решая их, можно выявить зарождение бифуркационных состояний стержня.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: СВЕРХДЛИННЫЙ СТЕРЖЕНЬ, ПРЯМОЛИНЕЙНАЯ И КРИВОЛИНЕЙНАЯ ПОЛОСТИ, ВРАЩАТЕЛЬНОЕ И ПРОДОЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЯ, БИФУРКАЦИОННЫЕ СОСТОЯНИЯ, ПРОДОЛЬНАЯ СИЛА, КРУТЯЩИЙ МОМЕНТ.

АВТОРИ:

Горбунович Ирина Валентиновна, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры высшей математики, e-mail: irina.gorbunovich@gmail.com, тел. +380676001177, Украина, 01103, м. Київ, вул Бойчука, буд. 42, к.514, orcid.org/0000-0002-6859-0663.

Левківська Людмила Володимирівна, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры высшей математики, e-mail: l_v_g@ukr.net, тел. +380975475724, Украина, 01103, м. Київ, вул Бойчука, буд. 42, к.514, orcid.org/0000-0002-5589-5257.

AUTHORS:

Gorbunovich Iryna Valentynivna, Ph.D., National Transport University, associate professor department of high mathematics, e-mail: irina.gorbunovich@gmail.com, tel. +380676001177, Ukraine, 01103, Kyiv, Boychuka str.,42, of. 514, orcid.org/0000-0002-6859-0663.

Levkivska Liydmyla Volodymyrivna, Ph.D., National Transport University, associate professor department of high mathematics, e-mail: l_v_g@ukr.net, тел. +380975475724, Ukraine, 01103, Kyiv, Boychuka str.,42, of. 514, orcid.org/0000-0002-5589-5257.

АВТОРЫ:

Горбунович Ирина Валентиновна, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры высшей математики, e-mail: irina.gorbunovich@gmail.com, тел. +380676001177, Украина, 01103, г. Киев, ул Бойчука, д. 42, к. 514, orcid.org/0000-0002-6859-0663.

Левковская Людмила Владимировна, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры высшей математики, e-mail: l_v_g@ukr.net, тел. +380975475724, Украина, 01103, г. Киев, ул Бойчука, д. 42, к. 514, orcid.org/0000-0002-5589-5257.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мейш В.Ф., доктор фізико-математичних наук, професор, Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, Київ, Україна.

Мозговий В.В., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, Київ, Україна.

REVIEWER:

Meish V.F., Physics and Mathematics (Dr.), Professor, S.P. Timoshenko Institute of Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

Mozgovyy V.V., Engineering (Dr.), Professor, National Transport University, Head of Department of road construction materials and chemistry, Kyiv, Ukraine.

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ВЛАСТИВОСТІ МОТОРНИХ ОЛИВ

Дмитриченко М.Ф., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, dmitrichenko@ntu.edu.ua/0000-0003-4223-1838

Міланенко О.А., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, milanmasla@gmail.com/0000-0002-8197-5277

Білякович О.М., кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, oleg65@voliacable.com/0000-0002-2423-2346

Савчук А.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, tolik_savchuk@bigmir.net/0000-0001-5460-4879

Туриця Ю.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, yuliya_tur@ukr.net/0000-0002-2205-0426

Косенко М.І., Національний транспортний університет, Київ, Україна, kosenko171194@gmail.com / 0000-0002-5155-1828

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА СВОЙСТВА МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Dmytrychenko M.F., doctor of technical science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, dmitrichenko@ntu.edu.ua /0000-0003-4223-1838

Milanenko A.A., associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, milanmasla@gmail.com/0000-0002-8197-5277

Bilyakovych O.N., Ph.D, associate professor National Aviation University, Kyiv, Ukraine, oleg65@voliacable.com/0000-0002-2423-2346

Savchuk A.N., associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, tolik_savchuk@bigmir.net /0000-0001-5460-4879

Turitsa Y.A., associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, yuliya_tur@ukr.net/0000-0002-2205-0426

Kosenko M.I., National Transport University, Kyiv, Ukraine, kosenko171194@gmail.com / 0000-0002-5155-1828

INFLUENCE OF TEMPERATURE OF THE ENVIRONMENT ON PROPERTIES OF MOTOR OILS

Дмитриченко Н.Ф., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, dmitrichenko@ntu.edu.ua /0000-0003-4223-1838

Міланенко А.А., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, milanmasla@gmail.com/0000-0002-8197-5277

Білякович О.Н., кандидат технических наук, Национальный авиационный университет, Киев, Украина, oleg65@voliacable.com/0000-0002-2423-2346

Савчук А.Н., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, tolik_savchuk@bigmir.net /0000-0001-5460-4879

Туриця Ю.А., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, yuliya_tur@ukr.net/0000-0002-2205-0426

Косенко М.І., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, kosenko171194@gmail.com / 0000-0002-5155-1828

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Завдяки зниженню витрат оливи і збільшення термінів її заміни зросло споживання моторних олив. Залежно від умов застосування в моторних оливах міститься від 5 до 25% присадок, крім особливих високоочищених мінеральних олив (на сьогоднішній день переважно парафінів). Для спеціальних цілей, наприклад при екстремальних термічних умовах, мінеральні базові оливи можуть бути частково або повністю замінені синтетичними (переважно ефірами або олігомерами олефінів)

[1]. При високих температурах моторні оливи повинні зберігати досить високу в'язкість для забезпечення нормального змащування і створення надійного ущільнення між поршнем і циліндром; при низьких температурах навколишнього середовища вони повинні забезпечувати можливість легкого запуску двигуна. Через високий термічний вплив, яким оливи піддаються в двигуні (діапазон температур в зоні верхнього поршневого кільця 200-350 °С, в картері – 100-150°С), пред'являються високі вимоги до окислювальної стабільності моторних олив. Крім того, вони повинні запобігати нагаро- і шламоутворенню і забезпечувати низький рівень зносу навіть при несприятливих робочих умовах. В даний час проводяться роботи по вдосконаленню класифікації в'язкості олив по системі SAE для кращої її кореляції з практикою експлуатації на основі використання, визначення в'язкостей при температурах вище 100 °С [1-3].

Постановка проблеми.

При високих температурах моторні оливи повинні зберігати досить високу в'язкість для забезпечення нормального змащування і створення надійного ущільнення між поршнем і циліндром двигуна внутрішнього згорання; при низьких температурах навколишнього середовища вони повинні забезпечувати можливість легкого запуску двигуна. Через високий термічний вплив, яким оливи піддаються в двигуні (діапазон температур в зоні верхнього поршневого кільця 200-350 °С, в картері – 100-150°С), пред'являються високі вимоги до окислювальної стабільності моторних олив. Крім того, вони повинні запобігати нагаро- і шламоутворенню і забезпечувати низький рівень зносу навіть при несприятливих робочих умовах.

Мета роботи.

Метою роботи є мінімізації процесів тертя в умовах примусового збільшення об'ємної температури моторної оливи в двигунах типу Д-241 та двигуна концерну Volkswagen VAG ASV 1.9 TDI.

Формування цілей статті.

Зносостійкість рухомих сполучень залежить від багатьох факторів, серед яких важливе значення мають механічні властивості поверхневих шарів трибосопряжень, а також навантажувально-швидкісний режим роботи. В процесі взаємодії тріади тертя відбуваються зміни механічних властивостей, мікрогеометрії поверхневих шарів рухомих сполучень. Мастильний матеріал забезпечує запобігання безпосереднього контакту між контактуючими поверхнями, охолоджує поверхні, що труться, вступає у взаємодію з поверхневим шаром матеріалу трибосопряжень [4]. При виборі матеріалів рухомих сполучень необхідно враховувати їх сумісність і пристосовуваність один до одного при зміні умов роботи мастильного матеріалу [5]. Сукупність різних факторів (високі локальні температури і тиску, каталітично активні ювенільні поверхні металів), які є в реальних умовах роботи трибосопряжень, можуть сприяти утворенню органічних антифрикційних і протизношувальних плівок [6].

З метою виконання експериментальних досліджень із врахуванням класифікації випробувальних установок з контактом по площі [3] був використаний модернізований трибометр СМЦ-2 (машина тертя СМЦ-2) (рис. 1). Динаміку триботехнічних характеристик спостерігали у стаціонарному режимі в умовах ковзання.

Для комутації аналогових сигналів і перетворення їх в цифровий код був використаний програмований комплекс, до складу якого входить аналого-цифровий перетворювач (АЦП) фірми «Хоневел». Щоб забезпечити тривалість стаціонарного режиму роботи або циклічний запуск, в схему включений таймер, який дозволяє відтворювати умови роботи.

Для забезпечення реальних умов роботи, а саме температурного режиму експлуатації вузлів тертя від мінус 18⁰С до плюс 75⁰С (об'ємна температура оливи), було використане додаткове обладнання – балон високого тиску з вуглекислотою. Для зменшення температурних втрат було встановлено захисний кожух для ванни з мастильним матеріалом, в якій знаходиться пара тертя. Вуглекислота подавалася шляхом аерації в змійовик, занурений у ванночку з мастильним матеріалом. Тривалість експерименту складала 15 хвилин в режимі тертя ковзання.

Привід зразків, які розміщуються на рухомих валах (при необхідності реалізації режиму ковзання один із валів блокується) здійснюється через клинопасову передачу, редуктор від електродвигуна постійного струму. Для реалізації контактного навантаження в парі тертя виконується стиснення пружини кронштейном за допомогою гвинта.

Для забезпечення змащувального процесу вузол тертя розташований в масляній ванночці з мастильним матеріалом в об'ємі ≈ 200 мл. Завдяки такому розміщенню пар тертя покращується тепловідвід з робочих поверхонь і постачання в зону тертя мастильного матеріалу, що наближає умови роботи вузла тертя до реальних.



Рисунок 1 – Загальний вигляд триботехнічного комплексу СМЦ-2 з допоміжним обладнанням
Figure 1 – General view of the tribotechnical complex (type SMC-2) with auxiliary equipment

Трибومتر СМЦ-2 (машина тертя СМЦ-2)) зі схемою кільце-гільза забезпечує роботу в умовах безударного тертя ковзання за рахунок обертального руху ролика (рис. 2). З метою уникнення отримання недостовірних даних в результаті проведення експериментів було проведено градування засобів вимірювальної техніки і у відповідності з інструкцією по експлуатації машини тертя, похибка вимірювання величини не перевищувала 5%. При виконанні експериментальних робіт була використана удосконалена вимірювальна система моменту тертя, що забезпечує його оцінку в 20 і більше разів менших, ніж стандартна система [4].

Важливу роль при виконанні експериментальних робіт відіграють експлуатаційні розміри зразків [5]. В якості зразків були використані колодки і ролики з розмірами $d = 50$ мм (рис. 3).

Зразки – ролики були виготовлені зі сталі 40Х, зразки-колодки – з чавуну СЧ-18-24. Умовою вибору сталі 40Х для виготовлення зразків-роликів було те, що прийнята сталь використовується для виготовлення компресійних кілець [6-8], а чавун вказаної марки – для гільз циліндро-поршневої групи ДВЗ.

Для розрахунку коефіцієнта тертя при зношуванні пари чавун-сталь в даних умовах експериментальних досліджень була використана формула Кулона: $f = 2MdP$, де, M – вимірюваний момент тертя, Н·м; d – діаметр, м, P – питоме навантаження, МПа.

Виклад основного матеріалу.

Для виконання експериментальних досліджень процесів тертя і зношування металевих пар та вивчення механо-фізико-хімічних процесів при взаємодії пари сталь-сталь, в нашому експерименті досліджувалися моторні всесезонні оливи різного хімічного складу за реологічною ознакою: моторні оливи напівсинтетичного походження TEMOL Premium 10W-40 і синтетичного походження TEMOL Premium 5W-40.

Вищезазначені оливи випробовувалися впродовж 15 хв на триботехнічному стенді СМЦ-2 в умовах підвищення температури від мінус 18°C до плюс 75°C .

Як показано на рис. 4 впродовж досліджуваного часу підвищення температури спостерігалось деяке зниження швидкостей зсуву для усіх досліджуваних олив, що пояснюється втратами енергії на тертя, яка потрібна для подачі оливи до точок мащення відразу після запуску двигуна.

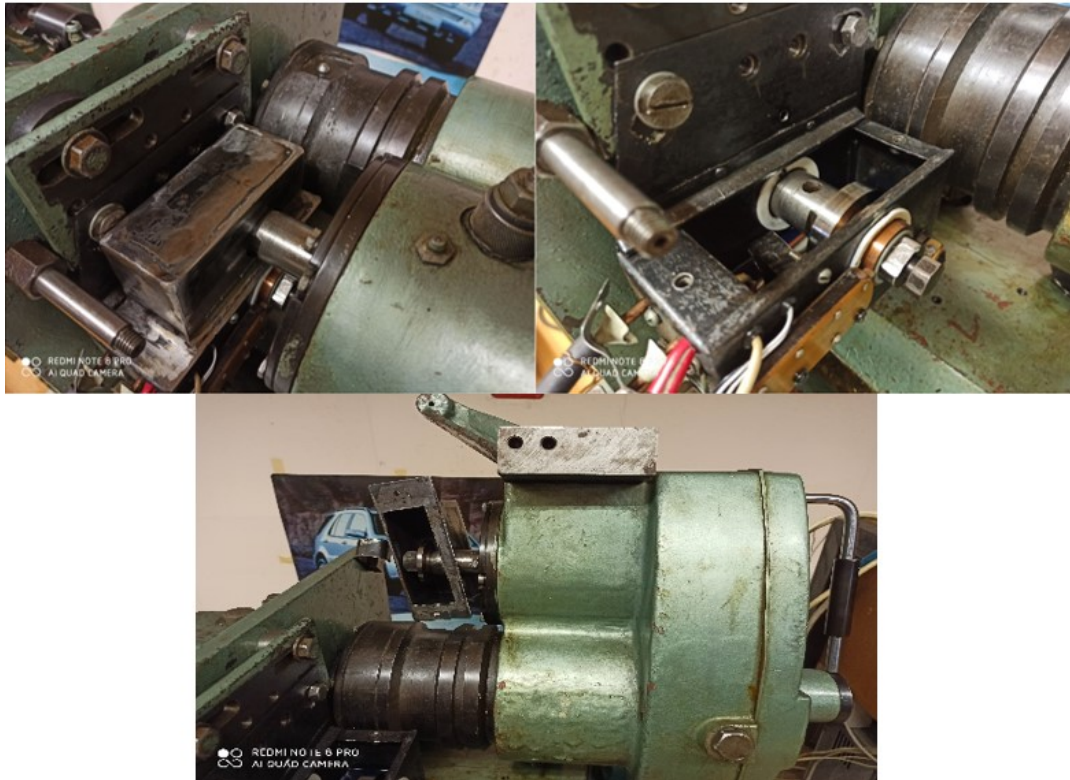


Рисунок 2 – Вузол тертя колодка-ролик із пристосуванням на машині тертя СМЦ-2
Figure 2 – Friction unit «tilting pad-roller» with adaptation on SMC-2 friction machine

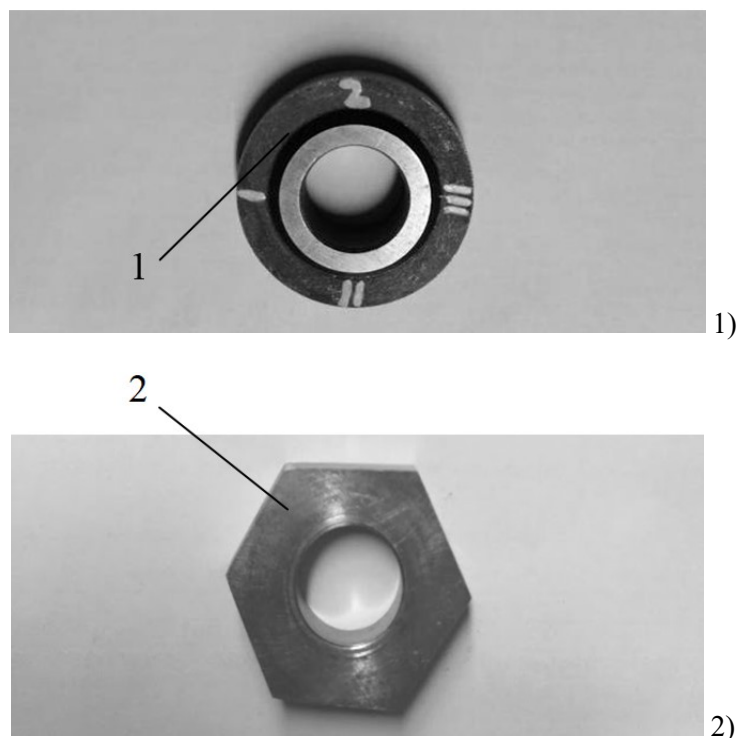


Рисунок 3 – Зразки для лабораторних досліджень: 1 – ролик; 2 – колодка
Figure 3 – The samples for laboratory studies: 1 – the roller; 2 – the tilting pad

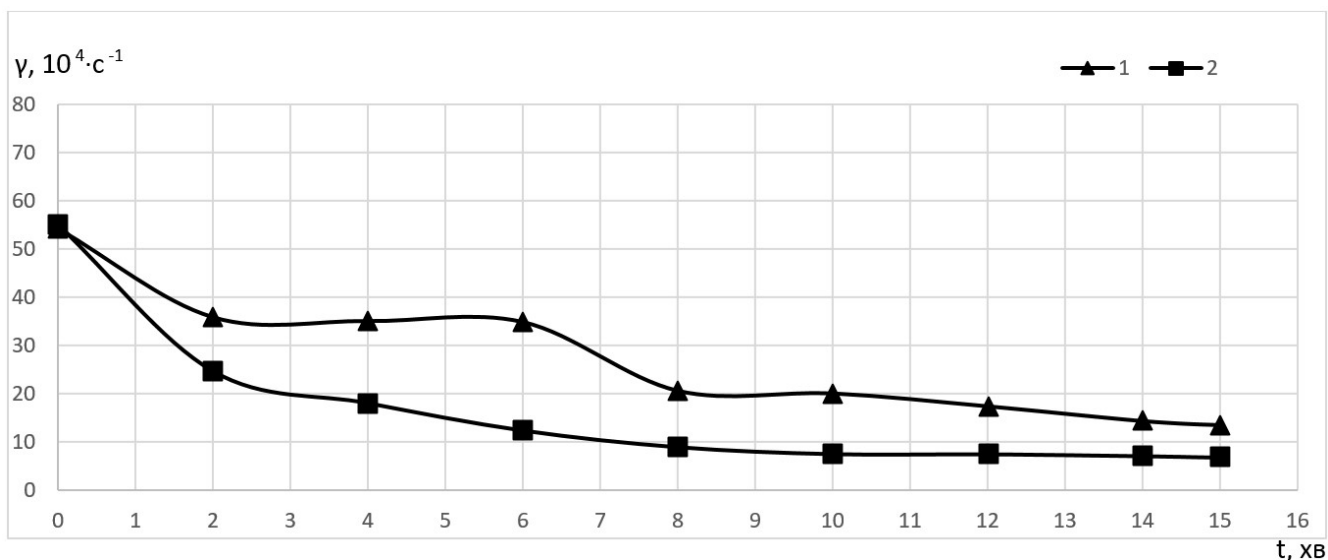


Рисунок 4 – Зміна градієнту швидкості зсуву впродовж періоду прогрівання двигуна
(тут і далі: 1 – моторна синтетична олива 5W-40; 2 – моторна напівсинтетична олива SAE 10W-40)
Figure 4 – The gradient of sliding velocity change during the warm-up period: engine synthetic oil 5W-40; 2-motor SAE 10W-40 semi-synthetic oil

На рис. 5 показано, що по мірі підвищення температур від мінус 18⁰С до плюс 75⁰С впродовж 15 хв., зміна ефективної в'язкості досліджуваних олив має дві області.

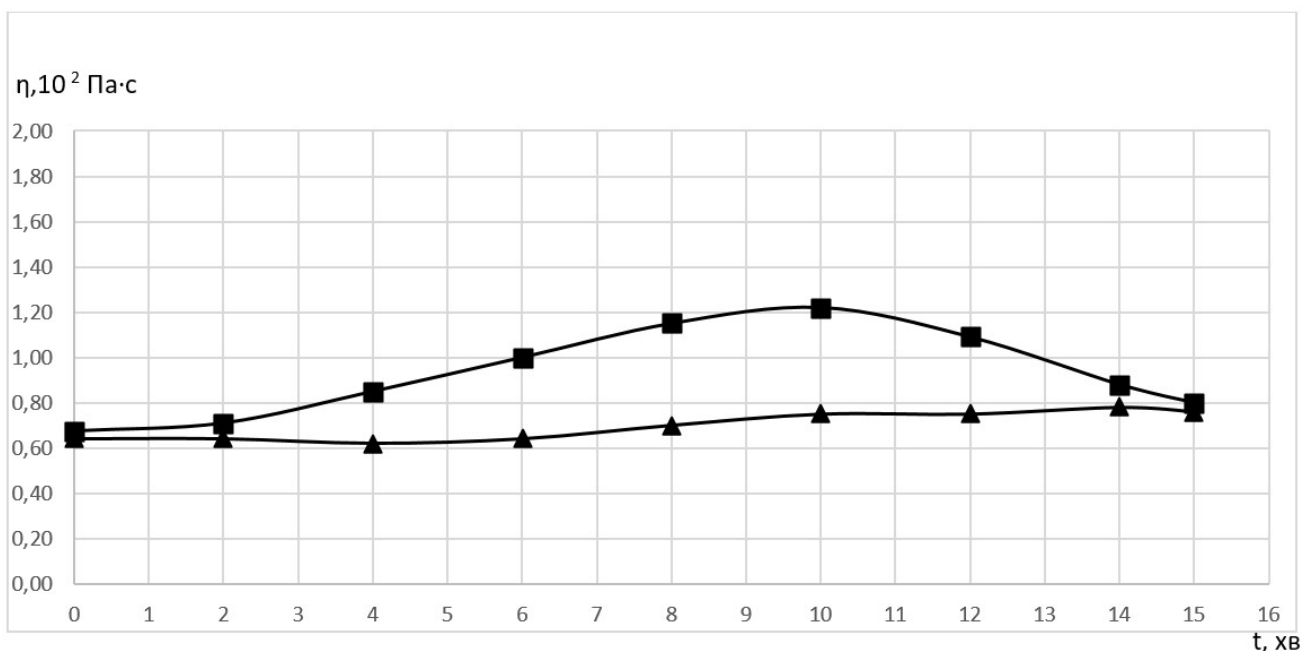


Рисунок 5 – Зміна ефективної в'язкості в період прогрівання двигуна
Figure 5 – Effective viscosity during warm-up period

У первинній області від мінус 18⁰С до плюс 5⁰С впродовж 4 хв., ефективна в'язкість змінюється незначно, що пояснюється ефективними низькотемпературними властивостями синтетичної і напівсинтетичної оливи за рахунок задовільного вуглеводневого складу базової оливи.

В діапазоні температур від плюс 5⁰С до плюс 75⁰С впродовж 11 хв. для напівсинтетичної оливи характерно більш різке збільшення і зниження ефективної в'язкості, що показує на більш складний хімічний склад оливи із можливим відповідним додаванням певної кількості полімерних загусників до базової оливи. Але, синтетична олива (крива 1, див. рис. 5) на відміну від інших олив показує стабільні в'язкісні властивості від мінус 18⁰С до плюс 75⁰С впродовж всього часу роботи із деяким підвищенням ефективної в'язкості, що дуже важливо, особливо в умовах змішаного режиму

мащення. Умови змішаного режиму можуть виникати при недостатньому мащенні (в умовах мастильного голодування) при поганій роботі фільтрів або змащуванні триботехнічних пар масляним туманом та інш. В таких випадках, синтетична олива має задовільні низькотемпературні властивості в межах первинної області і більш стабільні в'язкісні властивості при помірних температурах у вторинній області.

Криві, отримані при зміні ефективної в'язкості від швидкості зсуву, показані на рис. 6.

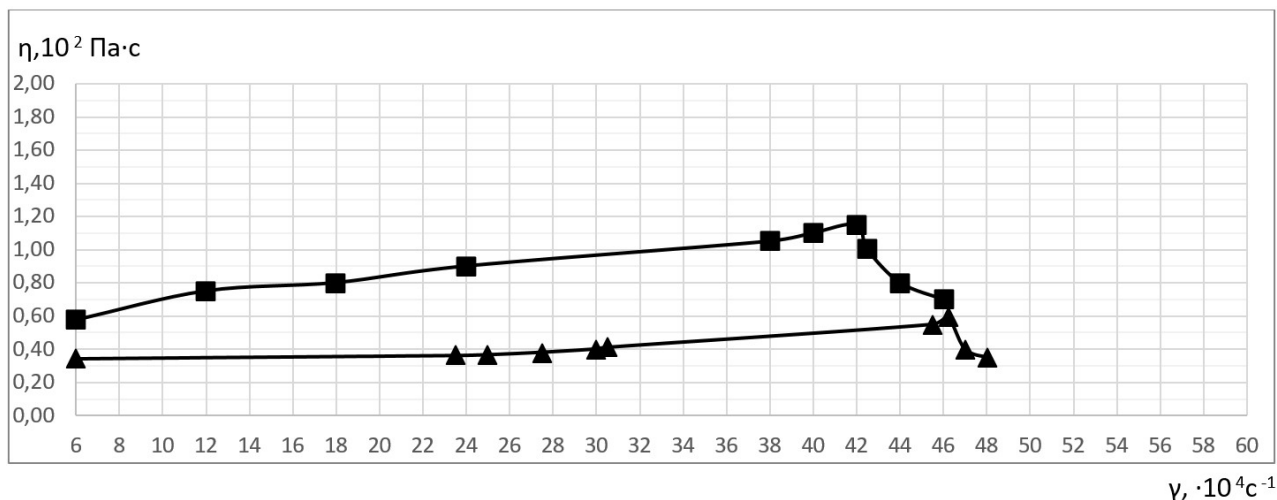


Рисунок 6 – Залежність ефективної в'язкості від градієнту швидкості зсуву

Figure 6 – The effective viscosity – the gradient of sliding velocity chart

Дані криві також свідчать про відсутність існування двох областей, які були характерні для олив із більш пологою в'язкісно-температурною залежністю. Первинна і вторинна області вже мають більш лінійний характер залежності ефективної в'язкості від швидкості зсуву, що пояснюється більш стабільним ньютонівським характером поведінки досліджуваних олив.

Ньютонівські властивості досліджуваних олив втрачаються для напівсинтетичної оливи – при швидкості зсуву $4,2 \cdot 10^5 \text{ c}^{-1}$, а для синтетичної оливи – при швидкості зсуву $4,65 \cdot 10^5 \text{ c}^{-1}$.

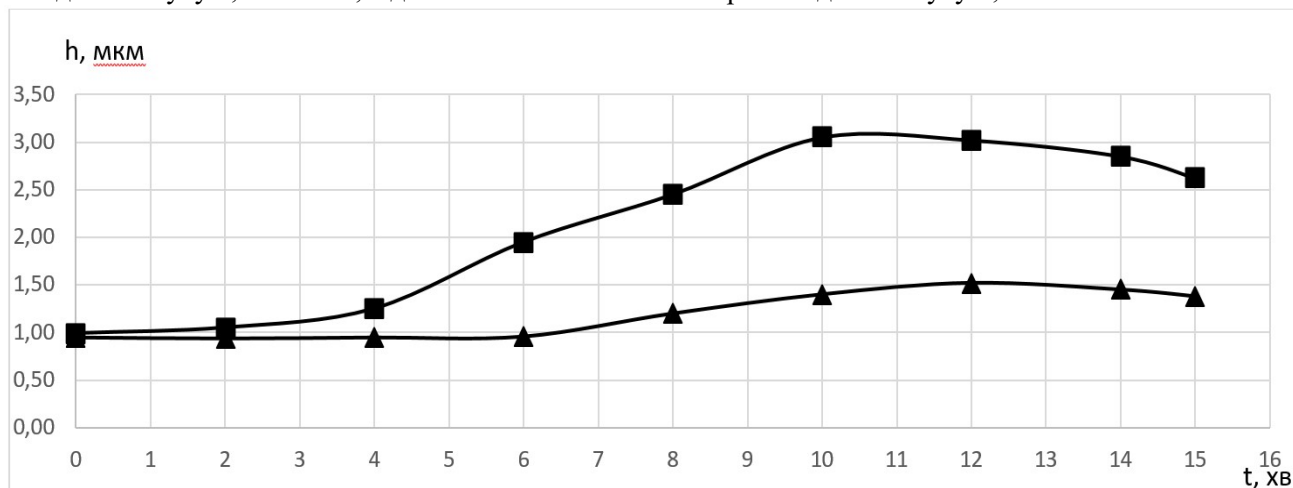


Рисунок 7 – Залежність товщини мастильного шару від часу двигуна

Figure 7 – The lubricant film thickness change during the warm-up period

Таким чином, дані залежності зміщуються для обох досліджуваних олив в область більш високих швидкостей зсуву, що пояснюється більш стабільними властивостями до механічної деструкції в умовах прискореного двигуна.

Наступні криві на рис. 7 залежності товщини мастильного шару від температури, по суті, повторюють залежність ефективної в'язкості від температури (див. рис. 5), що пояснюється прямою залежністю товщини мастильного шару від ефективної в'язкості при підвищенні температури в умовах рідинного тертя.

Як показано вище (крива 1, див. рис. 7), синтетична олива впродовж всього часу збільшення температури від мінус 18°C до плюс 75°C показує більш стабільне формування плівки певної товщини і, навіть деяке її збільшення при досяганні помірних температур, що пояснюється кращою несучою здатністю сформованої плівки в порівнянні з іншими оливами.

Стабільність формування товщини плівки при підвищенні температури, починаючи з низьких температур, надає синтетичним оливам деякі переваги по низькотемпературному запуску, тобто до умов реалізації змішаного тертя (мастильного голодування).

Напівсинтетична олива має деякі переваги при формуванні товщини мастильного шару в умовах рідинного тертя при помірних температурах (крива 2, див. рис. 7), що пояснюється формуванням товщини більшої величини, яка має кращі в'язкопружні властивості в даних умовах рідинного тертя.

Перевага синтетичної оливи над іншими оливами підтверджується також при дослідженні антифрикційних характеристик згідно рис. 8 і рис. 9.

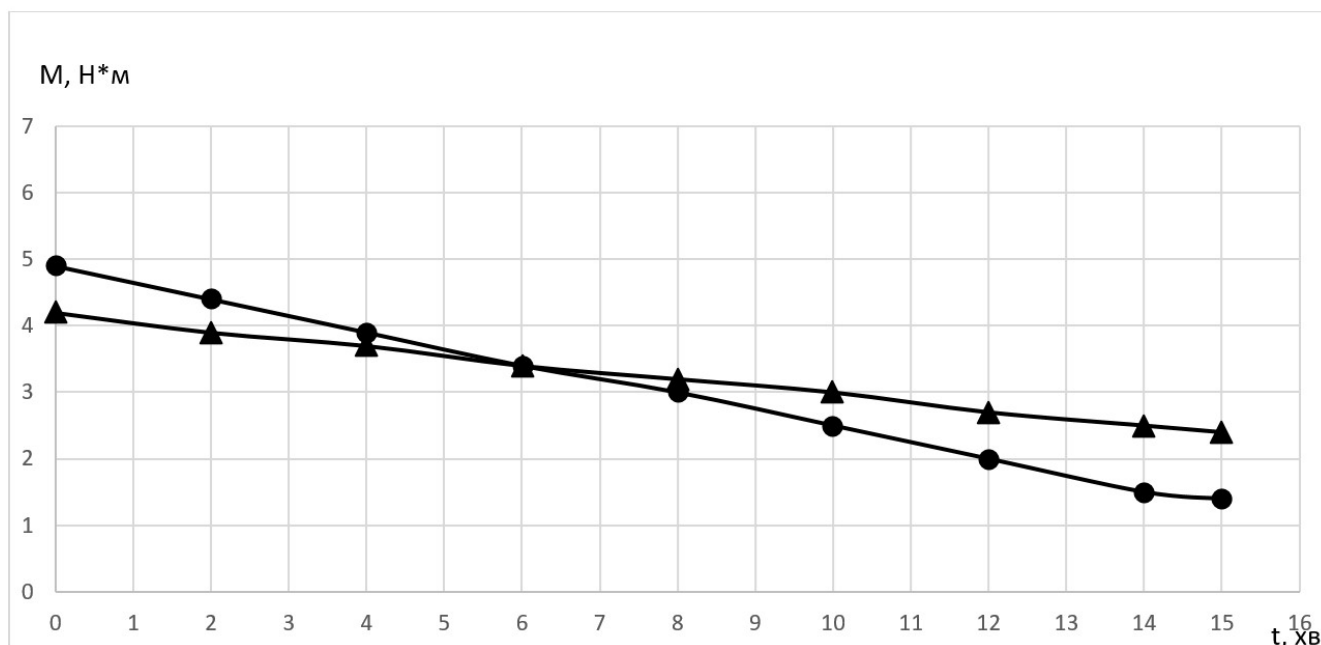


Рисунок 8 – Залежність моменту тертя від часу прогрівання двигуна

Figure 8 – The friction torque change during the warm-up period

Пологість кривої 1 залежності моменту і коефіцієнта тертя при підвищенні температури від мінус 18°C до плюс 75°C впродовж 15 хв., побудованої в логарифмічних координатах, показує кращі антифрикційні характеристики синтетичної оливи в порівнянні з іншими досліджуваними оливами, яка формує плівки на поверхні металу більш стійкі в широкому діапазоні температур.

Згідно рис. 5 – 9, дані оливи напівсинтетичного й синтетичного походження мають чудові антифрикційні властивості, що пояснюється стабільними до механічної деструкції властивостями в умовах прискореного прогріву двигуна внутрішнього згорання.

Висновки.

Враховуючи вищенаведені результати в рамках лабораторних досліджень, можна надати практичні рекомендації для проведення подальших стендових випробувань стосовно застосування моторних олив при низьких температурах в двигунах відповідних модифікацій, а саме:

1. В умовах двигуна в діапазоні температур від -18°C до $+75^{\circ}\text{C}$, напівсинтетична SAE10W-40 та синтетична SAE5W-40 оливи стабільні до механічної деструкції (прояву неньютонівських властивостей), що підтверджується відсутністю нестабільної первинної області зміни ефективної в'язкості при збільшенні швидкості зсуву на перших етапах випробування на СМЦ-2.

2. Поліпшення в'язкісно-температурних і в'язкісно-динамічних характеристик напівсинтетичної SAE10W-40 та синтетичної SAE5W-40 олив дала можливість збільшити час прояву стабільності до механічної деструкції по зміні ефективної в'язкості від швидкості зсуву та триботехнічні властивості по товщині мастильного шару й коефіцієнту тертя, що загалом, дозволяє покращити умови реалізації рідинного тертя з перших секунд запуску та в умовах напрацювання в двигуні VW 1.9TDI.

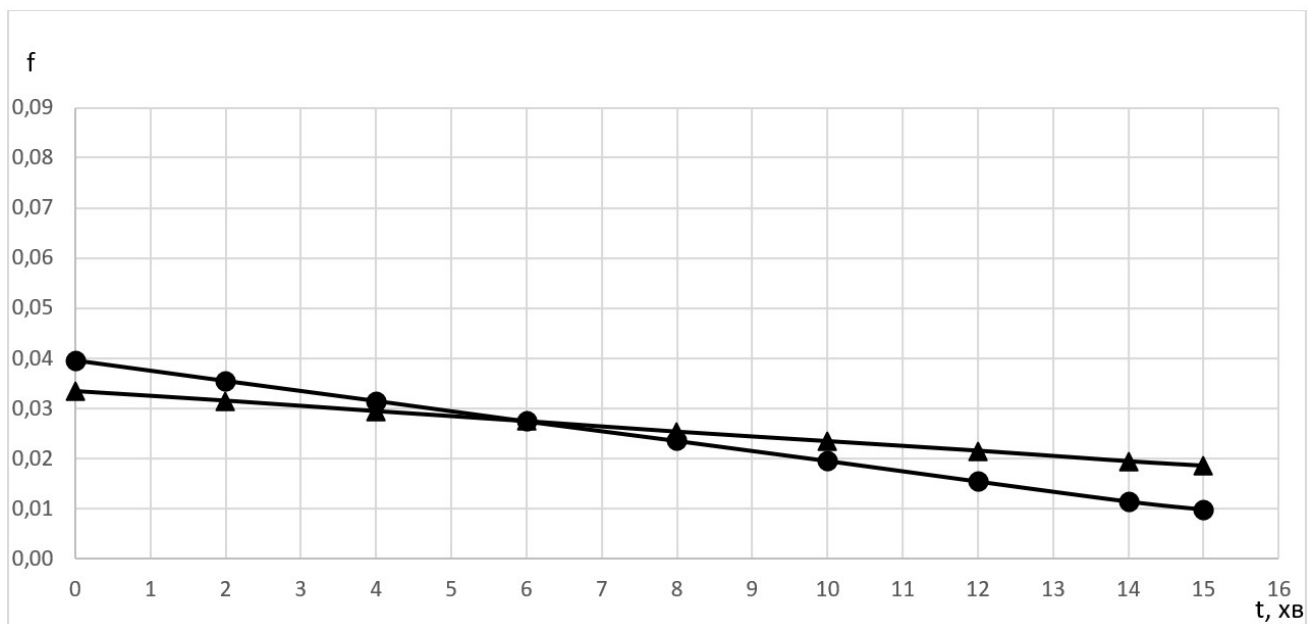


Рисунок 9 – Зміна антифрикційних характеристик мастильних матеріалів в період прогрівання двигуна
Figure 9 – Change in anti-friction characteristics of lubricants during engine warm-up

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. For older literature seer D. Klamann, H. Assmann in: Ullmann 3rd Ed., Vol. 15, pp. 204-330.
2. W. J. Bartz et al.: Handbuch der Betriebsstoffe für Kraftfahrzeuge. Expert-Vlg., Grafenau 1978.
3. M. L. McMillan, SAE Tech. Pap. Ser. 770373 (1977).
4. Аксенов А.Ф. Трение и изнашивание металлов в углеводородных гидкостях / А.Ф. Аксенов. – М.: Машиностроение, 1977. – 152 с.
5. Дроздов Ю.Н. Трение и износ в экстремальных условиях / Ю.Н. Дроздов, В.Г. Павлов, В.Н. Пучков. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
6. Налимов В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, 1965. – 156 с.

REFERENCES

1. For older literature seer D. Klamann, H. Assmann in: Ullmann 3rd Ed., Vol. 15, pp. 204-330. [in English].
2. W. J. Bartz et al.: Handbuch der Betriebsstoffe für Kraftfahrzeuge. Expert-Vlg., Grafenau 1978. [in English].
3. M. L. McMillan, SAE Tech. Pap. Ser. 770373 (1977). [in English].
4. Aksenov AF Friction and wear of metals in hydrocarbon liquids / AF. Aksenov. – M. : Mechanical Engineering, 1977. – 152 h. [in Russian].
5. Drozdov Yu.N. Friction and wear in extreme conditions / Yu.N. Drozdov, V.G. Pavlov, VN Tufts. – M. : Mechanical Engineering, 1986. – 224 p. [in Russian].
6. Nalimov VV Statistical methods for planning extreme experiments / V.V. Nalimov, N.A. Draft. – M. : Science, 1965. – 156 p. [in Russian].

РЕФЕРАТ

Дмитриченко М.Ф. Вплив температури навколишнього середовища на властивості моторних олив / М.Ф.Дмитриченко, О.А. Міланенко, О.М. Білякович, А.М. Савчук, Ю.О.Туриця // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

У статті представлені результати досліджень, які проводилися на трибометрі СМЦ-2 зі схемою кільце-гільза в умовах безударного тертя ковзання за рахунок обертального руху ролика. Для виконання експериментальних досліджень процесів тертя і зношування металевих пар та вивчення механо-фізико-хімічних процесів при взаємодії пари сталь-сталь, в нашому експерименті досліджувалися моторні всесезонні оливи різного хімічного складу за реологічною ознакою: моторні оливи напівсинтетичного походження TEMOL Premium 10W-40 і синтетичного походження TEMOL

Premium 5W-40. Вищезазначені оливи випробовувалися впродовж 15 хв в умовах підвищення температури від мінус 18⁰С до плюс 75⁰С.

Метою роботи є мінімізації процесів тертя в умовах примусового збільшення об'ємної температури моторної оливи в двигунах типу Д-241 та двигуна концерну Volkswagen VAG ASV 1.9 TDI.

Метод дослідження – експериментальне визначення реологічних особливостей моторних олив й антифрикційних властивостей пар тертя.

За результатами виконання експериментальних досліджень встановлено, що стабільність формування товщини плівки при підвищенні температури, починаючи з низьких температур, надає синтетичним оливам деякі переваги по низькотемпературному запуску, тобто до умов реалізації змішаного тертя (мастильного голодування). Напівсинтетична олива має деякі переваги при формуванні товщини мастильного шару в умовах рідинного тертя при помірних температурах, що пояснюється формуванням товщини більшої величини, яка має кращі в'язкопружні властивості в даних умовах рідинного тертя. Встановлено, що оливи напівсинтетичного й синтетичного походження мають чудові антифрикційні властивості і це можливо пояснити стабільними до механічної деструкції властивостями в умовах прискореного прогріву двигуна внутрішнього згорання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОТОРНА ОЛИВА, РЕОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, АНТИФРИКЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ, ТОВЩИНА ПЛІВКИ.

ABSTRACT

Dmitrichenko N.F., Milanenko A.A., Bilyakovich O.N., Savchuk A.N., Turitsa Yu.A. Influence of temperature of the environment on properties of motor oils. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article presents the results of studies that were conducted on the SMC-2 tribometer according to the ring-sleeve scheme in conditions of non-shocking sliding friction due to the rotational motion of the roller. In order to perform experimental studies of the processes of friction and wear of metal vapors and to study mechanical-physicochemical processes in the interaction of a steel-steel pair, in our experiment we studied motor all-season oils of different chemical composition on the rheological basis: motor oils of semisynthetic origin TEMOL 10 synthetic origin and TEMOL Premium synthetic origin origin of TEMOL Premium 5W-40. The aforementioned oils were tested for 15 min under conditions of temperature rise from minus 18⁰С to plus 75⁰С.

The purpose of the work is to minimize the friction processes in the conditions of forced increase of the volume temperature of engine oil in engines of type D-241 and engine of concern Volkswagen VAG ASV 1.9 TDI.

The method of investigation is the experimental determination of the rheological features of motor oils and the antifriction properties of friction pairs.

According to the results of experimental studies, it is established that the stability of the formation of film thickness with increasing temperature, starting from low temperatures, gives synthetic oils some advantages at low-temperature starting, that is, to the conditions of realization of mixed friction (lubrication starvation). Semi-synthetic oil has some advantages in the formation of the thickness of the lubricating layer under conditions of liquid friction at moderate temperatures, which is explained by the formation of a thickness of greater magnitude, has better viscoelastic properties in these conditions of fluid friction. It is established that oils of semisynthetic and synthetic origin have excellent antifriction properties and this can be explained by their stable to mechanical degradation properties in the conditions of accelerated warming of the internal combustion engine.

KEYWORDS: ENGINE OIL, RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS, ANTIFRICTION PROPERTIES, FILM THICKNESS.

РЕФЕРАТ

Дмитриченко М.Ф. Влияние температуры окружающей среды на свойства моторных масел / М.Ф.Дмитриченко, О.А. Міланенко, О.М. Білякович, А.М. Савчук, Ю.О.Туриця // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье представлены результаты исследований, которые проводились на трибометре СМЦ-2 по схеме кольцо-гильза в условиях безударного трения скольжения за счет вращательного движения

ролика. Для выполнения экспериментальных исследований процессов трения и изнашивания металлических пар и изучение механо-физико-химических процессов при взаимодействии пары сталь-сталь, в нашем эксперименте исследовались моторные всесезонные масла различного химического состава по реологическому признаку: моторные масла полусинтетического происхождения TEMOL Premium 10W-40 и синтетического происхождения TEMOL Premium 5W-40. Вышеупомянутые масла испытывались в течение 15 мин в условиях повышения температуры от минус 18⁰С до плюс 75⁰С.

Целью работы является минимизации процессов трения в условиях принудительного увеличения объемной температуры моторного масла в двигателях типа Д-241 и двигателя концерна Volkswagen VAG ASV 1.9 TDI.

Метод исследования – экспериментальное определение реологических особенностей моторных масел и антифрикционных свойств пар трения.

По результатам выполнения экспериментальных исследований установлено, что стабильность формирования толщины пленки при повышении температуры, начиная с низких температур, придает синтетическим маслам некоторые преимущества при низкотемпературном запуске, то есть к условиям реализации смешанного трения (смазочного голодания). Полусинтетическое масло имеет некоторые преимущества при формировании толщины смазочного слоя в условиях жидкостного трения при умеренных температурах, что объясняется формированием толщины большей величины, имеет лучшие вязко-упругие свойства в данных условиях жидкостного трения. Установлено, что масла полусинтетического и синтетического происхождения имеют отличные антифрикционные свойства и это можно объяснить стабильными до механической деструкции свойствами в условиях ускоренного прогрева двигателя внутреннего сгорания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МОТОРНОЕ МАСЛО, РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, АНТИФРИКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА, ТОЛЩИНА ПЛЕНКИ.

АВТОРИ:

Дмитриченко Микола Федорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, тел. (044)2808203, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 318, orcid.org/0000-0003-4223-1838

Міланенко Олександр Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: milanmasla@gmail.com, тел. (044)2801886, Україна, 01010, м. Київ, вул. , вул. Омеляновича-Павленка, 1, к.102, orcid.org/0000-0002-8197-5277

Білякович Олег Миколайович, кандидат технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, професор кафедри «Технологій аеропортів», e-mail: oleg65@voliacable.com, тел. (044)4067694, Україна, 03680, м. Київ, просп. Космонавта Комарова, 1, к.1.409, orcid.org/0000-0002-2423-2346

Савчук Анатолій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: tolik_savchuk@ukr.net, тел. (044)2801886, Україна, 01010, м. Київ, вул. , вул. Омеляновича-Павленка, 1, к.102, orcid.org/0000-0001-5460-4879

Туриця Юлія Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: yuliya_tur@ukr.net, тел. (044)2801886, Україна, 01010, м. Київ, вул. , вул. Омеляновича-Павленка, 1, к.102, orcid.org/0000-0002-2205-0426

Косенко Максим Ігорович, аспірант, Національний транспортний університет, Київ, Україна, kosenko171194@gmail.com / 0000-0002-5155-1828

AUTHOR:

Dmytrychenko Nikolay F., Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, tel. (044)2808203, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 318, orcid.org/0000-0003-4223-1838

Milanenko Alexandr A., associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: : milanmasla@gmail.com, tel. (044)2801886, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 102, orcid.org/0000-0002-2423-2346

Bilyakovich Oleg N., associate professor, National Aviation University, associate professor department of technologies of air-ports, e-mail: oleg65@voliacable.com, tel. (044)4067694, Ukraine, 03680, Kyiv, b. Cosmonaut of Komarova, 1, of. 1.409, orcid.org/0000-0002-2423-2346

Savchuk Anatoliy N, associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: tolik_savchuk@ukr.net , tel. (044)2801886, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 102, orcid.org/0000-0001-5460-4879

Turitsa Yuliya A., associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: yuliya_tur@ukr.net, tel. (044)2801886, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 102, orcid.org/0000-0002-2205-0426

Kosenko Maksim I., graduate student, National Transport University, Kyiv, Ukraine, kosenko171194@gmail.com / 0000-0002-5155-1828

АВТОРЫ:

Дмитриченко Николай Федорович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры «Производство, ремонт и материаловедство», e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, тел. (044)2808203, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляновича-Павленко, 1, к. 318, orcid.org/0000-0003-4223-1838

Миланенко Александр Анатолієвич, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры «Производство, ремонт и материаловедство», e-mail: milanmasla@gmail.com, тел. (044)2801886 , Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляновича-Павленко, 1, к.102, orcid.org/0000-0002-2423-2346

Білякович Олег Николаевич, кандидат технических наук, Национальный авиационный университет, профессор кафедры «Технологій аеропортів», e-mail: oleg65@voliacable.com, тел. (044)4067694, Украина, 03680, м. Киев, просп. Космонавта Комарова, 1, к.1.409, orcid.org/0000-0002-2423-2346

Савчук Анатолій Николаевич, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры «Производство, ремонт и материаловедство», e-mail: tolik_savchuk@ukr.net, тел. (044)2801886, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляновича-Павленко, 1, к.102, orcid.org/0000-0001-5460-4879

Туриця Юлия Александровна, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры «Производство, ремонт и материаловедство», e-mail: yuliya_tur@ukr.net, тел. (044)2801886 , Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляновича-Павленко, 1, к.102, orcid.org/0000-0002-2205-0426

Косенко Максим Ігорович, аспірант, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, kosenko171194@gmail.com / 0000-0002-5155-1828

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гутаревич Ю.Ф, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри двигунів і теплотехніки, Київ, Україна.

Тамаргазін О.А., доктор технічних наук, Національний авіаційний університет, професор кафедри екології та технологій аеропортів, Київ, Україна.

REVIEWER:

Gutarevich Y.F. Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, professor department of motors and heating, Kyiv, Ukraine.

Tamargazin O.A., Ph.D., Engineering (Dr.), National Aviation University, professor department ecology and safety of vital functions, Kyiv, Ukraine.

ДО ПИТАННЯ ТЕОРІЇ ПРОЦЕСУ БОРУВАННЯ ЗАЛІЗО-ВУГЛЕЦЕВИХ СПЛАВІВ В МАГНІТНОМУ ПОЛІ

Дулеба А.Д., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, a.d.duleba@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6333-1737

Мельник О.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, epitaksiya.78@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2082-6603

ON THE THEORY OF THE PROCESS OF BORONATION OF IRON-CARBON ALLOYS IN A MAGNETIC FIELD

Duleba A.D., associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, a.d.duleba@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6333-1737

Melnyk O.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, epitaksiya.78@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2082-6603

К ВОПРОСУ ТЕОРИИ ПРОЦЕССА БОРИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗО-УГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Дулеба А.Д., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, a.d.duleba@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6333-1737

Мельник О.В., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, epitaksiya.78@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2082-6603

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В останні роки значно підвищився інтерес до дослідження структури і властивостей дифузійних покриттів на металах і неметалах, які складаються з тугоплавких з'єднань [1]. Дуже перспективними для застосування в якості високотвердих і зносостійких матеріалів є тугоплавкі з'єднання типу боридів, силіцидів, карбідів [2] тощо, які можуть бути отримані в поверхневих шарах виробів при насиченні їх бором, кремнієм, вуглецем.

Постановка проблеми.

Нами досліджувалася структура, фазовий склад і деякі фізико-механічні та електрофізичні властивості боридних, боридо-силіцидних та алюмо-боридних покриттів на залізі та сталі. Великий інтерес являє пояснення властивостей дифузійних покриттів з точки зору їхньої електронної будови [3]. Як показали дослідження, дифузійне насичення заліза та сталі бором, кремнієм та алюмінієм призводить до істотних змін фізико-механічних властивостей поверхневих шарів внаслідок зміни їхнього хімічного складу та структури [4]. Наприклад, так відбувається істотна зміна мікротвердості (табл.1) і втомно-корозійної стійкості сталі.

Таблиця 1 – Мікротвердість боридів, силіцидів і алюмінідів заліза в дифузійних покриттях
Table 1 – Microhardness of borides, silicides and iron aluminides in diffuse coatings

Фаза	Мікротвердість, МПа
FeB	19000...22000
Fe_2B	16500...18500
$FeSi$	5800...6900
$FeAl$	4500...5300

Внаслідок утворення структур з більшим питомим об'ємом, ніж у металі, що насичується, в поверхневих шарах виникають залишкові напруження стискання, які призводять до підвищення втомної і корозійно-втомної міцності деталей, які працюють в умовах знакозмінних навантажень [4].

Рентгенівським і металографічним аналізами, а також методом мікротвердості встановлено, що дифузійні покриття після:

- борування складаються з моноборидів заліза FeB , які розташовані в зовнішній зоні шару, і боридів заліза Fe_2B ;
- боросиліціювання – з боридів заліза FeB , Fe_2B і силіцидів заліза $FeSiO_2$ та $FeSi$;
- бороалітування – з боридів заліза FeB , Fe_2B і алюмінідів заліза Fe_3Al , $FeAl$.

Тугоплавкі з'єднання на основі перехідних металів в практичному аспекті займають першочергове значення, що пов'язане з їхньою провідною роллю в сучасній техніці. Останнє робить перехідні метали, їхні сплави і з'єднання головним об'єктом теоретичного дослідження.

В роботах [1...5] для пояснення різноманітності фізико-хімічних властивостей цих речовин використовуються положення про стабільні електронні конфігурації. В основу цих положень покладена оболонкова структура атомів – результат квантово-механічного розрахунку за методом самопогодженого поля Хартрі-Фока. Поняття стабільності електронної конфігурації включає інформацію про ізолювані атоми, а також свідчить про деякі зміни будови їхньої оболонки при переході до твердої фази.

Узагальнення експериментального матеріалу, а також робота теоретичного характеру [1] дозволили виділити в твердому тілі стабільні конфігурації d^{10} , f^7 , s^2p^6 , f^0 , d^0 , d^5 , f^7 , sp^3 локалізованих і валентних електронів. Фізико-хімічні властивості речовини є функцією електронної структури ізолюваних атомів, яка змінюється в конденсованій фазі таким чином, що утворюється одна з вищевказаних електронних конфігурацій. Тому ізолювані атоми, зовнішні оболонки яких вже є стабільними, представляють значний інтерес для теоретичного розгляду.

Відомо, що стан електрона в ізолюваних одноелектронних атомах визначається сукупністю чотирьох квантових чисел: n , l , m і s , з яких перші два мають переважне значення для характеристики енергетичних рівнів. В атомах або іонах з більш ніж одним зовнішнім (валентним) електроном моменти і разом з ними квантові числа l , i та m сумуються за правилами векторної моделі. Результируючі $\sum l$, $\sum i$, $\sum m$ позначаються відповідно L , I , M . Тоді в наближенні Рассел-Саундерівського типу зв'язку магнітних моментів енергія буде визначатися числами n , L та S .

Мінімальна енергія атому можлива при максимальному зменшенні енергії еквівалентних електронів з заданими l та s при різних L_z та S_z . Таке максимальне зменшення визначається напівемпіричним правилом Хунда, відповідно якому основний терм відповідає електронній конфігурації з максимальним спіном і максимально можливим (відповідно принципу Паулі) орбітальним моментом.

Для металів залізної групи, які мають більше п'яти електронів, можна чекати передачі частини електронів (більше п'яти) атомам бору. Висока концентрація менш стабільних d^{10} - конфігурацій, а також можливість безпосереднього обміну електронами між атомами бору, зменшує утворення sp^3 - конфігурацій. Тому бориди залізної групи мають меншу температуру плавлення і меншу твердість.

При боруванні сталі залізо, яке міститься в стані ізолюваного атома з конфігурацією поверхневих електронів d^6s^2 , хоче віддати частину електронів атомам бору, набуваючи при цьому більшу статистичну вагу врівноважених d^5 -конфігурацій. За рахунок електронів заліза зростає концентрація найбільш стабільних sp^3 -конфігурацій бору. Таким чином, зміцнююча дія борування міститься в утворенні атомами заліза високої статистичної ваги d^5 -, а атомами бору sp^3 - стабільних конфігурацій.

Наявність в системі $Fe-B$ двох з'єднань дозволяє вважати, що більш симетрична решітка Fe_2B будується на високій статистичній вазі sp^3 -конфігурацій, а в організації менш симетричної ромбічної решітки FeB приймають участь d^5 -конфігурації. Для нижчого бориду можна припустити наявність деякого числа функцій зв'язку з утворенням менш стійких sp^x -конфігурацій, концентрація утворених d^5 -конфігурацій ще недостатньо висока.

Для вищого бориду більше число атомів бору приходить на атом заліза і більше атомів заліза, віддаючи свої електрони, набуває стійкі d^5 - стани. Враховуючи, що залізо у вихідному стані володіє невисокою концентрацією d^5 - конфігурацій (20 %) [5] то звідси випливає, що відносна статистична вага d^5 - конфігурацій в фазі FeB вища, ніж у нижчого бориду. Трохи більша твердість FeB обумовлюється сильним ковалентним зв'язком стабільних d^5 - та sp – електронних конфігурацій, а також високою статистичною вагою останніх.

Присутність в сталі в якості легуючих елементів перехідних металів 5 і 6 груп з високою статистичною вагою d^5 -конфігурацій у вихідному стані обумовлює утворення при боруванні вищих боридів, які базуються на високій статистичній вазі d^5 - станів. Але, присутність sp – елементів з високою стабільністю sp – конфігурацій (з малим головним квантовим числом валентних електронів) сприяє утворенню sp^3 - конфігурацій та утруднює утворення при боруванні вищого бориду.

На основі даних про інтенсивність розсіювання рентгенівських променів, наведений розподіл електронів в атомах перехідних металів, які входять до складу металевому кристалу. Цей розподіл трохи відрізняється від такого ж для ізолюваних атомів (табл. 2).

Таблиця 2 – Електронні структури атомів перехідних металів першого великого періоду
Table 2 – Electronic structures of transition metal atoms of the first large period

Метал	Число електронів на $3d$ -рівні ізолюваного атома	Число електронів на $3d$ -рівні в металевому кристалі
Хром	5	0,2
Залізо	6	2,3
Нікель	8	9,7

Значне підвищення мікротвердості з'єднань, які утворюються при дифузійному насиченні, пояснюється утворенням стійких електронних конфігурацій, від величини статистичної ваги яких залежать, як відомо [3], багато фізико-хімічних властивостей з'єднань. Виходячи з цих уявлень можна припустити, що при утворенні, наприклад, з'єднань FeB атоми бору ($2s^2 2p^1$) зазнають перетворення з утворенням sp^2 - електронних конфігурацій, які переходять в ще більш енергетично стійкі sp^3 -конфігурації за рахунок електронів атомів заліза ($3d^6 4s^2$), які володіють донорською властивістю внаслідок прагнення до утворення стабільних d^5 - конфігурацій.

Атоми заліза мають тенденцію до утворення сильного ковалентного зв'язку з атомами бору. Ковалентний зв'язок стійких електронних конфігурацій і обумовлює високу мікротвердість з'єднань. Деяке зменшення мікротвердості з'єднань Fe_2B пояснюється зменшенням статистичної ваги sp^3 - стабільних конфігурацій.

Незважаючи на істотне збільшення мікротвердості боридів заліза, їхня температура плавлення незначно відрізняється від температури плавлення заліза, що обумовлюється значною розпушуючою дією s^2 - електронів атомів заліза. Це припущення підтверджується також деяким збільшенням електричного опору боридів заліза.

Для з'єднань заліза з алюмінієм, які утворюються при дифузійному насиченні, необхідно очікувати значного зменшення мікротвердості, якщо виходити з вищевказаного. З підвищенням головного квантового числа стабільність sp^3 - конфігурацій знижується, істотно зменшується також вірогідність їхнього утворення. Так, наприклад, для алюмінію ($3s^2 3p^1$), який має ізоелектронну з бором будову, вірогідність утворення стабільної sp^3 - конфігурації значно зменшується, що веде до зменшення статистичної ваги.

Для з'єднання заліза з кремнієм ($3s^2 3p^2$) необхідно також чекати значного зменшення мікротвердості в порівнянні з боридами, але в меншому ступені, ніж для з'єднань з алюмінієм.

Відомо, що стабільність sp^3 -конфігурацій підвищується від бору до вуглецю. Природно припустити, що така закономірність може мати місце і при переході від алюмінію до кремнію, що повинно привести до збільшення статистичної ваги sp^3 - конфігурації кремнію в порівнянні з алюмінієм.

Висновок.

1. На основі аналізу результатів процесів утворення боридів заліза про дифузії бору з точки зору квантової теорії, встановлено, що значне підвищення фізико-механічних властивостей, частково, мікротвердості і зносостійкості відбувається встановленням стійких електронних конфігурацій хімічних з'єднань. Так, при створенні з'єднань FeB атоми бору ($2s^2 2p^1$) складають sp^3 -конфігурації за рахунок електронів атомів заліза ($3d^6 4s^2$), які володіють донорською властивістю утворювати стабільні d^5 -конфігурації.

2. Експериментальні дослідження властивостей хімічних з'єднань, які утворюються в процесі дифузійного насичення, підтверджують корелятивний зв'язок з їхньою електронною будовою.

3. Атоми заліза мають схильність до утворення сильного ковалентного зв'язку з атомами бору.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Пат. 24531 (А), Україна. Спосіб відновлення прецизійних деталей боруванням / Канарчук В.Є., Барілович Л.П., Ткачук В.М. та ін. Бюл. № 2, 1998.
2. Лякишев Н.П. Боросодержащие стали и сплавы. / Н.П. Лякишев, Ю.Л. Плинер, С.И. Лаппо.– М. : Металлургия, 1986. – 192 с.

3. Сибата К. Поведение бора в стали и его влияние на структуру и свойства. / К. Сибата с Институт черной металлургии Японии. 2000.
4. Влияние микродобавок бора на механические и технологические свойства катанки / А.В. Кутаков, А.Б. Сычков, В.В. Прусов и др. // Сталь. 2000. №1. С.12-13.
5. Моделунг О. Теория твердого тела. / О. Моделунг М. : Наука, 1980. – 418 с.

REFERENCES

1. Pat. 24531 (A), Ukraine. (1998) A method of restoring precision parts by boring / Kanarchuk V.Ye., Barylovyeh L.P., Tkachuk V.M. Bul. № 2 [in Ukraine]
2. Liakishev N.P. (1986) Boron-containing steels and alloys. М.: Metalurhia, 192 p. [in Russian]
3. Sybata K. (2000) The behavior of boron in steel and its effect on the structure and properties // Japan Iron and Steel Institute [in Russian]
4. Kutakov A.V. (2000) The effect of boron microadditives on the mechanical and technological properties of wire rod [Steel]. № 1. 12-13. [in Russian]
5. Modelunh O. (1980) Solid state theory. М.: Nauka, 418 p. [in Russian]

РЕФЕРАТ

Дулеба А.Д. До питання теорії процесу борування залізо-вуглецевих сплавів в магнітному полі / А.Д. Дулеба, О.В. Мельник // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

В статті запропонований аналіз результатів процесів утворення боридів заліза з точки зору квантової теорії.

Об'єкт дослідження – фазовий склад, фізико-механічні та електрофізичні властивості боридних, боро-силіцидних і алюмо-боридних покриттів на залізі і сталі.

Метод дослідження – рентгенівський і металографічний аналіз.

На основі аналізу результатів процесів утворення боридів заліза про дифузію бору з точки зору квантової теорії, встановлено, що значне підвищення фізико-механічних властивостей, частково, мікротвердості і зносостійкості відбувається встановленням стійких електронних конфігурацій хімічних з'єднань. Так, при створенні з'єднань FeB атоми бору ($2s^2 2p^1$) складають sp^3 -конфігурації за рахунок електронів атомів заліза ($3d^6 4s^2$), які володіють донорською властивістю утворювати стабільні d^5 -конфігурації. Експериментальні дослідження властивостей хімічних з'єднань, які утворюються в процесі дифузійного насичення, підтверджують корелятивний зв'язок з їхньою електронною будовою, а атоми заліза мають схильність до утворення сильного ковалентного зв'язку з атомами бору.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БОРУВАННЯ, БОРОСІЛІЦЮВАННЯ, БОРОАЛІТУВАННЯ, АТОМИ, ЕНЕРГЕТИЧНІ РІВНІ, КВАНТОВІ ЧИСЛА, КОНФІГУРАЦІЯ ЕЛЕКТРОНІВ.

ABSTRACT

Duleba A.D., Melnyk O.V. On the theory of the process of boronation of iron-carbon alloys in a magnetic field. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article offers an analysis of the results of the processes of formation of iron borides from the point of view of quantum theory.

The object of study is the phase composition, physicommechanical and electrophysical properties of boride, borosilicidal and aluminum-boride coatings on iron and steel.

The research method is x-ray and metallographic analysis.

Based on the analysis of the results of the formation of iron borides on boron diffusion from the point of view of quantum theory, it was found that a significant increase in the physicommechanical properties of partially microhardness and wear resistance occurs by establishing stable electronic configurations of chemical compounds. So, when creating FeB compounds, boron atoms ($2s^2 2p^1$) form sp^3 configurations due to electrons of iron atoms ($3d^6 4s^2$), which have the donor property to form stable d^5 configurations. Experimental studies of the properties of chemical compounds that form during diffusion saturation confirm a correlation with their electronic structure, and iron atoms tend to form a strong covalent bond with boron atoms.

KEY WORDS: BORING, BOROSILICATION, ATOMS, ENERGY LEVELS, QUANTUM NUMBERS, ELECTRON CONFIGURATION.

РЕФЕРАТ

Дулеба А.Д. К вопросу теории процесса борирования железо-углеродистых сплавов в магнитном поле / А.Д. Дулеба, О.В. Мельник // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье предложен анализ результатов процессов образования боридов железа с точки зрения квантовой теории.

Объект исследования – фазовый состав, физико-механические и электрофизические свойства боридных, боро-силицидных и алюмо-боридных покрытий на железе и стали.

Метод исследования – рентгеновский и металлографический анализ.

На основе анализа результатов процессов образования боридов железа о диффузии бора с точки зрения квантовой теории, установлено, что значительное повышение физико-механических свойств частично микротвердости и износостойкости происходит установлением устойчивых электронных конфигураций химических соединений. Так, при создании соединений FeB атомы бора ($2s^2 2p^1$) составляют sp^3 -конфигурации за счет электронов атомов железа ($3d^6 4s^2$), которые обладают донорским свойством образовывать стабильные d^5 -конфигурации. Экспериментальные исследования свойств химических соединений, которые образуются в процессе диффузионного насыщения, подтверждают корреляционную связь с их электронным строением, а атомы железа имеют склонность к образованию сильной ковалентной связи с атомами бора.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: БОРИРОВАНИЕ, БОРОСИЛИЦИРОВАНИЕ, АТОМЫ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УРОВНИ, КВАНТОВЫЕ ЧИСЛА, КОНФИГУРАЦИЯ ЭЛЕКТРОНОВ.

АВТОРИ:

Дулеба Андрій Дмитрович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: a.d.duleba@gmail.com, тел. (044)2809805, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к.104а, orcid.org / 0000-0001-6333-1737

Мельник Ольга Вікторівна, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: epitaksiya.78@gmail.com, тел. (044)2809805, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к.102, orcid.org/0000-0003-2082-6603

AUTHOR:

Duleba Andrei D., associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: a.d.duleba@gmail.com, tel. (044)2809805, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 104a, orcid.org / 0000-0001-6333-1737

Melnyk Olga V., National Transport University, senior lecturer, department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: epitaksiya.78@gmail.com, tel. (044)2809805, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 102, orcid.org/0000-0003-2082-6603

АВТОРЫ:

Дулеба Андрей Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры производства, ремонта и материаловедения, e-mail: a.d.duleba@gmail.com, тел. (044)2809805, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленко, 1, к. 104а, orcid.org / 0000-0001-6333-1737

Мельник Ольга Викторовна, Национальный транспортный университет, старший преподаватель кафедры производства, ремонта и материаловедения, e-mail: epitaksiya.78@gmail.com, тел. (044)2809805, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленко, 1, к. 102, orcid.org/0000-0003-2082-6603

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гутаревич Ю.Ф., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри двигунів і теплотехніки, Київ, Україна.

Тамаргазін О.А., доктор технічних наук, Національний авіаційний університет, професор кафедри екології та технологій аеропортів, Київ, Україна.

REVIEWER:

Gutarevich Y.F. Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, professor department of motors and heating, Kyiv, Ukraine.

Tamargazin O.A., Ph.D., Engineering (Dr.), National Aviation University, professor department ecology and safety of vital functions, Kyiv, Ukraine.

АНАЛІЗ ВІТЧИЗНЯНОГО І ЗАКОРДОННОГО ДОСВІДУ РОБОТИ ТРАНСПОРТНИХ ВУЗЛІВ

Захарченко М.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна,
mashka290394@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8807-4669

EVALUATION DOMESTIC AND FOREIGN TRANSPORTATION HUB WORK EXPERIENCE

Zakharchenko M.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine, mashka290394@gmail.com,
orcid.org/0000-0001-8807-4669

АНАЛИЗ ОТЕЧЕСТВЕННОГО И ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА РАБОТЫ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ

Захарченко М.М., Национальный транспортный университет, Киев, Украина,
mashka290394@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8807-4669

Постановка проблеми.

Мультимодальні перевезення вантажів набули розвитку в міжнародному транспортному просторі завдяки ряду переваг: довіри вантажовласників у результаті наявності єдиного відповідального оператора мультимодальних перевезень (ОМП), оптимізації економічних і часових витрат, забезпечення партнерських відносин і, як наслідок, підвищення ефективності діяльності всіх учасників ланцюга постачань. Між тим, в Україні процеси розвитку мультимодальних перевезень гальмуються повільним реформуванням транспортної галузі, транспортною мережею, транспортною інфраструктурою, незадовільним нормативно-правовим регулюванням, політичною обстановкою, складнощами в подоланні інертності бюрократичного механізму, відсутністю державної підтримки, дієвих інструментів тарифно-цінової політики.

Найважливішою структурною ланкою мультимодальних транспортних систем є мультимодальні транспортні вузли. Під терміном мультимодальний транспортний вузол (МТВ) розуміють географічний пункт стикування і взаємодії декількох видів транспорту, через який здійснюється мультимодальне перевезення. Такий вузол може об'єднувати в собі залізничні станції, які зв'язують між собою їх рейкові шляхи, морські та річкові порти, аеропорти, вокзали, автомобільні дороги, кінцеві та проміжні об'єкти магістральних трубопроводів, муніципальні транспортні мережі. В інфраструктуру МТВ входять складські комплекси та вантажні термінали з центрами управління і розподілу вантажопотоків, об'єкти митного оформлення вантажів, транспортного страхування, організації, що представляють транспортно-експедиторські та банківські послуги.

Ефективність функціонування транспортних вузлів впливає на ефективність мультимодальних перевезень вантажів. Отже, аналіз вітчизняного і закордонного досвіду роботи транспортних вузлів є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Зарубіжний досвід підтверджує те, що у сфері транспорту одним із основних чинників підвищення ефективності є розвиток мультимодальних перевезень. При цьому варто виділити наукові праці Т. Брендса (Brands, 2012), Е. Беркума (Berkum, 2012), Л. Вісманса (Wismans, 2011), М. Блімера (Bliemer, 2011), С. Хамаді (Hammadi, 2013), М. Ксоурі (Ksouri, 2013), Х. Ясукави (Yasukawa, 2005), І. Чена (Chen, 2004), А. Паулрея (Paulraj, 2004) та ін.

Зміцнення позицій на вітчизняному транспортному ринку з впровадженням сучасних механізмів логістики та мультимодальних перевезень досліджено в працях вітчизняних авторів, зокрема: Альошинського Є.С. (2013), Брайковської А.М. (2013), Клюквіної М.С. (2012), Пасічника В.І. (2013), Підлісного П.І. (2013), Соколової О.Є. (2014), Туржанського В.А. (2014), Ширяєвої С.В. (2012) та ін. Представлені результати дослідження відображають переважно техніко-технологічні аспекти мультимодальних перевезень.

Дослідженням транспортних вузлів займалися такі науковці: Нагорний Є.В., Літвінова Я.В., Алексєєв І.В., Мурадян А.О., Окороков А.М., Ломотько Д.В., Новіков П.А., Левковець П.Р.,

Нікітін П.В., Лабута А.В., Карієва Я.К., Камалова Е.А. та інші. [1-3]. Поза увагою лишаються питання щодо впливу роботи транспортних вузлів на стан розвитку мультимодальних перевезень вантажів.

Мета дослідження – при аналізі вітчизняного і закордонного досвіду роботи транспортних вузлів виявити шляхи удосконалення мультимодальних транспортних вузлів.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Транспорт — одна з найважливіших інфраструктурних галузей матеріального виробництва, яка забезпечує виробничі й невиробничі потреби економіки країни і населення в усіх видах перевезень. Велике значення має транспорт для зв'язку між галузями ринкової економіки, між містом і селом, між окремими районами країни. Транспорт сприяє суспільному територіальному поділу праці, є активним фактором формування економічної спеціалізації господарства окремих районів, неможливої без обміну продукцією. За призначенням виділяють транспорт загального користування (для перевезення готової продукції, сировини та напівфабрикатів з місць виробництва до пунктів споживання або подальшої переробки, задоволення потреб населення у просторовому переміщенні з виробничими або приватними цілями), відомчий (внутрішньовиробничий, внутрішньо-будівельний, внутрішньогосподарський, внутрішньозаводський і внутрішньо-портовий), а також транспорт особистого призначення. Виділяють такі види транспорту: наземний (залізничний, автомобільний, гужовий, в'ючний), водний (морський, річковий, озерний), повітряний та трубопровідний. Усі вони тісно пов'язані і взаємно доповнюють один одного.

Окремі види транспорту не функціонують цілком ізольовано, вони є складовими транспортної системи країни. Транспортна система – територіальне поєднання взаємопов'язаних видів транспорту, які при взаємодії, найповніше задовольняють потреби ринкової економіки та населення в перевезеннях вантажів і пасажирів. Обсяги відправлення (перевезення) вантажів за видами транспорту за 2010-2018 рр. наведено в табл. 1 [5].

Таблиця 1 – Відправлення (перевезення) вантажів за видами транспорту, тис.тонн

Table 1 – Delivery (transportation) of cargoes by types of transport, thousand tons

роки	залізничний	морський	річковий	автомобільний	авіаційний	трубопровідний
2010	357969,1	4067,8	6989,5	1168218,8	87,9	153436,6
2011	388715,6	4145,6	5720,9	1252390,3	92,1	154971,2
2012	378102,3	3457,5	4294,7	1259697,7	122,6	128439,8
2013	377318,3	3428,1	2840,5	1260767,5	99,2	125941,1
2014	325171,0	2805,3	3144,8	1131312,7	78,6	99679,5
2015	294301,2	3291,6	3155,5	1020604,0	69,1	97231,5
2016	292104,7	3032,5	3641,8	1085663,4	74,3	106729,2
2017	277288,9	2253,1	2253,1	2253,1	2253,1	2253,1
2018	267639,1	1892,0	1892,0	1892,0	1892,0	1892,0

Роботу всіх видів транспорту забезпечує транспортна інфраструктура — економічно збалансована сукупність шляхів сполучення. Ефективність функціонування транспортної інфраструктури визначають за рівнем економічного збалансування всіх її складових частин, якого можна досягти лише при раціональному розподілі загального обсягу перевезень між окремими видами транспорту залежно від сфери найвигіднішого використання кожного з них. Просторова залежність транспортних мереж від розміщення продуктивних сил впливає на територіальну організацію транспорту в цілому і, зокрема, його складових частин. Це яскраво виявляється в існуванні первинних форм просторового зосередження транспорту — транспортних вузлів, пунктів.

Транспортний вузол — комплекс транспортних споруд у пункті, де сходяться, перетинаються або розгалужуються не менше двох видів магістрального транспорту, які у взаємодії обслуговують транзитні та місцеві перевезення вантажів і пасажирів. Залежно від видів транспорту, що стикаються, транспортні вузли поділяють на залізнично-автодорожні (Львів, Харків), залізнично-водно-автодорожні (Одеса, Київ, Миколаїв, Херсон) і водно-автодорожні (Ялта, Алушта, Канів). У кожному з цих вузлів може бути ще й повітряний та трубопровідний транспорт.

В Україні розвинені шляхи сполучення на всіх видах транспорту. Стан шляхів сполучення України за 2013-2018 р.р. наведений в табл. 2 [5].

Таблиця 2 – Шляхи сполучення, км
Table 2 – Pathways, km

Роки	Експлуатаційна довжина залізничних колій загального користування	у тому числі електрифікованих	Експлуатаційна довжина річкових судноплавних шляхів загального користування	Довжина автомобільних доріг загального користування	у тому числі із твердим покриттям	Експлуатаційна довжина тролейбусних ліній загального користування (в однопутному обчисленні)	Експлуатаційна довжина трамвайних колій загального користування (в однокільному обчисленні)	Експлуатаційна довжина метрополітенних колій загального користування (у двоколіїному обчисленні)
2013	21684,2	9853,7	2184,7	169496,2	165843,6	4437,1	1980,5	108,4
2014	21644,4	10067,2	2144,7	169636,8	166024,6	4435,5	1955,0	109,9
2015	21619,4	10242,2	2125,7	169693,9	166095,1	4398,6	1939,5	110,8
2016	21604,9	10237,5	2120,7	169648,5	166084,9	4379,0	1914,6	112,3
2017	20948,1	9975,5	1613,1	163027,6	159463,2	3567,9	1803,0	112,3
2018	20954,2	9974,5	1562,6	163024,2	159447,1	3350,8	1584,1	112,3

В Україні виділяється кілька великих транспортних вузлів. Економічні ознаки їх — характер продуктивних сил і чисельність населення районів обслуговування. З цими характеристиками пов'язані обсяги роботи галузі, залежно від чого транспортні вузли поділяють на малі, середні та великі з активним (як правило, вузли-центри добувної промисловості, де переважає відправлення) та пасивним (вузли-центри обробної промисловості, де переважає прибуття) транспортним балансом.

Транспортні вузли виділяють також за територіально-функціональним призначенням (розвитком міжсистемних соціально-економічних зв'язків) і характером експлуатаційної роботи: ті, які обслуговують переважно транзитні пасажирські та вантажні потоки, в тому числі перевалочні; ті, які, крім того, обслуговують місцеві промислові підприємства і потреби населення міста; місцеві, які не виконують транзитних операцій. Найважливішими транспортними вузлами України є Київ, Харків, Одеса, Дніпро, Львів. Найбільші залізничні вузли України — Київ, Харків, Лозова, Фастів, Жмеринка, Шепетівка, Синельникове, Дніпро, Запоріжжя, Полтава, Бахмач, Коростень, Козятин, Львів. У південному напрямку залізниці пролягають до портів Азовського і Чорного морів, а також на Кавказ через Ростов-на-Дону; до Поволжя на схід проведена магістраль Куп'янськ — Лиски. Україна сполучена з Молдовою залізницями Роздільна — Тирасполь — Бендери — Кишинів та Кам'янець-Подільський — Бельци — Рибниця. Значно розширилася мережа приміського залізничного сполучення.

До сфери Укрзалізниці входять залізниці, а також інші підприємства та організації єдиного виробничо-технологічного комплексу, що забезпечують перевезення вантажів і пасажирів. Експлуатаційна протяжність головних колій 19 790 км, електрифікованих колій — 9926 км (47,4 %), ширина колії — 1520 мм. У 2018 р. залізницями перевезено 322,3 млн. т вантажів і 157,6 млн. пасажирів. За обсягами вантажних перевезень українська залізниця займає четверте місце на Євразійському континенті, поступаючись лише залізницям Китаю, Росії та Індії. Однак, потреби в перевезеннях задовольняються неповністю і з низькою якістю. Залізничний транспорт працює на межі можливостей, оскільки не створені достатні резерви пропускних, провізних і переробних потужностей, а виробнича база фізично й морально застаріла. Залізниці насамперед не спроможні повністю задовольнити потреби в пасажирських перевезеннях через відсутність поставок нових пасажирських вагонів, які імпортувалися з ближнього та далекого зарубіжжя.

Україна має сприятливі передумови для розвитку морського транспорту; на півдні її територію омивають води Чорного та Азовського морів, які практично не замерзають і з'єднуються з Середземним морем через протоку Босфор, Мармурове море і протоку Дарданелли. Загальна довжина морської берегової лінії України понад 2000 км. Діє одна з найбільших у світі поромна переправа між Іллічівськом і болгарським портом Варна протяжністю 435 км. Для поліпшення зв'язків України з Північним Кавказом споруджено залізнично-поромну переправу через Керченську протоку.

Основа морського транспорту України становлять Чорноморське (ЧМП), Азовське (АМП) та Українсько-Дунайське (УДП) пароплавства, що володіють транспортним флотом сумарною вантажністю 5,2 млн. т і пасажирським флотом на 9,9 тис. місць. На території України розташовані 13 континентальних морських портів (рис.1) пропускною здатністю 262 млн. тонн на рік, на яких працює 25 тис. працівників. Найважливішими морськими портами є Одеса, Ізмаїл, Іллічівськ, Херсон, Миколаїв та ін. Великі портові міста на берегах Азовського моря — Маріуполь, Бердянськ тощо. Через порти Чорного й Азовського морів здійснюються зовнішньоекономічні зв'язки країни.

Основними експортними вантажами є кам'яне вугілля, залізна руда, кокс, чорні метали, ліс, цукор, хімічні продукти тощо; імпортними — машини, устаткування, мінерально-сировинні ресурси та ін.



Рисунок 1 – Морські порти України
Figure 1 – Seaports of Ukraine

В Україні, як і в усьому світі, нині зростає попит на перевезення внутрішнім водним транспортом. Внутрішні водні шляхи України: 3 судноплавні річки, дві з яких входять до ТОП-5 найбільших річок Європи; 16 річкових портів та терміналів пропускною здатністю 60 млн. тонн на рік. Загальна довжина судноплавних річок України, які використовуються як водні шляхи, становить 2 241 км, з яких Дніпро є найважливішою водотранспортною магістраллю. Найдовша внутрішня водна артерія — Дніпро (1200 км). Басейн Дніпра займає близько 65 відсотків річкового простору України (рис.2) [6].

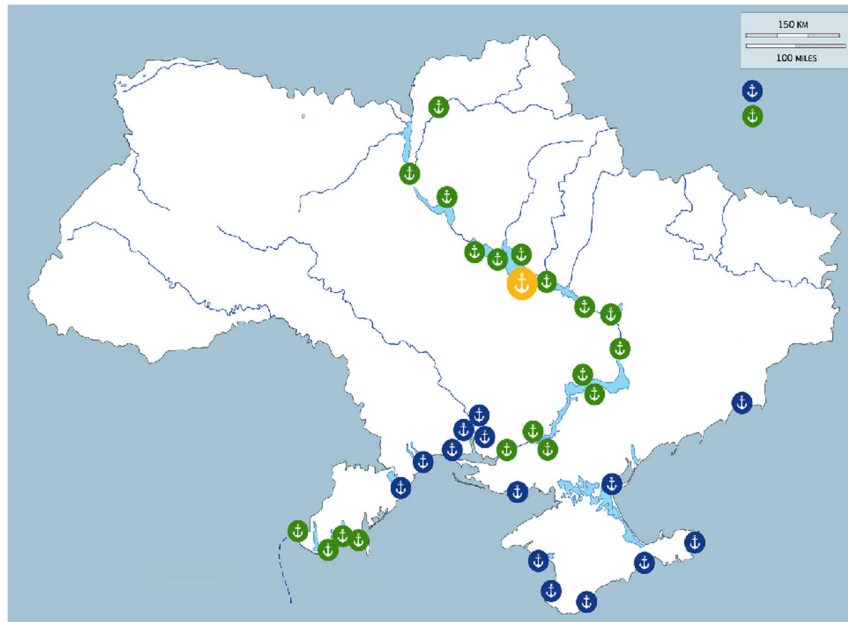


Рисунок 2 – Внутрішні водні шляхи України
Figure 2 – Inland waterways of Ukraine

Для розвитку річкового транспорту необхідно застосувати великовантажні судна у внутрішніх перевезеннях масових вантажів; збільшити частку вантажів у пакетованому вигляді, контейнерах; розширити перевезення в ліхтеровозах; розвивати перевезення експортно-імпорتنних вантажів у судах типу річка — море; пом'якшити чинники сезонної нерівномірності перевезень за рахунок продовження експлуатаційного періоду та організації цілорічної навігації на окремих ділянках; вивести з експлуатації фізично й морально застарілі судна та поповнити флот суднами нових типів; розширити обсяги перевезень буксирного флоту вантажопідйомністю 3900 т і більше; оснастити

порти високопродуктивними перевантажувальними комплексами для навальних вантажів, а також засобами малої механізації, що дасть змогу скоротити простої суден, вагонів та автомобілів для обробки, розвинути відомчі причали, оснастити їх сучасною перевантажувальною технікою.

Автомобільний транспорт в Україні особливо зручний при перевезенні вантажів на короткі відстані, при доставці їх до залізничних станцій, пристаней і портів, в обслуговуванні міського і сільськогосподарського вантажообороту. Переважна сфера використання автотранспорту — перевезення всередині підприємства (технологічні), в межах міста, між населеними пунктами області, міжнародні перевезення. Автомобільно-транспортний комплекс потребує значного поновлення, розвитку, оптимізації структури парку за вантажопідйомністю, типами кузова та двигуна. Річна потреба випуску автомобілів на перспективу становитиме, тис. од.: вантажних — вантажопідйомністю до 2 т — 40; понад 8 т — 40; автобусів великої та особливо великої місткості — 10; легкових автомобілів середнього класу — 6; малолітражних легкових автомобілів — до 200.

Трубопровідний транспорт є найекономічнішим засобом транспортування рідкого палива, пального і технологічного газу, різних хімічних продуктів. Це відносно новий вид транспорту. В Україні він виник у 20-ті роки в Прикарпатті, де вперше було побудовано газопровід Дашава — Стрий — Дрогобич. В Україні діють нафтопроводи і газопроводи.

Повітряний транспорт — наймолодший і найшвидкісний, але поки що дорогий. Поряд з перевезенням вантажів, пошти і пасажирів він використовується для санітарних перевезень, а також для аерофотозйомок, хімічної обробки посівів та боротьби з лісовими пожежами. Найбільші аеропорти — Бориспіль (Київ), Харків, Дніпро, Одеса, Вінниця, Львів, Запоріжжя, Чернівці, Херсон, Миколаїв, Івано-Франківськ. У післявоєнні роки збудовано нові аеровокзали у Харкові, Києві (Борисполі), Львові, Дніпропетровську, Миколаєві, Одесі, Вінниці, Івано-Франківську, Полтаві, Чернігові, Кіровограді, Тернополі.

За 2017 рік 15-ма українськими авіакомпаніями перевезено 3777,0 тис. пасажирів. При цьому, 85 відсотків таких перевезень було здійснено чотирма авіакомпаніями, зокрема «Роза вітрів», «Міжнародні авіалінії України», «Азур Ейр Україна» та «Браво». Комерційні рейси вітчизняних та іноземних авіакомпаній упродовж 2017 року обслуговували 20 українських аеропортів та аеродромів. Перевезення вантажів та пошти виконували 23 вітчизняні авіакомпанії. Лідери перевезень — АТП ДП «Антонов», авіакомпанії «Міжнародні авіалінії України», «ЗетАвіа», «Максімус Ейрлайнс», «Українські вертольоти», «Україна Аероальянс» та «Альфа Ейр». За статистичними даними 2017 р. кількість відправлених та прибулих повітряних суден склала 159,9 тисяч, що на 20 відсотків перевищує показник 2016 року. Пошто-вантажопотоки збільшились на 21,9 відсотка та становили 52,3 тис. тонн [4].

Подальший розвиток усіх видів транспорту України передбачає збільшення загального обсягу перевезення вантажів, пропускної і провізної спроможності залізничних магістралей, будівництво та реконструкцію автомобільних шляхів, під'їзних шляхів з твердим покриттям до сільських населених пунктів, внутрішньогосподарських шляхів з твердим покриттям, спорудження нових та реконструкцію ряду старих залізничних вузлів, станцій, морських та річкових портів, аеропортів, вантажних і пасажирських автопарків, станцій технічного обслуговування, поповнення рухомого складу транспортної системи великовантажними та швидкохідними комфортабельними суднами, літаками та автомобілями, розвиток усіх видів транспорту.

Сухопутні види транспорту в різних країнах і регіонах світу мають свої особливості, пов'язані з розмірами території, характером розміщення населення, рівнем розвитку економіки, співвідношенням роботи окремих видів транспорту та загальним обсягом його роботи. Залежно від цих особливостей розрізняють кілька типів транспортних систем.

Транспортні системи європейського типу (Західна та Центральна Європа, Японія) мають найгустішу у світі мережу всіх видів транспорту, особливо автошляхів та залізниць. Залізниці на основних напрямках електрифіковані; на швидкісних магістралях пасажирські поїзди розвивають швидкість понад 200 км/год. Обсяги роботи залізничного, автомобільного, водного (річкового та каботажного морського) транспорту пропорційні, але у вантажних перевезеннях більше значення має автомобільний транспорт, а в пасажирських — залізничний. Повітряний транспорт забезпечує зовнішні пасажирські перевезення.

Транспортна система азіатського типу (всі країни Азії крім Японії та "далекосхідних тигрів"). Основну транспортну роботу тут виконують залізниці, однак, на Близькому Сході дедалі більшого значення набуває автомобільний транспорт, а в приморських районах, особливо в Південно-Східній Азії, зберігає значення каботажне судноплавство. Найгустіша мережа транспортних шляхів і найбільші розміри перевезень характерні для східних районів Китаю, Індії, Пакистану, Туреччини.

Транспортна система Латинської Америки в різних її частинах неоднаково розвинута. Сталі мережі комунікацій мають тільки Бразилія, Мексика, Аргентина, Чилі, острови Вест-Індії. Переважають дороги, що сполучають глибинні райони плантаційних господарств або місця видобутку корисних копалин з портами чи столицями. Повноводні річки континенту використовуються в транспортному сполученні недостатньо. Віддалені райони материка все ще важкодоступні.

Транспортна система Африки, як і Латинської Америки, також значно диференційована. Цілком сталі транспортні системи в північній та південній частині континенту, тропічна Африка все ще залишається важкодоступним регіоном. У багатьох містах основою транспортних зв'язків є річки або ґрунтові дороги, залізниць мало або немає зовсім.

Німеччина бере участь у створенні Європейської системи автострад і транс'європейських швидкісних залізниць. Залізниця вважається найбільш екологічно чистим засобом перевезення вантажів великих обсягів. Основу транспортної системи складають залізниці, що перевозять на рік близько 2 млрд пасажирів. Їхня довжина – понад 39 тис. км. Головними залізничними вузлами в країні є Гамбург, Кельн, Берлін, Франкфурт-на-Майні, Лейпциг, Мюнхен. Автодороги всіх класів складають понад 230 тис. км, автобани – близько 12 тис. км. Німеччина має найбільшу мережу автомагістралей у світі. Морський флот Німеччини за загальним тоннажем знаходиться в світі в третій десятці, але за тоннажем контейнеровозних суден поступається тільки США, Панамі та Тайваню. У Німеччині добре розвинутий трубопровідний транспорт. Близько 3540 км трубопроводів транспортують сиру нафту, 25293 км – природний газ.

Густою мережою сучасних шосе та залізниць пов'язуються міста Північної Італії. Для сполучень з рештою Європи важливе значення мають узбережжя Рив'єри, тунелі під Монбланом та перевалом Фрежюсом, перевали і тунелі Сен-Бернар, Сімплон, Сен-Готард і Бреннер. Найдовшим є Сімплонський залізничний тунель — 19,8 км. Порогні переправи з'єднують півострів з островами Сицилія і Сардинія та з Грецією. Існує проект будівництва моста або тунелю через Мессінську протоку. Суперавтостради Італії (вони тут почали будуватися вперше і звідси їх назва) відповідають кращим міжнародним стандартам. Використовуються 25 млн легкових і 2 млн вантажних автомобілів. Більше половини автодоріг приходить на Північну Італію. Сучасними швидкісними автомагістралями є Рим-Флоренція, Рим-Неаполь, Турин-Новара, Падуя-Венеція, Мілан-Тревiglio і Мілан-Болонья. Загальна довжина автошляхів 669 тис.км, з них 6,5 тис.км., припадає на автостради. Наразі функціонує 16,3 тис.км залізниць. Італія має великий морський флот, а її авіакомпанія «Аліталія» — серед найбільших у світі. Головними морськими портами (всього 144 порти) є Генуя, Трієст і Венеція. Генуя служить морськими воротами для всього північного заходу Італії, а також для Швейцарії. Головний суперник Генуї на Адріатиці – Трієст, другий в Італії за вантажообігом та один із найважливіших нафтових портів Європи. Через Трієст Італія зв'язується з іншими країнами Середземномор'я, Близьким та Середнім Сходом, Східною Африкою та Східною Азією. Значно збільшився вантажообіг портів Південної Італії (Аугусти і Таранто), що пояснюється розвитком нафтопереробної та нафтохімічної промисловості. Одним із найкрупніших пасажирських портів країни – Неаполь, який є центром зв'язків Апеннінського півострова з Сицилією, Сардинією та іншими островами.

Залізниці у Польщі перевищують автошляхи за протяжністю (30 тис. км) та можливостями вантажоперевезень. Довжина автошляхів – 150 тис. км. Річкові перевезення здійснюються річками Одра, Вісла та каналами. Найосвоєнішим є напрям Верхньосілезький район – Балтика. Вісла й Одра пов'язані каналами між собою, а також з Ельбою на заході та Дніпром на сході. Значення Одри як транспортної артерії набагато більше, ніж Вісли. Морські порти – Щецин, Гданськ, Гдиня, Свиноуйсьце. Польща має великі морські торговий і рибальський флоти. Велике значення морського транспорту для Польщі пояснюється її роллю у міжнародному поділі праці. Морськими воротами країни є порти Гданськ, Гдиня, Щецин, Свиноуйсьце. Головні порти – Гданськ і Щецин – гирлового типу, здатні приймати судна дедвейтом до 100 тис. тонн. Пізніше збудовані Гдиня і Свиноуйсьце приймають й більші кораблі. Трубопровідні магістралі мають східно-західний напрям, внаслідок орієнтації на транзит російської нафти до Західної Європи. Нині будується мережа трубопроводів меридіонального напрямку для закупівлі північноєвропейської та близькосхідної нафти [7].

Основний контрейлерний маршрут Європи – Бреннерський (трансальпійський) шлях, кожену добу пропускає 15 пар поїздів. Також, у перспективі, основним маршрутом для контрейлерних перевезень має стати швидкісне сполучення Ліон – Турин. Особливо активно контрейлерні перевезення розвинені в Німеччині – до 150 тис. відправок контрейлерів в рік. Не менш 50 тис. відправлень здійснюється в Австрії, Франції, Швейцарії. Дуже активно «ролінг шосе»

впроваджують на території Словенії, Чехії та Угорщини. У східних країнах Європейського союзу і тих державах, які відносно недавно долучилися до Єдиного європейського простору обсяги контрейлерних перевезень значно нижчі. Наприклад, Польща, в якій на контрейлерні перевезення припадає 2%, тоді як в країнах ЄС – 15 – 20% [8].

Вагон трансфер (car shuttle train) застосовується для перевезення автотранспортних засобів на відносно короткій відстані. Такі поїзди курсують через залізничні тунелі що з'єднують два місця, які є важкодоступними автошляхами. Зокрема, між Францією і Великобританією супроводжувани транспортні засоби перевозяться в закритих та напіввідкритих залізничних трансфер вагонах через Ла-Манш між Сангатт (Па-де-Кале, Франція) та Черрітон (Кент, Великобританія). Вагони, які використовуються для трансферу вантажних автотранспортних засобів мають більший габарит, ніж будь-які інші вагони британської або французької залізниці, з цієї причини вони не можуть виїжджати за межі тунелю цих терміналів. Кожен термінал оснащений залізничною петлею. Петлю на Фолкестоун поїзд проходить за годинниковою стрілкою, в той час як петля на Кокуалес є проти годинникової стрілки. Це вирівнює знос коліс трансфер вагонів та локомотивів. Цей механізм є однією з форм роллінг шосе, але працює на набагато меншу відстань, ніж більшість роллінг шосе у світі. Вагони трансфер також широко застосовуються в Німеччині, Австрії, Словенії, Швейцарії та Великобританії (рис.3) [9].



Рисунок 3 – а) «Роллінг шосе»; б) Вагон трансфер; в) термінали системи Modalohr
Figure 3 – a) Rolling Highway; b) Wagon transfer; c) Modalohr system terminals

Висновки.

При аналізі вітчизняного і закордонного досвіду роботи транспортних вузлів виявлено, що транспортні вузли є плацдармами організаційної, технічної і технологічної взаємодії різних видів транспорту, здійснення мультимодальних перевезень на логістичних принципах. Пропускна спроможність транспортних вузлів України знаходиться на критичній межі. В сучасних умовах потужності роботи транспортних вузлів є недостатніми для того, щоб обсяги вантажопотоків, в т.ч. і транзитних зростали. З метою ліквідації «вузьких місць» у мультимодальних транспортних вузлах України необхідно провести покращення техніко-експлуатаційних можливостей об'єктів інфраструктури, їх технічне переоснащення та модернізацію.

Перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

Дослідження мультимодальних транспортних вузлів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. О कोरोков А.М. Удосконалення управління транспортними вантажними комплексами в транспортних вузлах : автореф. дис. канд. техн. наук : спец. 05.22.01 «Транспортні системи» / А.М. О कोरोков.– Дніпропетровськ, 2013. – 21 с.
2. Мурад'ян А.О. Методичні основи узгодженого управління процесом перевалки вантажів у загальнотранспортних вузлах : дис. канд. техн. наук : спец. 05.22.01 «Транспортні системи» / А.О. Мурад'ян. – Одеса, 2013. – 166 с.
3. Літвінова Я.В. Удосконалення логістичного управління різними видами транспорту, складування та переробкою вантажів у транспортних вузлах : автореф. дис. канд. техн. наук : спец. 05.22.01 «Транспортні системи» / Я.В. Літвінова. – Харків, 2017. – 24 с.
4. Стан галузей різних видів транспорту України (2018) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mtu.gov.ua/content/struktura-ministerstva.html>
5. Транспорт. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>
6. Транспортна система України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.transportna-sistema-ukrajini>.

7. Транспортна система світу. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://geografiamozil2.jimdo.com/>
8. Бимодальные перевозки грузов. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://railway.trans-atlas.net/rus/bimodal_transportation/
9. Ширяєва С.В., Конрад Т.І. Аналіз закордонного досвіду організації автомобільно-залізничних перевезень вантажів. / Світлана Володимирівна Ширяєва, Тетяна Ігорівна Конрад // Управління проектами, системний аналіз і логістика. – К.: НТУ – 2012. – Вип. 10. – С. 292-297.

REFERENCES

1. Okorokov A.M. *Udoskonalennya upravlinnya transportnimi vantazhnimi kompleksami v transportnih vuzlah*. Avtoreferat Diss. [The management of the transport by the vantage complexes in the transport institutes]. Dnipropetrovsk, 2013. 21 p. [in Ukrainian].
2. Murad'yan, A.O. *Metodichni osnovi uzgodzhenogo upravlinnya procesom perevalki vantazhiv u zagalnotransportnih vuzlah*. Cand, Diss. [Methodological foundations of the management of the handling of vantage at the transport and higher education institutions]. Odessa, 2013. 166 p. [in Ukrainian].
3. Litvinova, Ya.V. *Udoskonalennya logistichnogo upravlinnya riznimi vidami transportu, skladuvannyam ta pererobkoyu vantazhiv u transportnih vuzlah*. [Logistic management of various types of transport, storage and reprocessing of transport facilities]. Kharkiv, 2017. 24 p. [in Ukrainian].
4. The camp is a gallery of retired views of the transport of Ukraine [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.mtu.gov.ua/content/struktura-ministerstva.html> [in Ukrainian].
5. Transportation. (2018) [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.ukrstat.gov.ua/> [in Ukrainian].
6. Transport system of Ukraine. (2018) [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.transportna-sistema-ukrajini/> [in Ukrainian].
7. Transport system of the world. (2018) [Electronic resource]. – Access mode: <https://geografiamozil2.jimdo.com/>
8. Bimodal transportation of goods. (2012) [Electronic resource]. – Access mode: http://railway.trans-atlas.net/eng/bimodal_transportation/ [in Russian].
9. Shyriaieva, S.V., Konrad, T.I. (2012) Analiz zakordonnogo dosvidu organizaciyi avtomobilno-zaliznichnih perevezen vantazhiv [Analysis of foreign experience in the organization of automobile and railway transportation of cargoes] Kyiv : Project Management, Systems Analysis and Logistics [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Захарченко М.М. Аналіз вітчизняного і закордонного досвіду роботи транспортних вузлів / М.М. Захарченко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

У статті розглянуто особливості вітчизняного і закордонного досвіду роботи транспортних вузлів.

Об'єкт дослідження – процес роботи транспортних вузлів в мультимодальних перевезеннях вантажів.

Мета роботи – при аналізі вітчизняного і закордонного досвіду роботи транспортних вузлів виявити шляхи удосконалення мультимодальних транспортних вузлів.

Метод дослідження – аналітичний.

Найважливішою структурною ланкою мультимодальних транспортних систем є мультимодальні транспортні вузли. Під терміном мультимодальний транспортний вузол (МТВ) розуміють географічний пункт стикування і взаємодії декількох видів транспорту, через який здійснюється мультимодальне перевезення. Такий вузол може об'єднувати в собі залізничні станції, які зв'язують між собою їх рейкові шляхи, морські та річкові порти, аеропорти, вокзали, автомобільні дороги, кінцеві та проміжні об'єкти магістральних трубопроводів, муніципальні транспортні мережі. В інфраструктуру МТВ входять складські комплекси та вантажні термінали з центрами управління і розподілу вантажопотоків, об'єкти митного оформлення вантажів, транспортного страхування, організації, що представляють транспортно-експедиторські та банківські послуги.

При аналізі вітчизняного і закордонного досвіду роботи транспортних вузлів виявлено, що транспортні вузли є плацдармами організаційно-технічної і технологічної взаємодії різних видів транспорту, здійснення мультимодальних перевезень на логістичних принципах. Пропускна спроможність транспортних вузлів України знаходиться на критичній межі. В сучасних умовах потужності роботи транспортних вузлів є недостатніми для того, щоб обсяги вантажопотоків, в т.ч. і транзитних зростали. З метою ліквідації «вузьких місць» у транспортних вузлах України необхідно провести покращення техніко-експлуатаційних можливостей об'єктів інфраструктури, їх технічне переоснащення та модернізацію.

Результати роботи можуть бути застосовані для розробки заходів щодо удосконалення мультимодальних транспортних вузлів.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – пошук шляхів удосконалення мультимодальних транспортних вузлів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МУЛЬТИМОДАЛЬНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, МУЛЬТИМОДАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ ВУЗЛИ, ШЛЯХИ СПОЛУЧЕННЯ.

ABSTRACT

Zakharchenko M.M. Analysis of domestic and foreign experience in transport hubs. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article deals with the peculiarities of domestic and foreign experience hubs.

The object of study – the process of multimodal transport hubs in traffic.

The purpose of the work – in analyzing the domestic and foreign experience of transport nodes to identify ways to improve multimodal transport nodes.

The research method is analytical.

The most important structural unit of multimodal transport systems are multimodal transport nodes. By the term multimodal transport hub (MTH) understand the geographical point of docking and interaction of several types of transport, through which multimodal transportation is carried out. Such a hub may combine the railway stations connecting their railways, sea and river ports, airports, stations, highways, terminal and intermediate objects of main pipelines, and municipal transport networks. The infrastructure of the MTH includes warehouses and cargo terminals with traffic control and distribution centers, customs clearance facilities, transport insurance, organizations representing freight forwarding and banking services.

In the analysis of domestic and foreign experience of transport hub, it was discovered that transport nodes are the bridgeheads of organizational-technical and technological interaction of different types of transport, implementation of multimodal transportations on logistic principles. The capacity of transport hubs in Ukraine is at a critical point. In modern conditions, the power of transport hubs is not sufficient for the volume of freight traffic, including and transit grew. In order to eliminate "bottlenecks" in transport hubs of Ukraine, it is necessary to improve the technical and operational capabilities of the infrastructure objects, their technical re-equipment and modernization.

The results of the work can be applied to develop measures for the improvement of multimodal transport hubs.

Foreseeable assumptions about the development of the research object – the search for ways to improve multimodal transport hubs.

KEY WORDS: MULTIMODAL TRANSPORTATION, MULTIMODAL TRANSPORT HUBS, WAYS OF CONNECTION.

РЕФЕРАТ

Захарченко М.М. Анализ отечественного и зарубежного опыта работы транспортных узлов / М.М. Захарченко // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье рассмотрены особенности отечественного и зарубежного опыта работы транспортных узлов.

Объект исследования – процесс работы транспортных узлов в мультимодальных перевозках грузов.

Цель работы – при анализе отечественного и зарубежного опыта работы транспортных узлов выявить пути совершенствования мультимодальных транспортных узлов.

Метод исследования – аналитический.

Важнейшим структурным звеном мультимодальных транспортных систем являются мультимодальные транспортные узлы. Под термином мультимодальный транспортный узел (МТУ) понимают географический пункт стыковки и взаимодействия нескольких видов транспорта, через который осуществляется мультимодальная перевозка. Такой узел может объединять в себе железнодорожные станции, связывающие между собой их рельсовые пути, морские и речные порты, аэропорты, вокзалы, автомобильные дороги, конечные и промежуточные объекты магистральных трубопроводов, муниципальные транспортные сети. В инфраструктуру МТУ входят складские комплексы и грузовые терминалы с центрами управления и распределения грузопотоков, объекты таможенного оформления грузов, транспортного страхования, организации, представляющие транспортно-экспедиторские и банковские услуги.

При анализе отечественного и зарубежного опыта работы транспортных узлов выявлено, что транспортные узлы являются плацдармами организационно-технического и технологического взаимодействия различных видов транспорта, осуществления мультимодальных перевозок на логистических принципах. Пропускная способность транспортных узлов Украины находится на критической грани. В современных условиях мощности работы транспортных узлов недостаточны для того, чтобы объемы грузопотоков, в т.ч. и транзитных увеличивались. С целью ликвидации «узких мест» в транспортных узлах Украины необходимо провести улучшение технико-эксплуатационных возможностей объектов инфраструктуры, их техническое переоснащение и модернизацию.

Результаты работы могут быть использованы для разработки мероприятий по совершенствованию мультимодальных транспортных узлов.

Прогнозные предположения по развитию объекта исследования – поиск путей совершенствования мультимодальных транспортных узлов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ, МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ УЗЛЫ, ПУТИ СООБЩЕНИЯ.

АВТОР:

Захарченко Марія Михайлівна, Національний транспортний університет, аспірантка кафедри транспортних технологій, e-mail: mashka290394@gmail.com, тел. +380966741356, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к. 432, orcid.org/0000-0001-8807-46692.

AUTHOR:

Zakharchenko Maria M., National Transport University, postgraduate, department of transport technologies, e-mail: mashka290394@gmail.com, tel. +380966741356, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovich-Pavlenko, str. 1, of 432, orcid.org/0000-0001-8807-4669.

АВТОР:

Захарченко Мария Михайловна., Национальный транспортный университет, аспирантка кафедры транспортных технологий, e-mail: mashka290394@gmail.com, тел. + 380966741356, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 432, orcid.org/0000-0001-8807-4669.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мельниченко О.І., кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, Київ, Україна.

Савченко Л.В., кандидат технічних наук, доцент, Національний авіаційний університет, доцент кафедри логістики, Київ, Україна.

REVIEWER:

Melnichenko O.I., Ph.D., Professor, National Transport University, Head of Department of Production, Repair and Materials Science, Kyiv, Ukraine.

Savchenko L.V., Ph.D., Associate Professor, National Aviation University, Associate Professor Department of Logistics, Kyiv, Ukraine.

АНАЛІЗ РІВНЯ ПІДГОТОВКИ З ЗАГАЛЬНООСВІТНЬОГО КУРСУ ФІЗИКИ СТУДЕНТІВ ПЕРШОГО КУРСУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВХІДНОГО КОНТРОЛЮ

Ищенко Р.М., кандидат фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, rm_ischenko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0158-4020

Исаєнко Г.Л., кандидат фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, gl_isayenko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0479-9596

ANALYSIS OF THE TRAINING LEVEL FROM THE GENERAL COURSE OF PHYSICS OF THE FIRST COURSE STUDENTS BY ENTRANCE CONTROL RESULTS

Ishchenko R.M., Ph. D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, rm_ischenko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0158-4020

Isaienko G.L., Ph. D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, gl_isayenko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0479-9596

АНАЛИЗ УРОВНЯ ПОДГОТОВКИ ПО ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОМУ КУРСУ ФИЗИКИ СТУДЕНТОВ ПЕРВОГО КУРСА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ

Ищенко Р.Н., кандидат физико-математических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, rm_ischenko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0158-4020

Исаенко Г.Л., кандидат физико-математических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, gl_isayenko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0479-9596

Постановка проблеми та аналіз літературних джерел.

Основу професіоналізму майбутніх інженерів складають фундаментальні наукові знання. Курс загальної фізики, у свою чергу, становить фундаментальне підґрунтя вищої технічної освіти [1]. Предметні компетентності, тобто комплекс знань, умінь, навичок [2, с. 165], що набуті студентами під час вивчення фізики вкрай необхідні для подальшого опанування загальнотехнічних навчальних дисциплін, таких як: теоретична механіка, опір матеріалів, матеріалознавство, гідравліка, теплотехніка, електротехніка, мікроелектроніка та ін. [3, 4]. Однак, як показують численні педагогічні дослідження та багаторічний досвід роботи, знання студентів першого курсу з загальноосвітнього курсу фізики виявляються слабкими і несистематизованими. Тому перед тим, як починати читати студентам-першокурсникам загальний курс фізики рівня технічного університету, питання «що вчити» і «як вчити» є достатньо актуальними. Надати відповідь на вказані питання можуть результати вхідного контролю з фізики. Вхідний контроль є однією з форм здійснення наступності між середньою і вищою школами в процесі неперервної освіти, який дозволяє оцінити реальний рівень залишкових знань студентів з курсу фізики загальноосвітньої школи на момент початку навчання у закладі вищої освіти (ЗВО). Аналіз результатів вхідного контролю дозволяє розробити алгоритми дій щодо подолання труднощів, які виникають у студентів при вивченні фізики в технічному університеті.

Використання тестових методик під час проведення вхідного контролю знань, умінь та навичок студентів з загальноосвітнього курсу фізики було представлено в роботах Аванесова В.С., Атаманчука П.С., Богатирьова О.І., Кулик Л.О., Кулішенка В.М., Матвійчука О.В., Пастушенка С.М., Подласова С.О., Сергієнка В.П., Ткаченко А.В. та багатьох інших вчених. У багаточисленних наукових статтях та дисертаційних роботах представлені ті чи інші системи тестових завдань до вхідного контролю з фізики. Як правило, типовий тест до вхідного контролю складався з 10-25 питань, до яких наводилося 3-4 варіанти відповідей, одна з яких була правильною. Однак робіт, в яких були б представлені завдання на самостійне відтворення відомих законів і співвідношень з метою розв'язання фізичних задач студентами-першокурсниками, що навчаються за технічними спеціальностями у літературі не знайдено.

Мета роботи.

Зважаючи на вище зазначене, мета даної роботи полягала в аналізі рівня загальноосвітньої підготовки з фізики студентів першого курсу, що навчаються за технічними спеціальностями за

допомогою вхідного контролю, завдання якого являли собою задачі з вказаної навчальної дисципліни.

Основна частина.

Вхідний контроль з фізики – це контроль знань, умінь та навичок студентів із загальноосвітнього курсу фізики, що проводиться на початку семестру, в якому читається відповідна початкова дисципліна [5, с. 179]. Для забезпечення доступності завдань вхідного контролю було проаналізовано освітні програми 10-11 класів, за якими вивчають фізику у загальноосвітніх навчальних закладах. Як виявилось, випускники вище згаданих навчальних закладів, що вступали до ЗВО у 2018 році, навчалися за різними освітніми програмами, які передбачали вивчення фізики за різними рівнями підготовки: на рівні стандарту, на академічному рівні та на рівні профільного навчання. На рівні стандарту курс фізики обмежується обов'язковими результатами навчання, тобто мінімально необхідною сумою знань та умінь, які мають, головним чином, світоглядне спрямування. За цією програмою навчаються, як правило, учні, що в подальшому планують здобувати гуманітарну, юридичну чи економічну вищу освіту. На академічному рівні закладаються базові знання з фізики, достатні для продовження навчання у ЗВО, в яких фізика є базовою дисципліною або такою, що тісно пов'язана з профільними предметами. Зокрема, такими ЗВО можуть бути технічні, педагогічні, медичні або аграрні університети. На рівні профільного навчання в учнів формуються фундаментальні знання з фізики, оскільки з їх удосконаленням учні здебільшого пов'язують своє майбутнє в професійному зростанні. Основними профілями навчання, де фізика вивчається на вказаному рівні, є фізичний, фізико-математичний та фізико-технічний. Необхідно відзначити, що освітні програми академічного і профільного рівнів вивчення фізики у загальноосвітніх навчальних закладах мають подібну структуру курсу фізики, а відрізняються, головним чином, глибиною вивчення вказаної навчальної дисципліни, відповідно і кількістю годин, що виділяються на її вивчення. У той же час, структура курсу фізики, що передбачена програмою рівня стандарту відрізняється від структури курсу фізики програм академічного та профільного рівнів [6].

Отже, враховуючи вище зазначене, завдання до вхідного контролю були підібрані таким чином, щоб рівень їх складності не виходив за рамки освітньої програми з фізики рівня стандарту. Тобто завдання, що пропонувалися, були доступними для усіх студентів, не залежно від того, за яким рівнем підготовки вони вивчали фізику у загальноосвітніх навчальних закладах. Для забезпечення достовірності результатів вхідного контролю, студентам було заборонено користуватися допоміжними засобами (мобільними телефонами, підручниками і т.п.) та спілкуватися один з одним. Числові дані в завданнях були підібрані таким чином, щоб студенти могли виконувати обчислення без використання калькулятора. Отже, до вхідного контролю було підібрано 12 задач з 6 розділів фізики: механіки, молекулярної фізики і термодинаміки, електрики, магнетизму, коливань і хвиль, оптики (по 2 задачі з кожного розділу). Час, що виділявся на розв'язання кожної задачі не повинен був перевищувати 3 хв. Отже, за таких умов вхідний контроль тривав не більше 40 хв. Завдання одного з варіантів до вхідного контролю з фізики наведені нижче.

1. Як зміниться кінетична енергія поступального руху тіла, якщо швидкість тіла збільшиться у 2 рази ?
2. Під дією постійної сили $F = 6$ Н швидкість руху тіла протягом 2 с збільшилася від 0 до 8 м/с. Визначити масу тіла.
3. Під час ізохорного процесу тиск газу збільшився у 2 рази. Як змінилася температура газу ? Масу газу вважати постійною.
4. Визначити ККД теплового двигуна, що працює за циклом Карно, якщо температура нагрівача у 2 рази більша за температуру охолоджувача.
5. Як зміниться електроємність плоского конденсатора, якщо відстань між обкладками зменшити у 2 рази ?
6. На відстані 10 см від точкового заряду модуль напруженості електричного поля дорівнює E . Чому дорівнює модуль напруженості електричного поля у точці, що знаходиться на відстані 5 см від цього заряду ?
7. Як зміниться магнітна індукція магнітного поля колового струму, якщо сила струму в колі збільшиться у 2 рази ?
8. Провідник довжиною $l = 1$ м, по якому проходить струм силою $I = 1$ А розташований в магнітному полі з індукцією $B = 2$ мТл, перпендикулярно до ліній магнітної індукції. Визначити силу, з якою магнітне поле діє на зазначений провідник зі струмом.
9. Як зміниться період коливань математичного маятника, якщо довжину мотузки збільшити у 4 рази ?

10. Амплітуда коливань тіла на пружині дорівнює 0.5 м. Визначити шлях, який пройшло це тіло за 5 періодів коливань.

11. Як зміниться швидкість поширення світла в середовищі, якщо показник заломлення середовища зменшиться в 2 рази ?

12. Запишіть вказані види електромагнітного випромінювання в порядку зростання довжини хвилі: 1) радіохвилі; 2) інфрачервоне випромінювання; 3) світло (видиме випромінювання).

Максимальна кількість балів, яку могли отримати студенти – 12 балів (кожна вірно розв’язана задача – 1 бал).

Таким чином, вхідний контроль з фізики було проведено на перших практичних заняттях у 2018-2019 навчальному році в 10 академічних групах першого курсу, що навчаються за спеціальностями 015 «Професійна освіта (транспорт)», 101 «Екологія», 121 «Інженерія програмного забезпечення» (2 групи), 122 «Комп’ютерні науки та інформаційні технології» (2 групи), 131 «Прикладна механіка», 193 «Геодезія та землеустрій» (2 групи), 274 «Автомобільний транспорт». Загальна кількість студентів, що прийняла участь у вхідному контролі становила 181 особу.

Результати вхідного контролю з фізики представлено на рис. 1. На вказаному рисунку видно, яка кількість студентів (у відсотках) із загальної кількості розв’язала ту чи іншу задачу з фізики. Як виявилось, студенти більш успішно справилися з задачами 1 і 2 з механіки (55.8% студентів з 181, тобто 101 особа). Найменша кількість студентів розв’язала задачі 7, 8 з магнетизму і 9, 10 з коливань та хвиль (15.5% та 12.2% відповідно). Найгірша ситуація виявилася з задачею 8, яку розв’язали тільки 2 студенти (1.1%). Виявилось, що студенти більш успішно впоралися з першими задачами усіх розділів фізики (задачі 1, 3, 5, 7, 9), ніж з другими (задачі 2, 4, 6, 8, 10), за винятком оптики, де більше студентів справилося з 12 завданням, ніж з 11 (див. рис. 1). Останнє можливо пояснюється тим, що перші задачі до усіх розділів фізики були якісними, в яких для розв’язання достатньо було згадати відповідний закон чи співвідношення, а другі – кількісними, де необхідно було ще й виконати обчислення тієї чи іншої фізичної величини. Як виявилось, з задачами другого типу студенти справилися гірше.

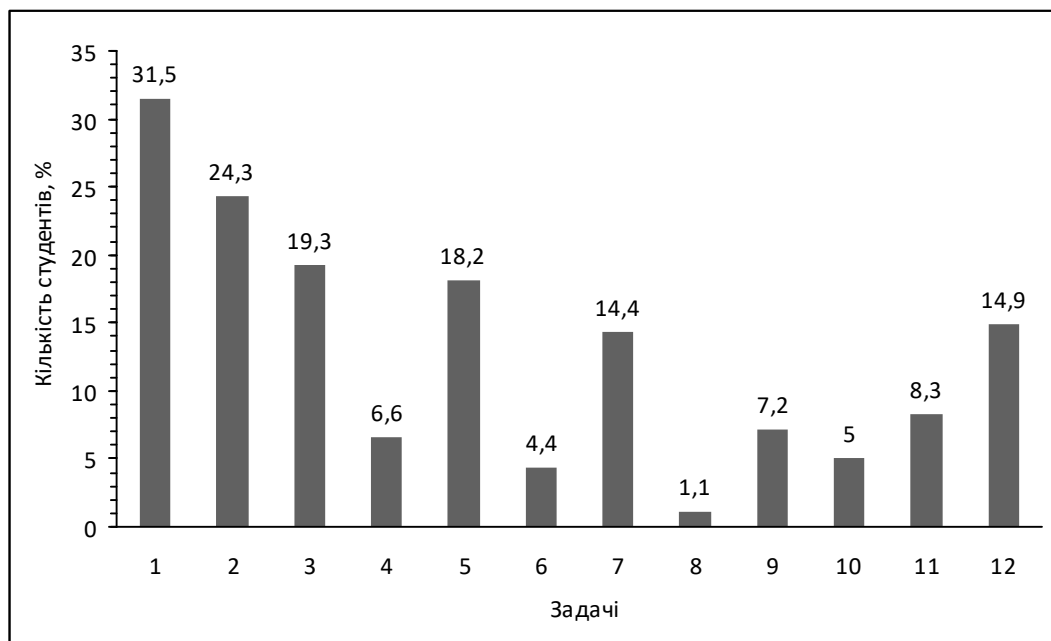


Рисунок 1 – Результати вхідного контролю з фізики
Figure 1 – Results of entrance control from physics

На рис. 2 представлено загальний розподіл балів, які отримали студенти при виконанні завдань вхідного контролю з фізики в 2018-2019 навчальному році. Як видно, майже третина студентів (29.8% з 181, тобто 54 особи) не розв’язали жодної задачі, відповідно отримали оцінку 0. Переважна більшість студентів (60.8%, тобто 110 осіб) отримали оцінки низького рівня (1-3 бали) і лише 9.4% (17 студентів) отримали оцінки середнього рівня (4-6 балів). Більше шести балів не набрав жодний студент. Середній бал за вхідний контроль з фізики, проведений на початку 2018-2019 навчального року дорівнював 1.6 балів.

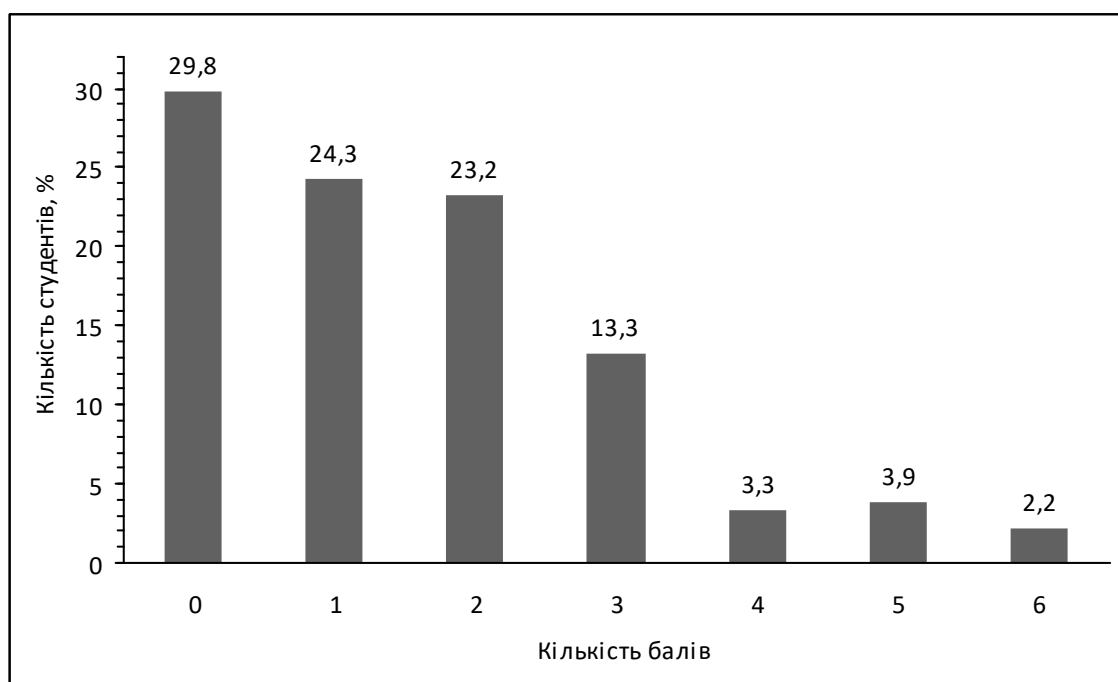


Рисунок 2 – Розподіл балів вхідного контролю з фізики
Figure 2 – Distribution of marks of entrance control from physics

Отже, як видно з результатів вхідного контролю, рівень предметних компетентностей студентів-першокурсників з загальноосвітнього курсу фізики виявився достатньо низьким. Якщо з тестовими завданнями, орієнтованими на розпізнавання та співставлення теоретичного матеріалу, випускники загальноосвітніх навчальних закладів хоч якось справляються, то з завданнями, в яких необхідно самостійно згадати відомі закони і співвідношення з фізики та використати їх для розв'язання навіть простих задач, виникають значні труднощі. Виявилося, що більшість випускників загальноосвітніх навчальних закладів поступово втрачають такі навички, як запам'ятовування теоретичного матеріалу з фізики і подальше його самостійне відтворення без допоміжних засобів (підручників, посібників, конспектів, різних інтернет-ресурсів тощо). Зрозуміло, що в наш час будь-яку інформацію можна легко знайти в інтернеті чи за допомогою різних електронних засобів. Однак, на думку авторів роботи, навички, пов'язані з запам'ятовуванням теоретичних відомостей та подальшим їх самостійним відтворенням з метою практичного використання, зокрема, для розв'язання фізичних задач, є достатньо важливими для студентів.

Результати даної роботи узгоджуються з результатами минулої роботи [7], в якій представлено аналіз рівня підготовки з фізичних основ механіки загальноосвітнього курсу фізики студентів першого курсу засобами вхідного контролю, що проводився 2016-2017 та 2017-2018 навчальних роках. Зокрема, в роботі [7] відзначено, що спостерігається зниження рівня підготовки студентів-першокурсників з фізичних основ механіки курсу фізики середньої школи. Останнє підтверджується тим фактом, що середній бал студентів за вхідний контроль з механіки, проведений у 2017-2018 навчальному році знизився на 37.5% у порівнянні з результатом 2016-2017 навчального року. Про низький рівень предметних компетентностей студентів з загальноосвітнього курсу фізики повідомлялося в роботах інших авторів, опублікованих раніше. Зокрема, в роботі [8, с. 97] автори, виконавши порівняння статистичних даних вхідного тестування з фізики студентів технічних університетів, що проводилося в 2009-2010 та 2010-2011 навчальних роках відзначають, що успішність навчання за один навчальний рік знизилася на 19%, а якість навчання – на 11%. У роботі [9, с. 246] автори відзначають, що близько 60% студентів набирають низькі бали за вхідне тестування з фізики і мають ряд проблем під час навчання в технічному університеті. Автори роботи [10, с. 153] за результатами вхідного тестування відзначають, що у більшості студентів-першокурсників знання з курсу фізики загальноосвітньої школи слабкі та несистематизовані.

Висновки і перспективи.

У даній роботі представлено результати вхідного контролю з загальноосвітнього курсу фізики студентів першого курсу, що навчаються за технічними спеціальностями. Завдання до вхідного контролю склалися з задач, складність яких не виходила за рамки програми з фізики для

загальноосвітніх навчальних закладів рівня стандарту. Аналіз результатів вхідного контролю з фізики показав, що більшість студентів не справилися з пропонованим завданням і, як наслідок, отримали низькі оцінки. Як виявилось, у студентів виникали труднощі як під час самостійного відтворення теоретичного матеріалу з фізики, так і з розв'язанням навіть нескладних фізичних задач. Останнє свідчить про те, що у більшості студентів першого курсу, що навчаються за технічними спеціальностями, рівень предметних компетентностей з курсу фізики загальноосвітньої школи недостатній для успішного опанування вказаної навчальної дисципліни рівня технічного університету.

Наступні роботи планується присвятити розгляду наукових методів, які сприяють підвищенню мотивації студентів технічних університетів до вивчення курсу загальної фізики.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Булавін Л.А. Державні освітні стандарти – основа безперервної фізичної освіти / Л.А. Булавін, П.П. Чолпан, В.М. Яшук // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету ім. Івана Огієнка. Сер.: Педагогічна. – 2004. – № 10. – С. 63–66.
2. Пінчук О.П. Предметна компетентність з фізики у системі спеціальних компетентностей учнів загальноосвітніх навчальних закладів / О.П. Пінчук // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету ім. Івана Огієнка. Сер.: Педагогічна. – 2011. – Вип. 17. – С. 165–167.
3. Фундаментальність освіти та її роль у підготовці інноваційно орієнтованих фахівців / М.Ф. Дмитриченко, Б.І. Хорошун, О.М. Язвінська, Н. М. Глушенюк // Вісник Національного транспортного університету. – 2010. – № 21(1). – С. 3–7.
4. Фундаментальність образования – основа его качества / Г.В. Ерофеева, Н.Д. Толмачева, Ю.И. Тюрин, И.П. Чернов // Репутация и качество. – 2008. – № 11. – С. 68–70.
5. Кулик Л.О. Актуальні привнесения в сучасну технологію контролю знань та умінь студентів з фізики / Л.О. Кулик, А.В. Ткаченко // Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. – 2015. – Т. 3, № 7. – С. 177–182.
6. Навчальні програми для 10-11 класів загальноосвітніх навчальних закладів [Електронний ресурс] // Міністерство освіти і науки України. – 2018. – Режим доступу: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/navchalni-programi/navchalni-programi-dlya-10-11-klasiv/>
7. Іщенко Р.М. Аналіз результатів вхідного контролю знань з фізичних основ механіки студентів технічного університету / Р.М. Іщенко // Фізико-математична освіта. – 2018. – Вип. 1(15). – С. 227–231.
8. Матвійчук О.В. Аналіз чинників, які впливають на навчання студентів з фізики у вищій технічній школі / О.В. Матвійчук, С.О. Подласов, О.М. Бурмістров // Науковий вісник Ужгородського національного університету. Сер.: Педагогіка. Соціальна робота. – 2011. – Вип. 22. – С. 96–99.
9. Подласов С.О. Аналіз структури знань з фізики студентів за результатами вхідного контролю / С.О. Подласов, О.В. Матвійчук // Вісник Чернігівського національного педагогічного університету ім. Т.Г. Шевченка. – 2013. – № 109. – С. 244–248.
10. Пастушенко С.М. Вхідний контроль знань студентів з фізики у вищих навчальних закладах / С.М. Пастушенко, В.М. Кулішенко, Т.С. Лень // Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Педагогіка. Соціальна робота. – 2011. – Вип. 21. – С. 150–154.

REFERENCES

1. Bylavin, L.A., Cholpan, P.P., Yaschyk, V.M. (2004). Derzhavni osvritni standarty – osnova bezperervnoyi fizychnoyi osvity [State educational standards – the basis of continuous physical education]. Zbirnyk naukovykh prats Kam'yanets-Podilskoho natsionalnoho universytetu im. Ivana Ohiyenka. Ser.: Pedagogichna – Collection of scientific works of the Kamyanets-Podilsky National University named after Ivan Ogiienko. Ser.: Pedagogical, 10, 63-66 [in Ukrainian].
2. Pinchuk, O.P. (2011). Predmetna kompetentnist z fizyky u systemi spetsialnykh kompetentnostey uchniv zahalnoosvitnikh navchalnykh zvkladiv [Subject competence in physics in the system of special competencies of students of general educational facilities]. Zbirnyk naukovykh prats Kam'yanets-Podilskoho natsionalnoho universytetu im. Ivana Ohiyenka. Ser.: Pedagogichna – Collection of scientific works of the Kamyanets-Podilsky National University named after Ivan Ogiienko. Ser.: Pedagogical, 17, 165-167 [in Ukrainian].

3. Dmutruchenko, M.F., Horoshyn, B.I., Yazvinska, O.M., Glyshenok, N.M. (2010). Fundamentalnist osvitu ta yiyi rol y pidgotovci inovaciyno orientoivanuh fahivciv [Fundamentality of education and its role in the preparation of innovative-oriented specialists]. *Visnyk Nacionalnogo transportnogo yniuersitetu – Bulletin of the National Transport University*, 21(1), 3-7 [in Ukrainian].
4. Erofeeva, G.V., Tolmachova, N.D., Tyurin, Yu.I., Chernov, I.P. (2008). Fundamentalnost obrazovaniya – osnova yego kachestva [Fundamentality of education is the basis of its quality]. *Reputaciya i kachestvo – Reputation and quality*, 11, 68-70 [in Russian].
5. Kulik, L.O., Tkachenko, A.V. (2015). Aktualni pryvnesennya v suchasnu tekhnolohiyu kontrolyu znan ta umin studentiv z fizyky [Current introduction to the modern technology of controlling knowledge and skills of students in physics]. *Naukovi zapysky. Ser.: Problemy metodyky fizyko-matematichnoyi i tekhnolohichnoyi osvity – Scientific Notes. Ser.: Problems of methodology of physical-mathematical and technological education*, 3(7), 177-182 [in Ukrainian].
6. Navchalni prohramy dlya 10-11 klasiv zahalnoosvitnikh navchalnykh zakladiv [Educational programs for 10-11 classes of general educational institutions]. (2018). Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy – Ministry of education and science of Ukraine. [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupu: <https://mon.gov.ua/ru/osvita/zagalna-serednya-osvita/navchalni-programi/navchalni-programi-dlya-10-11-klasiv> [in Ukrainian].
7. Ishchenko, R.M. (2018). Analiz rezultativ vkhidnoho kontrolyu znan z fizychnykh osnov mekhaniky studentiv tekhnichnoho universytetu [Analysis of results of entrance control of knowledge from physical fundamentals of mechanics of technical university students]. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 1(15), 227-231 [in Ukrainian].
8. Matviychuk, O.V., Podlasov, S.O., Burmistrov, O.M. (2011). Analiz chunnukiv, yaki vpluvayut na navchannya studentiv z fizyky u vushchiiy tehnikniy shkoli [Analysis of the factors influencing the training of students in physics at a higher technical school]. *Naukovuy visnik Ygorodskogo natsionalnoho universitetu. Ser.: Pedagogika. Socialna robota – Scientific bulletin of Uzhgorod national university. Ser.: Pedagogy. Social work*, 22, 96-99 [in Ukrainian].
9. Podlasov, S.O., Matviychuk, O.V. (2013). Analiz strukturu znan z fizyky studentiv za rezultatami vkhidnoho kontrolyu [Analysis of the structure of knowledge on the physics of students by the results of input control]. *Visnik Chernigivskogo nacionalnogo pedagogichnoho universitetu im. T.G. Shevchenka – Bulletin of the Chernigiv National Pedagogical University named after T.G. Shevchenko*, 109, 244-248 [in Ukrainian].
10. Pastushenko, S.M., Kulishenko, V.M., Len, T.S. (2011). Vkhidnyy kontrol znan studentiv z fizyky u vyshchiiy navchalnykh zakladakh [Entrance control of students' knowledge of physics in higher education institutions]. *Naukovuy visnik Ygorodskogo natsionalnoho universitetu. Ser.: Pedagogika. Socialna robota – Scientific bulletin of Uzhgorod national university. Ser.: Pedagogy. Social work*, 21, 150-154 [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Іщенко Р.М. Аналіз рівня підготовки з загальноосвітнього курсу фізики студентів першого курсу за результатами вхідного контролю / Р.М. Іщенко, Г.Л. Ісаєнко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

У статті за результатами вхідного контролю проаналізовано рівень підготовки з загальноосвітнього курсу фізики студентів першого курсу, що навчаються за технічними спеціальностями.

Об'єкт дослідження – рівень підготовки з загальноосвітнього курсу фізики студентів першого курсу, що навчаються за технічними спеціальностями.

Мета роботи – аналіз рівня загальноосвітньої підготовки з фізики студентів першого курсу, що навчаються за технічними спеціальностями за допомогою вхідного контролю, завдання якого являли собою задачі з вказаної навчальної дисципліни.

Метод дослідження – для досягнення мети дослідження використовувалися наступні методи: аналіз, синтез, узагальнення, формулювання висновків.

У роботі представлено результати вхідного контролю знань з фізики студентів першого курсу, які навчаються за технічними спеціальностями, що проводився на початку 2018-2019 навчального року. Завдання до вхідного контролю склалися з задач, складність яких не виходила за рамки програми з фізики для загальноосвітніх навчальних закладів рівня стандарту. Аналіз результатів вхідного контролю виявив достатньо низький рівень загальноосвітньої підготовки з фізики у

більшості студентів. На основі виконаного аналізу результатів вхідного контролю зроблено висновок про те, що наявний рівень загальноосвітньої підготовки з фізики у більшості студентів-першокурсників недостатній для успішного вивчення вказаної навчальної дисципліни рівня технічного університету.

Результати статті можуть бути впроваджені в навчальний процес під час викладання курсу загальної фізики студентам технічних та педагогічних університетів.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – розгляд наукових методів, які сприяють підвищенню мотивації студентів технічних університетів до вивчення курсу загальної фізики.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВХІДНИЙ КОНТРОЛЬ З ФІЗИКИ, ЗАДАЧІ З ФІЗИКИ, РІВЕНЬ ПІДГОТОВКИ СТУДЕНТІВ, ЗАГАЛЬНООСВІТНІЙ КУРС ФІЗИКИ, ТЕХНІЧНІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ.

ABSTRACT

Ishchenko R.M., Isaienko G.L. Analysis of the training level from the general course of physics of the first course students by entrance control results. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

According to the results of the entrance control, the training level from the general course of physics of the first year students studying in technical specialties was analyzed.

The object of the study – the training level of the general course of physics of the first year students, studying in technical specialties.

Purpose of the study – analyze the level of general education in physics of the first year students, studying in technical specialties with the help of entrance control, whose tasks represented the problems of the specified academic discipline.

Method of the study – for the purpose of the study, the following methods were used: analysis, synthesis, generalization, formulation of conclusions.

In this paper, the results of entrance control of knowledge from the physics of the first year students studying in technical specialties that was carried out in the beginning of 2018-2019 academic year are presented. The tasks of the entrance control were the problems, the complexity of which did not go beyond the limits of the program of physics for general-education institutions of the standard level. The analysis of the entrance control results revealed a rather low level of general education from the physics in most students. On the basis of the performed analysis of the entrance control results, it was concluded that the existing level of general education on the physics in most of the first-year students is not sufficient for the successful study of the specified academic discipline of the technical university level.

The results of the article can be introduced into the educational process while teaching the general physics course to students of technical and pedagogical universities.

Forecast assumptions about the object of study – consideration of scientific methods that enhance the motivation of students of technical universities to study the course of general physics.

KEY WORDS: ENTRANCE CONTROL OF PHYSICS, PROBLEMS OF PHYSICS, TRAINING LEVEL OF STUDENTS, GENERAL COURSE OF PHYSICS, TECHNICAL SPECIALTIES.

РЕФЕРАТ

Ищенко Р.Н. Анализ уровня подготовки по общеобразовательному курсу физики студентов первого курса за результатами входного контроля / Р.Н. Ищенко, Г.Л. Исаенко // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье по результатам входного контроля проанализирован уровень подготовки по общеобразовательному курсу физики студентов первого курса, обучающихся по техническим специальностям.

Объект исследования – уровень подготовки по общеобразовательному курсу физики студентов первого курса, обучающихся по техническим специальностям.

Цель работы – анализ уровня общеобразовательной подготовки по физике студентов первого курса, обучающихся по техническим специальностям с помощью входного контроля, задания которого представляли собой задачи по указанной учебной дисциплине.

Метод исследования – для достижения цели исследования использовались следующие методы: анализ, синтез, обобщение, формулирование выводов.

В работе представлены результаты входного контроля знаний по физике студентов первого курса, обучающихся по техническим специальностям, проводившегося в начале 2018-2019 учебного

года. Задания входного контроля состояли из задач, сложность которых не выходила за рамки программы по физике для общеобразовательных учебных заведений уровня стандарта. Анализ результатов входного контроля обнаружил достаточно низкий уровень общеобразовательной подготовки по физике у большинства студентов. На основе выполненного анализа результатов входного контроля сделан вывод о том, что имеющийся уровень общеобразовательной подготовки по физике у большинства студентов-первокурсников недостаточен для успешного изучения указанной учебной дисциплины уровня технического университета.

Результаты статьи могут быть использованы в учебном процессе при преподавании курса общей физики студентам технических и педагогических университетов.

Прогнозные предположения по развитию объекта исследования – рассмотрение научных методов, способствующих повышению мотивации студентов технических университетов к изучению курса общей физики.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ВХОДНИЙ КОНТРОЛЬ ПО ФИЗИКЕ, ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ, УРОВЕНЬ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ, ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ КУРС ФИЗИКИ, ТЕХНИЧЕСКИЕ СПЕЦИАЛЬНОСТИ.

АВТОРИ

Ищенко Руслан Миколайович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: rm_ischenko@ukr.net, тел. +380442846709, +380673187955, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 410, orcid.org/0000-0003-0158-4020.

Ісаєнко Галина Леонідівна, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: gl_isayenko@ukr.net, тел. +380442846709, +380973387759, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 410, orcid.org/0000-0003-0479-9596.

AUTHORS

Ishchenko Ruslan M., Ph. D., associate professor, National Transport University, associate professor of department of Information and analytical activity and information security, e-mail: rm_ischenko@ukr.net, tel. +380442846709, +380673187955, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 410, orcid.org/0000-0003-0158-4020.

Isaienko Galina L., Ph. D., associate professor, National Transport University, associate professor of department of Information and analytical activity and information security, e-mail: gl_isayenko@ukr.net, tel. +380442846709, +380973387759, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 410, orcid.org/0000-0003-0479-9596.

АВТОРЫ

Ищенко Руслан Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры информационно-аналитической деятельности и информационной безопасности, e-mail: rm_ischenko@ukr.net, тел. +380442846709, +380673187955, Украина, 01103, г. Киев, ул. М. Бойчука, 42, к. 410, orcid.org/0000-0003-0158-4020.

Исаенко Галина Леонидовна, кандидат физико-математических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры информационно-аналитической деятельности и информационной безопасности, e-mail: gl_isayenko@ukr.net, тел. +380442846709, +380973387759, Украина, 01103, г. Киев, ул. М. Бойчука, 42, к. 410, orcid.org/0000-0003-0479-9596.

РЕЦЕНЗЕНТИ

Данчук В.Д., доктор фізико-математичних наук, професор, Національний транспортний університет, декан факультету транспортних та інформаційних технологій, Київ, Україна.

Манько Д.Ю., кандидат фізико-математичних наук, Інститут проблем реєстрації інформації Національної академії наук України, старший науковий співробітник, Київ, Україна.

REVIEWER

Danchuk V.D., doctor of sciences, professor, National Transport University, dean of the Faculty of Transport and Information Technologies, Kyiv, Ukraine.

Manko D. Yu., Ph. D., Institute for Information Recording National Academy of Sciences of Ukraine, researcher, Kyiv, Ukraine.

ОСНОВНІ ІСТОРИЧНО-ПРАВОВІ АСПЕКТИ РЕГУЛЮВАННЯ МІЖНАРОДНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Кіричок О.Г., кандидат технічних наук, Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна, o.h.kirichok@nuwm.edu.ua, orcid.org/0000-0002-1596-1045

Антонюк В.П., Рівненський автотранспортний коледж Національного університету водного господарства та природокористування, Рівне, Україна, ratk@nuwm.edu.ua, orcid.org/0000-0001-5778-2822

Шевченко О.В., Рівненський автотранспортний коледж Національного університету водного господарства та природокористування, Рівне, Україна, ratk@nuwm.edu.ua, orcid.org/0000-0002-0306-0450

HISTORICAL AND LEGAL ASPECTS OF REGULATING INTERNATIONAL MOTOR TRANSPORTATION

Kirichok O., Ph.D., National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine, o.h.kirichok@nuwm.edu.ua, orcid.org/0000-0002-1596-1045

Antoniuk V., Rivne Motor Transport College of National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine, ratk@nuwm.edu.ua, orcid.org/0000-0001-5778-2822

Shevchenko O., Rivne Motor Transport College of National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine, ratk@nuwm.edu.ua, orcid.org/0000-0002-0306-0450

ОСНОВНЫЕ ИСТОРИКО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Киричок А.Г., кандидат технических наук, Национальный университет водного хозяйства и природопользования, Ровно, Украина, o.h.kirichok@nuwm.edu.ua, orcid.org/0000-0002-1596-1045

Антонюк В.П., Ровенский автотранспортный колледж Национального университета водного хозяйства и природопользования, Ровно, Украина, ratk@nuwm.edu.ua, orcid.org/0000-0001-5778-2822

Шевченко О.В., Ровенский автотранспортный колледж Национального университета водного хозяйства и природопользования, Ровно, Украина, ratk@nuwm.edu.ua, orcid.org/0000-0002-0306-0450

Постановка проблеми.

Утворення України та становлення її як демократичної, правової, соціальної держави стало результатом втілення багатовікових традицій державотворення українського народу. Подальший державний розвиток обумовлює необхідність удосконалення державної політики у сфері перевезень. Автомобільний транспорт – найважливіша ланка у сфері економічних відносин, одна із провідних галузей матеріального виробництва [1]. Він бере участь у створенні продукції та доставці її споживачам, здійснює зв'язок між виробництвом та споживанням, між різними галузями економіки, між країнами та регіонами. Без відносин у сфері автомобільних перевезень був би неможливий сам процес сучасного виробництва, для якого необхідні зв'язки щодо постачання сировини і продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналізу даної проблеми присвятили свої наукові праці юристи в галузі транспортного, цивільного, господарського права, серед яких можна назвати таких, як Е. Ф. Демський, В. К. Гіжевський, О. В. Дзера, Н. С. Кузнецова, О. А. Підпригора, Д. В. Боброва, С. М. Приступа, А. П. Сергєєв, Ю. К. Толстой, С. М. Корнєєв, С. Н. Братусь, Ю. А. Попов, В. Ф. Маслов та ін.

Мета дослідження – аналіз нормативно-правової бази міжнародних перевезень вантажів автомобільним транспортом і визначення основних напрямів її систематизації.

Виклад основного матеріалу дослідження.

На початку ХХ століття міжнародні автомобільні перевезення регламентувала Конвенція про врегулювання автомобільного руху між країнами, встановлення технічних вимог до автотранспорту у міжнародному сполученні, прав управління автомобілем, уніфікації сигналів на автошляхах (Париж, 1926). Поширення міжнародних автомобільних перевезень призвело до розробки Конвенції про шляховий рух та до Протоколу про дорожні знаки і сигнали (Женева, 19 вересня 1949 р.). До них приєдналися відповідно майже 100 та 50 держав. Колишній СРСР також був їх учасником з 1959 р. Вказані акти чинні у редакції від 8 листопада 1968 р. Сьогодні вони відомі за назвами: Конвенція про шляховий рух та Конвенція про дорожні знаки і сигнали. Підписані від імені України 8 листопада

1968 р. та схвалені 25 квітня 1974 р., вони стали чинними для України відповідно з 21 травня 1977 р. та 6 червня 1978 р.

Умови договору міжнародного автомобільного перевезення вантажів між європейськими державами визначає Конвенція про договір міжнародного перевезення вантажів (інакше: КДПВ або ЦМР), підписана у Женеві 19 травня 1956 р. [2]. Вона стала чинною з 2 липня 1961 р., а сьогодні діє у редакції від 5 липня 1978 р. До певної міри норми цієї Конвенції мають риси наступності щодо норм Конвенції про шляховий рух від 19 вересня 1949 р. Конвенція про договір міжнародного перевезення вантажів була прийнята з метою уніфікації умов, що регулюють міжнародне перевезення вантажів автотранспортом, зокрема, щодо документів, які застосовують для перевезення, а також відповідальності перевізника. Вона застосовується, по-перше, до перевезень автомобілями, автомобілями-тягачами, причепами, напівпричепами тощо. По-друге, до будь-якого сплатного договору перевезення вантажів, коли місце прийняття вантажу до перевезення та місце доставки вантажу знаходиться у різних державах, з яких хоча б одна є учасницею Конвенції. По-третє, до перевезень вантажів державами, оптовими установами й організаціями, а також до випадків, коли транспортний засіб з вантажем (без його вивантаження) та частину шляху переміщується морем, залізницею, внутрішнім водним та повітряним шляхом.

Згідно із зазначеною Конвенцією для здійснення автотранспортного перевезення укладається єдиний договір навіть у випадку його реалізації кількома перевізниками.

Кожен з перевізників відповідає за здійснення усього перевезення. Другий і наступні перевізники стають сторонами у договорі перевезення на умовах, зазначених у відвантажувальній накладній.

Конвенція передбачає, що договір перевезення вантажу автотранспортом підтверджується накладною на перевезення вантажу, яка засвідчує прийняття вантажу перевізником. Накладна складається у трьох примірниках. Перший вручається відправнику, другий додається до вантажу, третій залишається у перевізника. Іноді накладну складають у чотирьох примірниках, два з яких залишаються у перевізника. Накладну підписують відправник та перевізник. При доставці для розвантаження покупцю, він вказує час прибуття автомашини для розвантаження і вибуття після розвантаження, підписує накладну і засвідчує підпис печаткою. Вантаж видається зазначеному в ній отримувачу.

Якщо до перевезення подається різноманітний або поділений на партії вантаж, чи перевезення здійснюють різні транспортні засоби, як продавець, так і перевізник мають право вимагати окрему накладну на кожний транспортний засіб, кожен вид чи партію вантажу. У накладній на міжнародне перевезення зокрема вказують: місце і дату її складання; назву та адресу відправника й перевізника; місце і дату прийняття вантажу до перевезення; місце його передачі отримувачу; назву та адресу отримувача; прийняте позначення характеру вантажу і спосіб його упаковки, а у випадку перевезення небезпечних вантажів – їх звичайно визнане позначення; кількість вантажних місць, їх маркування та номери; масу вантажу брутто або кількість вантажу, виражену в інших одиницях виміру; витрати, пов'язані з перевезенням (провізна плата, митні збори, додаткові та інші витрати, зроблені з моменту укладення договору до здачі вантажу); відомості, необхідні для виконання митних та інших формальностей.

До автотранспортної накладної відправник додає необхідні документи. Відправник має право розпоряджатися вантажем, зокрема, вимагати від перевізника призупинити транзит, змінити місце призначення вантажу чи передати його іншій особі, не вказаній у накладній. Ця інша особа не має права призначати іншого вантажоодержувача. Але відправник не може здійснювати зазначеного права, якщо другий примірник накладної вже вручено конкретному вантажоодержувачу чи одержувач вимагає від перевізника на підставі своєї квитанції надати йому другий примірник накладної та вантаж. Одержувач має право розпоряджатися вантажем з моменту оформлення накладної, якщо відправник застеріг про це у накладній.

Відповідно до норм Конвенції перевізник відповідає, якщо вантаж втрачено повністю або частково чи заподіяно шкоду в період з моменту прийняття вантажу до перевезення і до моменту його доставки, а також у результаті затримання доставки. Перевізник завжди відповідає, якщо: втрата, пошкодження чи затримання в доставці викликані несправністю транспортного засобу; мала місце неправомірною поведінкою чи недбалістю особи, у якої транспортний засіб було орендовано, або службовців транспортної організації.

Перевізник звільняється від відповідальності, якщо доведе, що втрата, збитки чи затримання доставки вантажу виникли у результаті: неправомірних дій чи недбалості позивача; вказівок позивача, які не пов'язані з неправомірними діями чи недбалістю перевізника; недоліків вантажу, що

зумовлені його специфічними властивостями; настання обставин, яких перевізник не міг уникнути, і наслідків, яких він не міг відвернути. В останньому випадку перевізник повинен довести розсудливість своїх дій та неможливість уникнення шкоди.

Втратою вантажу вважається, зокрема, його доставка протягом 30 днів з моменту спливу узгодженого строку доставки, а якщо такий строк не встановлений, – протягом 60 днів з моменту прийняття вантажу перевізником. Часткова втрата, пошкодження або затримання вантажу не означає, що його безумовно слід доставити.

Про втрату чи пошкодження вантажу одержувач повинен повідомити перевізника. Компенсація перевізником збитків, завданих повною чи частковою втратою вантажу, обмежена максимальним розміром. За незбереження вантажу максимальна відповідальність перевізника сягає 25 золотих франків за 1 кг маси брутто (ст. 23 КДПВ). Крім того, перевізник повністю відшкодовує витрати, пов'язані з перевезенням, мито тощо. Норми Конвенції передбачають умови компенсації за затримання в доставці вантажу.

Конвенція містить перелік спеціальних ризиків, які звільняють перевізника від відповідальності.

Відповідальність перевізника усувається або обмежується, якщо позовні вимоги випливають з цивільного позадоговірного правопорушення (делікту), а не з порушення договору.

У Женеві 5 лютого 1978 р. держави-учасниці згаданої Женевської КДПВ 1956 р. уклали Протокол до цієї Конвенції. У ньому по-іншому трактується розмір відповідальності, зазначений у згадуваній ст. 23 КДПВ. Встановлено, що розмір відповідальності не може перевищувати 8,33 розрахункових одиниць за 1 кг відсутньої маси брутто. Зазначена стаття доповнена нормами, у яких роз'яснено поняття та застосування розрахункової одиниці. Нею вважають одиницю спеціальних прав запозичення, яка визначається Міжнародним валютним фондом (МВФ). Вказаний розмір розрахункової одиниці перераховують у національну валюту держави, суд якої розглядає справу на підставі вартості цієї валюти у день винесення рішення або у день, визначений домовленістю сторін.

Серед міжнародних договорів є такі, що регулюють перевезення специфічних вантажів, або таких, що вимагають спеціальних застережних заходів і особливих умов при транспортуванні. Такою є, наприклад, Європейська конвенція про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів від 30 вересня 1957 р., яка набула чинності 29 січня 1968 р. [3]. Її учасницями є, зокрема, Австрія, Англія, Бельгія, Іспанія, Італія, Люксембург, Нідерланди, Польща, Португалія, ФРН, Франція, Швейцарія, Швеція. Колишній СРСР у згаданій Конвенції участі не брав. Україна теж не бере у ній участі.

До зазначених міжнародних договорів належить також Угода про міжнародні перевезення харчових продуктів, що швидко псуються, і про спеціальні транспортні засоби, призначені для цих перевезень від 1 вересня 1970 р., яка стала чинною 21 листопада 1976 р. До Угоди приєдналися Франція, Іспанія, ФРН, колишній СРСР та деякі інші держави.

Певною мірою особливості міжнародних автоперевезень регулюють міжнародні договори, основний зміст яких спрямований на регламентацію митного проходження вантажів. Наприклад, митний режим при перетині кордонів європейських держав автотранспортом регулює Митна конвенція про міжнародне перевезення вантажів із застосуванням книжки МДП від 14 листопада 1975 р. [4]. Вона є обов'язковою для України як однієї з правонаступниць колишнього Союзу РСР, що було підтверджено у 1994 р. Відповідно до її норм міжнародним документом, який застосовують для автомобільних перевезень вантажів через митні кордони кількох держав без їх перевантаження є Книжка міжнародного дорожнього перевезення (Книжка МДП). Зазначений документ видає Асоціація, яка входить до складу Міжнародного Союзу автомобільного транспорту, а в Україні – уповноважені на це митні органи. Книжка МДП оформляється на кожен транспортний засіб чи контейнер. Вона є дійсною для виконання одного перевезення. Складається з 1 жовтого із 6, 14 (при перетині більше двох кордонів) чи 20 (при перетині більше 6 кордонів) парних, що мають парні і непарні номери, білих відривних аркушів. Кожен відривний аркуш теж складається з 2-х частин: першої – вантажного маніфесту, де описується вантаж, що перевозиться, та другої – свідоцтва-сертифіката, де вказуються умови й маршрут перевезення, накладені пломби чи розпізнавальні знаки. Транспортні засоби пломбують на митниці, тому вони не підлягають митному догляду на транзитних митницях. У разі тимчасового ввезення транспортного засобу із застосуванням Книжки МДП та з позначенням «TIR» не вимагається декларування на митниці цього транспортного засобу як ввезеного майна.

Щодо міжнародних автомобільних перевезень в Україні використовуються:

- Європейська угода, що доповнює Віденську конвенцію про дорожні знаки і сигнали 1968 р., схвалена Україною 16 грудня 1974 р., чинна з 3 серпня 1979 р. [5];
- Європейська угода про міжнародні автомагістралі від 15 листопада 1975 р., схвалена Україною 9 листопада 1982 р., чинна з 29 березня 1983 р. [6];
- Протокол про розмітку доріг від 1 березня 1973 р. до Європейської угоди, що доповнює Конвенцію про дорожні знаки і сигнали 1968 р., схвалений Україною 15 березня 1984 р., чинний з 9 травня 1985 р.

У двосторонніх угодах про міжнародні автомобільні перевезення за участю України, як правило, визначено поняття: «перевізник», «транспортний засіб», «перевезення за зачиненими дверима» («туристичні перевезення»), «регулярність» та «нерегулярність» перевезень, «дозвіл» (документ на проїзд), «транзитні перевезення» тощо. В угодах визначено сферу їх застосування (перевезення пасажирів, вантажів, їх транзит тощо); порядок здійснення регулярних перевезень (за визначеними маршрутами, згідно з розкладом руху, на підставі узгоджених тарифів) та нерегулярних перевезень; обов'язкове страхування транспортних засобів; завчасне обов'язкове страхування цивільної відповідальності кожного автотранспортного засобу, який виконує міжнародні перевезення; заборону певних видів перевезень, наприклад, здійснюваних перевізником однієї з договірних держав між двома пунктами у другій договірній державі чи деяких предметів, матеріалів, речовин.

Регулярні перевезення здійснюються на підставі дозволу-документа на проїзд, що дозволяє в'їзд/виїзд автотранспортного засобу однієї договірної держави на/з територію(ї) іншої держави або надає право на проїзд транзитом через територію іноземної договірної держави. Дозволи видаються на підставі встановлених квот. Для нерегулярних перевезень дозвіл не є обов'язковим. У міжнародних договорах можуть передбачатися випадки перевезень, на виконання яких дозвіл не потрібен, наприклад, рухомого майна при переселенні; матеріалів і предметів, творів мистецтва, призначених для ярмарок, виставок, видовищ неторгового характеру; обладнання, предметів, тварин, призначених для театральних, музичних, спортивних, циркових та кіно-заходів і ярмарок; обладнання для радіо-, кіно-, фото- й телезйомок; покійних чи праху; пошти; пошкоджених транспортних засобів; медичного обладнання та медикаментів для надання допомоги при стихійних лихах та ін. Для виконання таких перевезень достатньо перевізного документа країни, де зареєстровано транспортний засіб.

Міжнародні договори можуть містити застереження про заборону перевезення між державами, що домовляються, або транзит їх територіями окремих вантажів, наприклад, зброї, боєприпасів, військового спорядження, вибухових матеріалів та інших небезпечних чи шкідливих речовин.

Норми міжнародних договорів про автомобільні перевезення доповнюють міжнародні угоди, які регулюють питання прикордонного, митного та санітарного контролю. Для вирішення питань, не урегульованих цими договорами, застосовується національне законодавство.

З метою виконання двосторонніх угод про міжнародні автотранспортні перевезення договірні держави можуть приймати Виконавчі Протоколи, створювати Спільні Комісії чи відкривати представництва на території іноземної держави. Так, разом з підписанням зазначеної міжурядової Угоди за участю Казахстану та України було підписано Виконавчий Протокол про застосування Угоди між Урядом Республіки Казахстан і Урядом України про міжнародне автомобільне сполучення від 22 лютого 1993 р. У ньому зазначено, зокрема, центральні виконавчі органи (відповідні міністерства), тлумачення термінів, використаних у міжнародній угоді, способи та умови надання дозволів, строки їх дії.

З метою більш повного задоволення потреб населення у перевезеннях, обмеження монополізму на ринку пасажирських автотранспортних послуг, розвитку конкуренції між перевізниками усіх форм власності постановою Кабінету Міністрів від 2 листопада 1996 р. було затверджено «Порядок проведення конкурсу на перевезення пасажирів автомобільним транспортом» [7].

Як зазначалося, на регулювання питань, пов'язаних з міжнародними перевезеннями, спрямовані й норми Статуту автомобільного транспорту України 1969 р. [8]. У ньому визначено, що до міжнародних належать перевезення за кордон або з-за кордону. Статут встановлює основні умови перевезень автомобільним транспортом вантажів, пасажирів, багажу і пошти, а також взаємовідносини автотранспортних підприємств і організацій в Україні з підприємствами і організаціями, що здійснюють перевезення іншими видами транспорту, в частині їх здійснення (п. 2,5).

Національне законодавство України регулює питання отримання спеціального дозволу на ввезення в Україну окремих видів речовин, матеріалів. Наприклад, Порядок надання дозволу на

ввезення пестицидів і агрохімікатів іноземного виробництва, затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 4 березня 1996 р., встановлює умови, за яких надається дозвіл, а також перелік документів, необхідних для вирішення питання про його отримання.

Законодавство України регулює питання спрощеного перетину митних кордонів кількох держав міжнародним автотранспортом. Це, зокрема, Положення про порядок допущення дорожніх транспортних засобів до перевезень вантажів під митними печатками і пломбами із застосуванням книжки МДП та Інструкція про порядок митного оформлення книжки МДП на товари й інші предмети, котрі перевозяться між митницями з дотриманням процедури МДП, що затверджені наказами Державного митного комітету України від 6 березня 1995 р. Зазначені документи розроблені відповідно до норм Митної конвенції про міжнародне перевезення вантажів із застосуванням книжки МДП 1975 р.

Серед значної кількості національних актів, які регулюють митне проходження вантажів, можна зазначити такі. З 1 лютого 1997 р. в Україні почала діяти Інструкція про порядок застосування механізму фінансових гарантій при транзитних перевезеннях підакцизних товарів, затверджена спільним наказом Держмиткому, Укрстрахнагляду, Мінтрансу і Мінфіну від 25 липня 1996 р. за № 342/82/244/154-Б. Інструкція визначає, зокрема, перелік документів, які власник вантажу або уповноважена ним особа надають митниці на митному кордоні; порядок внесення грошової застави – готівкової та безготівкової для резидентів та нерезидентів України; умови та термін дії фінансових гарантій; встановлюється режим транзиту вантажу при оформленні фінансових гарантій.

Норми постанов Кабінету Міністрів України, якими встановлюються митні збори, а також Положення про надання митним органам України фінансових гарантій щодо обов'язкової доставки товарів до митниць призначення, затверджене постановою Кабінету Міністрів України від 29 червня 1996 р., сприяють, зокрема, дотриманню перевізниками умов транзиту, встановлених українським законодавством.

Висновки.

У статті доведено, що на теперішній час основним завданням автомобільного транспорту залишається задоволення потреб суб'єктів господарювання у вантажних перевезеннях. Основні функції, які сьогодні виконує автомобільний транспорт, пов'язані саме із перевезенням вантажу [9].

Значна роль у вантажних автомобільних перевезеннях відводиться державі, основними завданнями якої є формування ринку транспортних послуг шляхом реалізації єдиної економічної, інвестиційної, науково-технічної та соціальної політики [10].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кірічок О. Г. Роль і значення автомобільної галузі в системі ринкової економіки / О. Г. Кірічок, Т. І. Агадишева : Збірник тез II Міжнародної науково-практичної конференції молодих науковців, аспірантів та студентів «Актуальні проблеми теорії і практики менеджменту в умовах трансформації економіки». – Рівне : НУВГП, 2013. – С. 96-98.
2. Конвенція про договір міжнародного перевезення вантажів. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_234?lang=ru
3. Європейська конвенція про міжнародне дорожнє перевезення небезпечних вантажів (ДОПНВ). – [Електронне видання]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_217
4. Митна конвенція про міжнародне перевезення вантажів із застосуванням книжки МДП (Конвенція МДП) 1975 року. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_012
5. Європейська угода, що доповнює Конвенцію про дорожні знаки та сигнали, відкриту для підписання у Відні 8 листопада 1968 року. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_372
6. Європейська угода про міжнародні автомагістралі. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_046
7. Постанова Кабінету Міністрів України від 2 листопада 1996 р. «Про затвердження Порядку проведення конкурсу на перевезення пасажирів автомобільним транспортом». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1346-96-п>
8. Постанова Ради Міністрів Української РСР від 7 червня 1969 р. «Про Статут автомобільного транспорту УРСР». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/401-69-п>
9. Кірічок О. Г., Антонюк В. П., Шевченко О. В. Деякі питання правового регулювання міжнародних автомобільних перевезень / О. Г. Кірічок, В. П. Антонюк, О. В. Шевченко : Матеріали

Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції у співпраці з Фондом INRMARIUM «Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем», 28-29 листопада 2019 р. – Рівне : НУБГП, 2019. – С. 56-58. – [Електронне видання]. – Режим доступу: http://ep3.nuwm.edu.ua/16555/1/Tezu_VNTI_Rivne_2019.pdf

10. Кірічок О. Г., Аналіз основних правових положень щодо перевезення пасажирів та багажу / О. Г. Кірічок, В. П. Антонюк, О. В. Шевченко // Науковий журнал «Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті». – Вип. № 1 (12). – Луцьк : Луцький НТУ, 2019. – С. 86-91.

REFERENCES

1. Kirichok O.G., Agadysheva T.I. *Rol i znachennia avtomobilnoi haluzi v systemi rynkovoï ekonomiky* [The role and importance of the automotive industry in the market economy system] *Zbirnyk tez II Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh naukovtsiv, aspirantiv ta studentiv «Aktualni problemy teorii i praktyky menedzhmentu v umovakh transformatsii ekonomiky* [Collection of abstracts of the II International scientific-practical conference of young scientists, graduate students and students "Actual problems of management theory and practice in the conditions of economic transformation"], Rivne, NUWEE, 2013, pp. 96-98.
2. *Konventsiiia pro dohovir mizhnarodnoho perevezennia vantazhiv* [Convention on the Contract of International Carriage of Goods]. Electronic publication. Access mode: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_234?lang=en
3. *Yevropeiska konventsiiia pro mizhnarodne dorozhnie perevezennia nebezpechnykh vantazhiv (DOPNV)* [European Convention on the International Carriage of Dangerous Goods by Road (SIPO)]. Electronic publication. Access mode: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_217
4. *Mytna konventsiiia pro mizhnarodne perevezennia vantazhiv iz zastosuvanniam knyzhky MDP (Konventsiiia MDP) 1975 roku* [Customs Convention on the International Carriage of Goods using the TIR Carnet (TIR Convention) 1975]. Electronic publication. Access mode: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_012
5. *Yevropeiska uhoda, shcho dopovniuie Konventsiiu pro dorozhni znaky ta syhnyaly, vidkrytu dlia pidypsannia u Vidni 8 lystopada 1968 roku* [European Agreement supplementing the Convention on Road Signs and Signals, opened for signature in Vienna on 8 November 1968]. Electronic publication. Access mode: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_372
6. *Yevropeiska uhoda pro mizhnarodni avtomahistrali* [European Agreement on International Highways]. Electronic publication. Access mode: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_046
7. *Yevropeiska uhoda pro mizhnarodni avtomahistrali* [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of November 2, 1996 p. "On Approval of the Procedure for Holding a Contest for the Carriage of Passengers by Road"]. Electronic publication. Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1346-96-p>
8. *Postanova Rady Ministriv Ukrainskoi RSR vid 7 chervnia 1969 r. «Pro Statut avtomobilnoho transportu URSS»* [Resolution of the Council of Ministers of the Ukrainian SSR of June 7, 1969 "On the Charter of road transport of the USSR"]. Electronic publication. Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/401-69-n>
9. Kirichok O.G., Antonyuk V.P., Shevchenko O.V. *Deiaki pytannia pravovoho rehuliuвання mizhnarodnykh avtomobilnykh perevezennia* [Some Issues of Legal Regulation of International Road Transportation]: *Materialy Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi internet-konferentsii u spivpratsi z Fondom INRMARIUM «Innovatsiini tekhnolohii rozvytku mashynobuduvannia ta efektyvnoho funktsionuvannia transportnykh system»*, 28-29 lystopada 2019 r. [Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Technical Internet Conference in Cooperation with the INRMARIUM Foundation "Innovative Technologies for the Development of Mechanical Engineering and the Effective Functioning of Transport Systems", November 28-29, 2019]. Rivne, NUWEE, 2019, pp. 56-58. Electronic publication. Access mode: http://ep3.nuwm.edu.ua/16555/1/Tezu_VNTI_Rivne_2019.pdf
10. Kirichok O.G., Antonyuk V.P., Shevchenko O.V. *Analiz osnovnykh pravovykh polozhen shchodo perevezennia pasazhyriv ta bahazhu* [Analysis of the main legal provisions regarding the carriage of passengers and luggage: Scientific journal "Modern technologies in mechanical engineering and transport"]. Lutsk. Lutsk NTU, 2019, Vol. No. 1 (12), pp. 86-91.

РЕФЕРАТ

Кірічок О.Г. Основні історично-правові аспекти регулювання міжнародних автомобільних перевезень / О.Г. Кірічок, В.П. Антонюк, О.В. Шевченко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

Поставлено задачу про побудову оптимальних траєкторій нафтових і газових. У статті проаналізовано основні правові положення одного із інститутів транспортного права – міжнародні вантажні автомобільні перевезення в історичному і правовому аспектах, зокрема, нормативно-правову базу перевезень вантажів автомобільним транспортом у міжнародних перевезеннях, окреслено основні напрями її систематизації. Дана характеристика правових відносин, які виникають під час міжнародних перевезень вантажів автомобільним транспортом і які оформлені відповідними цивільними договорами, описані основні права та обов'язки сторін в цих відносинах.

Об'єкт дослідження – міжнародні автомобільні вантажні перевезення.

Мета роботи – запропонувати шляхи удосконалення організації системи міжнародних автомобільних вантажних перевезень, розкрити роль державних органів у забезпеченні ефективного її функціонування відповідно до законодавства України.

Метод дослідження – багатофакторний аналіз умов функціонування об'єкта дослідження.

У всіх країнах світу транспорт є однією з важливих галузей економіки та складовою частиною міжлюдських стосунків. Сам процес перевезень не виробляє нового продукту, але виступає як сполучна ланка між підприємствами, сприяючи функціонуванню інших галузей економіки, виконанню соціальних завдань, раціональному та гнучкому використанню виробничих сил, забезпечуючи обороноздатність країни.

Тому державна політика становлення та розвитку транспортного комплексу України передбачає забезпечення своєчасного, повного та якісного задоволення потреб суспільного виробництва і суб'єктів господарювання у міжнародних вантажних перевезеннях, створення рівних умов для розвитку господарської діяльності підприємств автомобільного транспорту всіх форм власності та входження транспортного комплексу України до європейської і світової транспортної системи.

Результати статті можуть бути впроваджені у роботу автотранспортних підприємств, які здійснюють міжнародні вантажні перевезення.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – пошук оптимальної системи організації міжнародних автомобільних вантажних перевезень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МІЖНАРОДНІ АВТОМОБІЛЬНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ВАНТАЖ, КОНВЕЦІЇ, УГОДИ, ДОГОВОРИ, ПЕРЕВІЗНИК, ВІДПРАВНИК ВАНТАЖУ, ВАНТАЖООДЕРЖУВАЧ, ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ.

ABSTRACT

Kirichok O., Antonyuk V., Shevchenko O. Historical and Legal Aspects of Regulation of International Road Transport. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article analyzes the basic legal aspects of one of the institutes of transport law – international freight road transport. The article focused on historical and legal aspects, of freight transport by road in international transport legal framework. The main directions and its systematization are provided in the article. The legal relations that arise during the international carriage of goods by road and which are drawn up by the relevant civil agreements are describes, the basic rights and obligations of the parties in these relations are detailed.

Object of study – international road freight transport.

The purpose of the work is to propose ways to improve the organization of the international road haulage system, to reveal the role of state bodies in ensuring its effective functioning in accordance with the legislation of Ukraine.

Method Research – a multivariate analysis of the research object's operating conditions.

In all countries of the world, transport is one of the important sectors of the economy and an integral part of interpersonal relations. The transportation process does not produce a new product, but acts as a link between enterprises, facilitating the functioning of other sectors of the economy, the fulfillment of social tasks, the rational and flexible use of productive forces, ensuring the country's defense capability.

Therefore, the state policy of Ukrainian transport complex formation and development provides for timely, complete and qualitative satisfaction of the needs of public production and economic entities in international freight transportation, creation of equal conditions for the development of economic activity of road transport enterprises of all forms of ownership and entry of Ukrainian transport complex to the European and the world transport system

The results of the article can be implemented in the work of motor transport enterprises that provide international freight.

Estimated assumptions for the study object development – the search for the optimal system organization of international road haulage.

KEYWORDS: INTERNATIONAL ROAD TRANSPORTATION, CARGO, CONVENTIONS, AGREEMENTS, CONTRACTS, CARRIER, FREIGHT FORWARDER, CARGO RECEIVER, CARRIER VEHICLE

РЕФЕРАТ

Киричок А.Г. Основные историко-правовые аспекты регулирования международных автомобильных перевозок / А. Г. Киричок, В. П. Антонюк, А. В. Шевченко // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье проанализированы основные правовые положения одного из институтов транспортного права – международные грузовые автомобильные перевозки в историческом и правовом аспектах, в частности, нормативно-правовую базу перевозок грузов автомобильным транспортом в международных перевозках, обозначены основные направления её систематизации. Дана характеристика правовых отношений, возникающих при международных перевозках грузов автомобильным транспортом и оформленных соответствующими гражданскими договорами, описаны основные права и обязанности сторон в этих отношениях.

Объект исследования – международные автомобильные грузовые перевозки.

Цель работы – предложить пути совершенствования организации системы международных автомобильных грузовых перевозок, раскрыть роль государственных органов в обеспечении эффективного её функционирования в соответствии с законодательством Украины.

Метод исследования – многофакторный анализ условий функционирования объекта исследования.

Во всех странах мира транспорт является одной из важных отраслей народного хозяйства и составной частью межчеловеческих отношений. Сам процесс перевозок не производит нового продукта, но выступает как связующее звено между предприятиями, способствуя функционированию других отраслей экономики, выполнению социальных задач, рациональному и гибкому использованию производственных сил, обеспечивая обороноспособность страны.

Поэтому государственная политика становления и развития транспортного комплекса Украины предусматривает обеспечение своевременного, полного и качественного удовлетворения потребностей общественного производства и субъектов хозяйствования в международных грузовых перевозках, создание равных условий для развития хозяйственной деятельности предприятий автомобильного транспорта всех форм собственности и вхождения транспортного комплекса Украины в европейскую и мировую транспортную систему

Результаты статьи могут быть внедрены в работу автотранспортных предприятий, осуществляющих международные грузовые перевозки.

Прогнозные предположения по развитию объекта исследования – поиск оптимальной системы организации международных автомобильных грузовых перевозок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МЕЖДУНАРОДНЫЕ АВТОМОБИЛЬНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ, ГРУЗ, КОНВЕЦИИ, СОГЛАШЕНИЯ, ДОГОВОРЫ, ПЕРЕВОЗЧИК, ГРУЗООТПРАВИТЕЛЬ, ГРУЗОПОЛУЧАТЕЛЬ, ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО.

АВТОРИ:

Кірічок Олександр Георгійович, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет водного господарства та природокористування, доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, e-mail: o.h.kirichok@nuwm.edu.ua, тел. +380673627152, Україна, 33028, м. Рівне, вул. Олекси Новака, 77, к. 335, orcid.org/0000-0002-1596-1045.

Антонюк Валентина Петрівна, Рівненський автотранспортний коледж Національного університету водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна, директор, e-mail: ratk@nuwm.edu.ua, тел. +380963480979, Україна, 33018, м. Рівне, вул. Відінська, 31, к. 27, orcid.org/0000-0001-5778-2822.

Шевченко Оксана Володимирівна, Рівненський автотранспортний коледж Національного університету водного господарства та природокористування, заступник директора з навчальної роботи, e-mail: ratk@nuwm.edu.ua, тел. +380989756901, Україна, 33018, м. Рівне, вул. Відінська, 31, к. 13, orcid.org/0000-0002-0306-0450.

AUTHORS:

Kirichok Oleksandr G., Ph.D., associate professor, National University of Water and Environmental Engineering, associate professor department of transport technologies and technical services, e-mail: o.h.kirichok@nuwm.edu.ua, tel. +380673627152, Ukraine, 33028, Rivne, Oleksa Novaka str. 77, of. 335, orcid.org/0000-0002-1596-1045.

Antonyuk Valentina P., Rivne Motor Vehicle College, National University of Water and Environmental Nature Management, Rivne, Ukraine, director, e-mail: ratk@nuwm.edu.ua, tel. +380963480979, Ukraine, 33018, Rivne, Vidinskaya str. 31, of. 27, orcid.org/0000-0001-5778-2822.

Shevchenko Oksana V., Rivne Motor Transport College, National University of Water Management and Nature, deputy director of educational work, email: ratk@nuwm.edu.ua, tel. +380989756901, Ukraine, 33018, Rivne, Vidinskaya str. 31, of. 7, orcid.org/0000-0002-0306-0450.

АВТОРЫ:

Киричок Александр Георгиевич, кандидат технических наук, доцент, Национальный университет водного хозяйства и природопользования, доцент кафедры транспортных технологий и технического сервиса, e-mail: o.h.kirichok@nuwm.edu.ua, тел. +380673627152, Украина, 33028, г. Ровно, ул. Олексы Новака, 77, к. 335, orcid.org/0000-0002-1596-1045.

Антонюк Валентина Петровна, Ровенский автотранспортный колледж Национального университета водного хозяйства и природопользования, г. Ровно, Украина, директор, e-mail: ratk@nuwm.edu.ua, тел. +380963480979, Украина, 33018, г. Ровно, ул. Видинская, 31, к. 27, orcid.org/0000-0001-5778-2822.

Шевченко Оксана Владимировна, Ровенский автотранспортный колледж Национального университета водного хозяйства и природопользования, заместитель директора по учебной работе, e-mail: ratk@nuwm.edu.ua, тел. +380989756901, Украина, 33018, г. Ровно, ул. Видинская, 31, к. 13, orcid.org/0000-0002-0306-0450.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мельниченко О.І., кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, Київ, Україна.

Налобіна О.О., доктор технічних наук, професор, Національний університет водного господарства та природокористування, професор кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин та обладнання, Рівне, Україна.

REVIEWER:

Melnichenko O.I., Ph.D., Professor, National Transport University, Head of Department of Production, Repair and Materials Science, Kyiv, Ukraine.

Nalobina O.O., Engineering (Dr.), professor, National University of Water and Environmental Engineering, professor of building, road, reclamation, agricultural machinery and equipment department, Rivne, Ukraine.

СУЧАСНІ НАПРЯМКИ ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ В АВТОМОБІЛЬНИХ ДИЗЕЛЯХ

Корпач А.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, akorpach@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7070-7883

Левківський О.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, oleksandr.levkivskyi@gmail.com, orcid.org/0000-0002-2951-2312

MODERN WAYS OF USING ALTERNATIVE FUELS IN AUTOMOBILE DIESEL ENGINES

Korpach A.O., Ph.D., National Transport university, Kyiv, Ukraine, akorpach@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7070-7883

Levkivskyi O.O., Ph.D., National Transport university, Kyiv, Ukraine, oleksandr.levkivskyi@gmail.com, orcid.org/0000-0002-2951-2312

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ В АВТОМОБИЛЬНЫХ ДИЗЕЛЯХ

Корпач А.А., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, akorpach@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7070-7883

Левковский А.А., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, oleksandr.levkivskyi@gmail.com, orcid.org/0000-0002-2951-2312

Постановка проблеми.

На сьогоднішній день автомобільний транспорт являється основним споживачем палив нафтового походження. За даними Організації країн-експортерів нафти (ОПЕК) у 2017 р. в середньому за добу використовувалось близько 13,3 млн. тон нафти, з них автомобільним транспортом – 5,97 млн. тон, іншими видами транспорту – 1,66 млн. тон, нафтохімічною промисловістю – 1,78 млн. тон, іншими галузями промисловості – 3,89 млн. тон [1]. Згідно прогнозів ОПЕК, до 2023 р. споживання нафти автомобільним транспортом продовжить зростати в середньому на 1,1% в рік. Крім того, автомобільний транспорт являється одним з основних джерел забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами та парниковими газами. За даними досліджень, емісія діоксиду вуглецю (CO_2) в атмосферу до 2040 року може підвищитись на 22% з 33,3 млрд. тон у 2015 р. до 40,6 млрд. тон [1].

Порівняння співвідношення кількості автомобілів у Європі за типом двигуна (табл. 1) показує, що на кінець 2016 р. близько половини легкових автомобілів та переважна більшість вантажних автомобілів та автобусів обладнано дизелями. Значний попит на автомобілі з дизелем пояснюється кращою паливною економічністю та високим крутним моментом автомобільних дизелів в широкому діапазоні швидкісних режимів в порівнянні з двигунами, що працюють на бензині або газових паливах. Автомобілі всіх типів з електричними та гібридними двигунами, на сьогоднішній день, не знайшли широкого розповсюдження у зв'язку з низьким запасом ходу та відсутністю розвинутої інфраструктури зарядних станцій, а також значною тривалістю процесу відновлення запасу ходу у порівнянні з автомобілями з тепловими двигунами.

Таблиця 1 – Співвідношення кількості автомобілів за типом двигуна [2]

Table 1 – Correlation of vehicles by engine type [2]

	Бензинові двигуни, %	Дизелі, %	Електричні та гібридні двигуни, %	Двигуни, що працюють на стисненому або зрідженому газі, %	Інші, %
Легкові автомобілі	53,9	42	0,7	2,8	0,6
Вантажні автомобілі та автобуси загальною масою до 3,5 т.	7,7	89,9	0,2	1,2	1,0
Вантажні автомобілі та автобуси загальною масою понад 3,5 т.	1,0	96,1	0,1	0,5	2,3

Недоліком автомобільних дизелів вважаються більш високі викиди оксидів азоту (NO_x) та сажі (С) в порівнянні з іншими типами двигунів внутрішнього згоряння. З метою зниження забруднення атмосфери шкідливими речовинами запроваджено ряд міжнародних стандартів. Сучасні екологічні стандарти Євро 5 та Євро 6 суттєво обмежують викиди шкідливих речовин автомобільними дизелями, що потребує від виробників додаткового обладнання двигунів системами очистки відпрацьованих газів [3]. Однак не вирішеним залишається питання зниження викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобільних дизелів, що знаходяться в експлуатації та виготовлені до запровадження вищевказаних стандартів.

Таким чином, на сьогоднішній день, актуальні дослідження направлені на вивчення можливостей зменшення обсягів споживання палив нафтового походження та зниженню викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобілів з дизелем, що перебувають в експлуатації. Вирішення даних проблем можливе шляхом заміни дизельних палив нафтового походження – альтернативними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питанню використання альтернативних палив в автомобільних дизелях присвячено ряд робіт вітчизняних та закордонних вчених. Сучасні технології переробки видобувних енергоресурсів дозволяють виробляти синтетичні моторні палива, що можуть використовуватись в автомобільних дизелях. Дана група альтернативних палив включає синтетичні дизельні палива одержані з кам'яного вугілля, горючих сланців, торфу та видобувних і супутніх газоподібних палив за допомогою процесів газифікації, прямої гідрогенізації, коксування, термодинамічного розчинення, піролізу, гідролізу та ін. [4]. Але вищевказані технології виробництва палив залишаються достатньо дорогими та не вирішують проблеми забруднення оточуючого середовища.

Інша група альтернативних палив включає високооктанові мінеральні та органічні палива такі як: природний газ, суміші фракцій супутніх нафтових газів [5] та спирти (метанол, етанол, бутанол та інші) [6]. Використання високооктанових палив дозволяє знизити викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами дизелів при незначному погіршенні паливної економічності. Однак використання даних палив потребує значної адаптації паливної системи, що ускладнює їх застосування в дизелях автомобілів які перебувають в експлуатації.

Найбільш перспективними паливами для дизелів вважаються прості та складні ефіри, мінерального або органічного походження. Ефіри утворюються в результаті взаємодії неорганічних кислот і спиртів. У більшості ефірів відсутній основний недолік спиртів як дизельного палива – низьке цетанове число. В молекулі простих ефірів, що має загальну формулу $R-O-R$, атом кисню з'єднує два однакових (симетричні ефіри) або різних (несиметричні ефіри) радикали (CH_3 , C_2H_5 , C_3H_7 та ін.) [7].

Найбільшого поширення серед простих ефірів, в якості палива для автомобільних дизелів, отримав диметилловий ефір, також можливо використовувати диетилловий ефір, дибутиловий ефір, та інші [7]. Фізико-хімічні властивості простих ефірів дозволяють використовувати їх в якості палива для автомобільних дизелів. При цьому спостерігається зниження викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами. До основних недоліків пов'язаних з використанням простих ефірів відносять зростання годинної витрати палива та необхідність переобладнання системи живлення (більшість простих ефірів знаходяться в газоподібному стані).

Дизельні палива на основі складних ефірів включають жири, ацетати, та ін. Найбільш перспективним вважається використання жирів органічного походження [8], оскільки вони відносяться до відновлюваних енергоресурсів та характеризуються високим показником біологічної розчинності (при потраплянні в оточуюче середовище повністю розчиняються на протязі одного – двох тижнів), низькою емісією CO_2 в атмосферу (під час згоряння жирів виділяється стільки ж CO_2 , скільки рослина поглинула за час свого існування), низьким вмістом сірки та поліциклічних ароматичних вуглеводнів [9]. Враховуючи собівартість та доступність, найбільшого розповсюдження в якості сировини для виробництва альтернативних дизельних палив, отримали рослинні олії.

Метою роботи є визначення найбільш ефективного альтернативного палива для автомобільних дизелів, що перебувають в експлуатації, з метою зменшення споживання палив нафтового походження та зниження викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами.

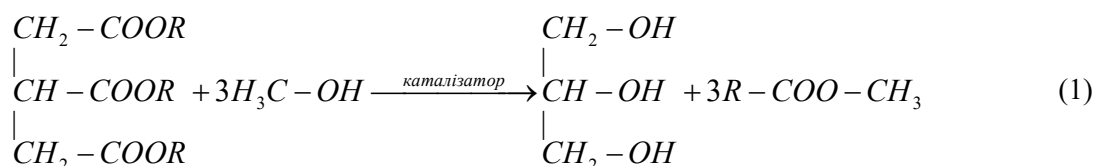
Виклад основного матеріалу.

Безпосереднє використання рослинних олій в якості палива для автомобільних дизелів ускладнено у зв'язку з неоднорідністю хімічного складу (з хімічної точки зору рослинні олії являють собою механічну суміш моногліцеридів, дигліцеридів та тригліцеридів, вільних жирних кислот, фосфоліпідів, фосфатидів, каротину і інших з'єднань) зі значним вмістом домішок та води в не

переробленій сировині. Основний компонент рослинних олій (близько 90%) – тригліцериди, які складаються з ефірів трьох жирних кислот, що зв'язані між собою молекулою гліцерину. На сьогоднішній день розроблено ряд технологічних процесів виробництва з рослинних олій палив, що придатні для використання в автомобільних дизелях.

Найбільш перспективним вважається виробництво палива з рослинних олій шляхом трансестерифікації. В результаті переробки рослинних олій можливо одержати паливо, що має фізико-хімічні властивості схожі до мінерального дизельного палива [10]. Дана група альтернативних палив отримала назву біодизельні палива.

Трансестерифікація – хімічний процес, який відбувається між рослинними оліями та одновалентними спиртами в присутності каталізаторів (1). Під час реакції трансестерифікації тригліцериди, що входять до складу рослинних олій, взаємодіють зі спиртами утворюючи складні ефіри, а також гліцеролову фазу наступного хімічного складу: 56% – гліцерину, 4% – спирту, 13% – жирні кислоти, 8% – вода, 9% – неорганічні солі, 10% – складні ефіри. Для протікання реакції використовують суміші рослинної олії зі спиртом у співвідношенні 9 до 1 та каталізатор у кількості 1% від маси рослинної олії. У зв'язку з оборотністю реакції трансестерифікації в більшості випадків необхідно підвищувати концентрацію спирту, надлишки якого вимиваються водою після завершення реакції. Реакція протікає при температурі 60...80 °C і атмосферному тиску.



В результаті процесу трансестерифікації молекулярна маса рослинних олій знижується в три рази при цьому кінематична в'язкість знижується приблизно у вісім разів і дещо підвищується теплота згоряння.

Для виробництва біодизельного палива в Україні та інших країнах Європи найбільшого поширення набули олії соняшника, сої, ріпаку, коноплі (табл. 2).

Таблиця 2 – Середній вихід рослинної олії та біодизельного палива з різних видів сільськогосподарських культур [8]

Table 2 – Average volume of vegetable oil and biodiesel from different types of crops [8]

Сільськогосподарська культура	Вміст олії, %	Середній вихід олії з однієї тонни насіння, кг	Середній вихід біодизельного палива при етерифікації однієї тонни насіння, кг
1. Соняшник	29...57	400	350
2. Соя	13...25	180	170
3. Ріпак	36...40	370	340
4. Коноплі	30...38	340	-

В процесі виробництва біодизельного палива можливо використовувати будь-які одноатомні спирти та їх ізомери [10]. Зі збільшенням молекулярної маси спирту ускладнюється технологія виробництва, що обумовлено погіршенням розділення фракцій біодизельного палива та необхідністю використання більшого об'єму спирту. Таким чином найбільшого розповсюдження отримали етилові та метилові ефіри. В роботі [11] розглянуто переваги та недоліки використання метилового та етилового спиртів під час виробництва біодизельного палива. Перевагами етилового ефіру вважається менша токсичність в процесі виробництва, а також менша агресивність до деталей двигуна в процесі експлуатації. Метилові ефіри, за рахунок більш низької молекулярної маси, мають нижчу в'язкість, кращу економічність та більш простий процес виробництва в порівнянні з етиловими ефірами, що, наряду з непродуктивним значенням метилового спирту, сприяє більш широкому використанню в порівнянні з етиловим.

З метою прискорення протікання реакції трансестерифікації використовують кислотні або лужні каталізатори [10]. Кислотні каталізатори (сірчана кислота, соляна кислота, р-толуолсульфонова кислота і т.п.) у зв'язку з високою собівартістю не набули широкого розповсюдження і переважно використовуються лише в реакціях з оліями які мають значний об'єм жирних кислот, які

нейтралізують дію лужних каталізаторів. Лужні каталізатори (гідрооксид калію, гідрооксид натрію та ін.) широко використовуються в процесі виробництва біодизельного палива. Ефективність реакції естерифікації при використанні різних лужних каталізаторів майже ідентична. На сьогоднішній день, переважно використовується гідрооксиди калію або натрію.

Для визначення ефективності застосування біодизельного палива в автомобільних дизелях порівнюємо результати стендових досліджень при роботі двигуна на дизельному та біодизельних паливах з різної сировини. Враховуючи вищевказану інформацію, на сьогоднішній день, найбільш раціонально виробляти та використовувати метилові ефіри ріпакової, соняшникової або соєвої олії. В таблиці 3 наведено основні фізико-хімічні властивості біодизельного палива з різних рослинних олій.

Таблиця 3 – Фізико-хімічні властивості біодизельного палива з різної сировини
Table 3 – Physicochemical properties of biodiesel from different source

	Метилові ефіри ріпакової олії	Метилові ефіри соєвої олії	Метилові ефіри соняшникової олії	Метилові ефіри конопляної олії
Густина при температурі 15°C, кг/м ³	886	885	880	858
Кінематична в'язкість при температурі 40°C, мм ² /с	4,42	4,12	4,74	5,13
Цетанове число	48 – 56	48 – 56	54-58	55
Нижча теплота згоряння МДж/кг	37,3 – 39,87	39,72 – 40,08	38,01 – 38, 47	39,08
Температура спалаху, °C	110	134	85	47
Температура помутніння, °C	0	1	5	-4
Температура застигання, °C	-9	0	-2	-

Оскільки нижня теплота згоряння всіх зразків біодизельного палива нижча ніж у дизельного палива, при однакових умовах годинна та питома витрата біодизельного палива завжди вища ніж дизельного в середньому на 14...16% [12]. Також при використанні біодизельного палива спостерігається незначне підвищення крутного моменту двигуна та температури відпрацьованих газів, що пояснюється зростанням циклової подачі біодизельного палива у зв'язку з більш високою густини та кінематичної в'язкості а також більш високою інтенсивністю згоряння за рахунок наявності вільного кисню в молекулах біодизельного палива.

Концентрація оксиду вуглецю (CO) та вуглеводнів (C_mH_n) в відпрацьованих газах, що утворюються в результаті неповного згоряння палива при використанні метилових ефірів ріпакової олії при низьких навантаженнях двигуна підвищується, в порівнянні з дизельним паливом, але зі зростанням навантаження спостерігається тенденція до зниження відповідно на 3% і 25% [12]. При використанні метилових ефірів соняшникової олії спостерігається зменшення концентрації CO при всіх швидкісних та навантажувальних режимах в середньому на 35%, при цьому концентрація C_mH_n також знижується в порівнянні з дизельним паливом на всіх режимах роботи двигуна, при низьких навантаженнях на 24% і зі зростанням навантаження продовжує знижуватись максимум на 34% [13]. Подібні результати одержано при використанні метилових ефірів соєвої олії, концентрація CO знижується, в середньому, на 28% а C_mH_n на 30% в порівнянні з дизельним паливом [14].

Концентрації оксидів азоту при використанні метилових ефірів ріпакової олії підвищується, в порівнянні з дизельним паливом, на всіх швидкісних та навантажувальних режимах в середньому на 9% [12]. При використанні метилових ефірів соняшникової олії концентрація NO_x також зростає в середньому на 10% [13], а при використанні метилових ефірів соєвої олії на 13% [14] в порівнянні з дизельним паливом. Знизити концентрацію NO_x в відпрацьованих газах дизеля при роботі на біодизельному паливі можливо шляхом зміни кута випередження впорскування. Результати досліджень автотракторного дизеля Д-240 при роботі на метиловому ефірі ріпакової олії [15] показали, що при зниженні кута випередження впорскування на 2...3 град. повороту колінчастого вала досягається зниження концентрації NO_x в відпрацьованих газах в середньому на 14% в порівнянні з дизельним паливом.

Викиди сажі з відпрацьованими газами дизеля суттєво знижуються при роботі на всіх зразках біодизельного палива. В залежності від вихідної сировини різниця між викидами сажі при роботі на дизельному та біодизельних паливах коливається в діапазоні від 40% для метилових ефірів ріпакової олії [12] до 68% для метилових ефірів соєвої олії [14].

Зміна вмісту шкідливих компонентів в відпрацьованих газах дизеля при роботі на біодизельному паливі пов'язана, в першу чергу, з вмістом кисню (близько 11%) в молекулі біодизельного палива, що сприяє підвищенню температури та інтенсивності згоряння палива. Негативним наслідком зростання температури в циліндрах дизеля являється підвищення концентрації оксидів азоту в відпрацьованих газах, що потребує зміни налаштування паливної апаратури двигуна.

Висновки.

З широкого переліку альтернативних палив, які можуть замінити дизельні палива нафтового походження, для автомобільних дизелів, що знаходяться в експлуатації, найбільш раціонально використовувати біодизельне паливо. Використання палива з відновлювальних ресурсів рослинного походження дозволяє знизити споживання нафти та зменшити емісію CO_2 в навколишнє середовище. Не залежно від вихідної сировини, біодизельне паливо дозволяє знизити вміст основних шкідливих компонентів в відпрацьованих газах (CO , C_mH_n , сажа). Для зниження вмісту оксидів азоту в відпрацьованих газах необхідно знизити кут випередження впорскування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. World oil outlook 2040. (2018). OPEC Secretariat. Vienna.
2. ACEA Report. Vehicles in use Europe 2018. (2018). European Automobile Manufacture's Association. Brussels.
3. Hooftman, N. Analysis of Petrol, Diesel and Electric Passenger Cars in a Belgian Urban Setting / N. Hooftman, L. Oliveira, M. Messagie., T. Coosemans, J.V. Mierlo // Environmental Energies 9 (2), 84, 2016, 10.3390/en9020084
4. Клементьев С. М. Автомобильные топлива XXI века: учебное пособие / С. М. Клементьев, В. М. Пономарев, В. М. Федоров. – Екатеринбург.: Изд-во института экономики УрО РАН, 2008. – 139 с.
5. Гайворонский А. И. Использование природного газа и других альтернативных топлив в дизельных двигателях / А. И. Гайворонский, В. А. Марков, Ю.В. Илатовский. – М.: ИРЦ «Газпром», 2007. – 480 с.
6. Марков В. А. Спиртовые топлива для дизельных двигателей / В. А. Марков, Н. Н. Патрахальцев // Транспорт на альтернативном топливе. – 2009. – №6 (12). – С. 40 – 46.
7. Марков В. А. Работа дизеля на нетрадиционных топливах: Учебное пособие / В. А. Марков, А. И. Гайворонский, Л. В. Грехов и др. – М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2008. – 464 с.
8. Забарний Г. М. Термодинамічна ефективність та ресурси рідкого біопалива України / Г. М. Забарний, С. О. Кудря, Г. Г. Кондратюк, Г. О. Четверик. – К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України. Відділ відновлюваних органічних енергоносіїв, 2006. – 226 с.
9. Корпач А. О. Проблеми використання біодизельного палива в автомобільних двигунах / А. О. Корпач, О. О. Левківський, О. А. Корпач // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2010. – №2(53). – С. 71 – 73.
10. Knothe G. The biodiesel handbook. 2nd edition/ G. Knothe, J. Van Gerpen, J. Krahle. – Urbana, Illinois, 2015. – 494 p.
11. Корпач А. О. Можливості та перспективи використання біопалива в дизелях / А. О. Корпач, О. О. Левківський // Автошляховик України. Окремий випуск. – 2009. – №12. – С. 156 – 158.
12. Корпач А. О. Результати стендових випробувань автотракторного дизеля за роботи на дизельному та біодизельному паливах / А. О. Корпач, О. О. Левківський // Systems and means of motor transport. Selected problems. – 2010. – №1. – С. 115 – 118.
13. Dragos Tutunea. Analysis of performance and emissions of diesel engine using sunflower biodiesel / Dragos Tutunea, Ilie Dumitru // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 252, conference 1. – 2017.
14. Celikten I. Comparison of performance and emissions of diesel fuel, rapeseed and soybean oil methyl esters injected at different pressures / I. Celikten, A. Koca, M.A. Arslan // Renew Energy. – 2010. – №35. – P 814 – 820.
15. Корпач А. О. Вибір оптимального кута випередження впорскування для автотракторного дизеля за роботи на біодизельному паливі / А. О. Корпач, О. О. Левківський // Вісник СевНТУ. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – 2011. – № 121. – С. 118 – 120.

REFERENCES

1. World oil outlook 2040. (2018). OPEC Secretariat. Vienna.
2. ACEA Report. Vehicles in use Europe 2018. (2018). European Automobile Manufacture's Association. Brussels.
3. Hooftman, N.; Oliveira, L.; Messagie, M.; Coosemans, T.; Van Mierlo, J. Environmental Analysis of Petrol, Diesel and Electric Passenger Cars in a Belgian Urban Setting. *Energies* 2016, 9, 84, 10.3390/en9020084
4. Klementev, S. M., Ponomarev, V. M., Fedorov, V. M. (2008) *Avtomobilnyie topliva XXI veka: ucheb noe posobie [Automotive fuels of the 21st century: study guide]*. Ekaterinburg: Instituta ekonomiki UrO RAN [in Russian].
5. Gayvoronskiy, A. I., Markov, V. A., Ilatovskiy, Yu. V. (2007) *Ispolzovanie prirodnogo gaza i drugih alternativnykh topliv v dizelnykh dvigatelyakh [Using natural gas and other alternative fuels in diesel engines]*. Moscow: IRTs «Gazprom» [in Russian].
6. Markov, V. A. & Patrahaltsev, N. N. (2009) Spirtovyye topliva dlya dizelnykh dvigateley [Alcohol fuels for diesel engines] *Transport na alternativnom toplive – Alternative fuel vehicles*, 6 (12), 40-46 [in Russian].
7. Markov, V. A., Gayvoronskiy, A. I., Grehov, L. V. (2008) *Rabota dizelya na netraditsionnykh toplivakh: Uchebnoe posobie [Operation of diesel engine on alternative fuels: Tutoria]*. Moscow: Legion-Avtodata [in Russian].
8. Zabarnyi, H. M., Kudria, S. O., Kondratiuk, H. H., Chetveryk, H. O. (2006) *ermodynamichna efektyvnist ta resursy ridkoho biopalyva Ukrainy [Thermodynamic efficiency and resources of liquid biofuels in Ukraine]*. Kyiv: Instytut vidnovliuvanoi enerhetyky NAN Ukrainy. Viddil vidnovliuvanykh orhanichnykh enerhonosiiv [in Ukrainian].
9. Korpach, A. O., Levkivskiy, O. O., Korpach, O. A. (2010) Problemy vykorystannia biodyzelnoho palyva v avtomobilnykh dvyhunakh [Problems of using biodiesel fuel in automobile engines] *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Bulletin of the Zhytomyr State Technological University*. 2(53), – 71-73 [in Ukrainian].
10. Gerhard Knothe, Jürgen Krahl, Jon Van Gerpen (2015) *The biodiesel handbook. 2nd edition*. Urbana, Illinois.
11. Korpach, A. O., Levkivskiy, O. O. (2009) Mozhlyvosti ta perspektyvy vykorystannia biopalyva v dyzelakh [Opportunities and prospects of biofuel use in diesel engines] *Avtoshliakhovyk Ukrainy. Okremyi vypusk.– The car of Ukraine. Installment*, 12. 156-158 [in Ukrainian].
12. Korpach, A. O., Levkivskiy, O. O. (2010) Rezultaty stendovykh vyprobuvan avtotraktornoho dyzelja za roboty na dyzelnomu ta biodyzelnomu palyvakh [Results of automotive diesel engine bench testing operation on diesel and biodiesel fuels] *Systems and means of motor transport. Selected problems. 1*. 115-118. [in Ukrainian].
13. Dragos Tutunea & Ilie Dumitru (2017) Analysis of performance and emissions of diesel engine using sunflower biodiesel IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 252, conference 1
14. Celikten, I., Koca, A., Arslan, M. A. (2010) Comparison of performance and emissions of diesel fuel, rapeseed and soybean oil methyl esters injected at different pressures. *Renew Energy*, 35.814–820.
15. Korpach, A. O., Levkivskiy, O. O. (2010) Vybir optymal'nogho kuta vyperedzhennja vporskuwannja dlja avtotraktornogho dyzelja za roboty na biodyzel'nomu palyvi [Selection of optimal fuel injection advance angle for a tractor-type diesel engine operation on biodiesel fuel] *Visnyk SevNTU. Bulletin of SevNTU*. 121. 118-120. [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Корпач А.О. Сучасні напрямки використання альтернативних палив в автомобільних дизелях. / А.О. Корпач, О.О. Левківський // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

В статті розглянуто сучасний стан та перспективи використання альтернативних палив в дизелях автомобілів, що перебувають в експлуатації.

Об'єкт дослідження – альтернативні дизельні палива.

Мета роботи – визначення найбільш ефективного альтернативного палива для автомобільних дизелів, що перебувають в експлуатації, з метою зменшення споживання палив нафтового походження та зниження викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами.

Метод дослідження – аналітичний.

Розглянуто ряд груп альтернативних палив, що можуть використовуватись в автомобільних дизелях, проаналізовано переваги та недоліки кожної групи палива. Встановлено, що найбільш повно поставленим вимогам відповідають альтернативні палива, що одержані з рослинних олій – біодизельні палива. Виконано аналіз ефективності застосування біодизельного палива з ріпакової, соняшникової і соєвої олій з точки зору зміни паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів в порівнянні з дизельним паливом мінерального походження. Встановлено, що розглянуті біодизельні палива, можливо використовувати в автомобільних дизелях, що дозволить знизити споживання палив нафтового походження. Використання біодизельних палив, крім того, дозволяє зменшити забруднення навколишнього середовища парниковими та токсичними компонентами відпрацьованих газів. Встановлено, що при роботі дизеля на біодизельних паливах знижується вміст моно оксидів вуглецю, вуглеводнів та сажі в відпрацьованих газах. Для зниження вмісту оксидів азоту в відпрацьованих газах необхідно зменшити початковий кут випередження впорскування.

Результати висвітлені в статті можуть бути використані для подальших досліджень ефективності використання альтернативних дизельних палив.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АЛЬТЕРНАТИВНІ ПАЛИВА, ДИЗЕЛЬ, БІОДИЗЕЛЬНЕ ПАЛИВО, ЕКОЛОГІЯ

ABSTRACT

Korpach A.A., Levkovsky A.A. Modern ways of using alternative fuels in automobile diesel engines. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article considers the current state and prospects for alternative fuels using in diesel engines of vehicles that are in operation.

The object of study – alternative diesel fuels.

The purpose of the work – determine the most efficient alternative fuel for automotive diesel engines that are in operation, with the aim of reducing the consumption of oil fuels and reducing emissions of harmful substances with exhaust gases.

The research method – analytical.

A number of groups of alternative fuels that can be used in automotive diesel engines are considered, the advantages and disadvantages of each group of fuels are analyzed. It has been established that alternative fuels derived from vegetable oils – biodiesel fuels – meet the most fully met requirements. Comparison of the effectiveness of biodiesel fuel from rapeseed, sunflower and soybean oil in terms of changes in fuel efficiency and toxicity of exhaust gases compared to diesel fuel of mineral origin. It has been established that the considered biodiesel fuels may be used in automotive diesel engines, which will reduce fuel consumption of petroleum origin. The use of biodiesel fuels, in addition, reduces environmental pollution by greenhouse and toxic exhaust gases. It has been established that when a diesel engine runs on biodiesel fuels, the content of the main harmful components in exhaust gases (mono-oxides of carbon, hydrocarbons, soot) decreases. To reduce the content of nitrogen oxides in the exhaust gases, it is necessary to reduce the initial injection advance angle.

The results shown in the article can be used for further research on the alternative diesel fuels using effectiveness.

KEYWORDS: ALTERNATIVE FUEL, DIESEL, BIODIESEL FUEL, ECOLOGY

РЕФЕРАТ

Корпач А.А. Современные направления использования альтернативных топлив в автомобильных дизелях. / А.А. Корпач, А.А. Левковский // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье рассмотрены современное состояние и перспективы использования альтернативных топлив в дизелях автомобилей, которые находятся в эксплуатации.

Объект исследования – альтернативные дизельные топлива.

Цель работы – определение наиболее эффективного альтернативного топлива для автомобильных дизелей, которые находятся в эксплуатации, с целью снижения потребления топлив нефтяного происхождения и снижение выбросов вредных веществ с отработавшими газами.

Метод исследования – аналитический.

Рассмотрен ряд групп альтернативных топлив, которые могут использоваться в автомобильных дизелях, проанализированы преимущества и недостатки каждой группы топлив. Установлено, что наиболее полно предъявляемым требованиям соответствуют альтернативные

топлива, полученные из растительных масел – биодизельные топлива. Выполнено анализ эффективности применения биодизельного топлива из рапсового, подсолнечного и соевого масла с точки зрения изменения топливной экономичности и токсичности отработанных газов по сравнению с дизельным топливом минерального происхождения. Установлено, что рассмотренные биодизельные топлива возможно использовать в автомобильных дизелях, что позволит снизить потребление топлива нефтяного происхождения. Использование биодизельных топлив, кроме того, позволяет уменьшить загрязнение окружающей среды парниковыми и токсичными компонентами отработавших газов. Установлено, что при работе дизеля на биодизельных топливах снижается содержание моно оксидов углерода, углеводов и сажи в отработавших газах. Для снижения содержания оксидов азота в отработавших газах, необходимо уменьшить начальный угол опережения впрыска.

Результаты, показанные в статье, могут быть использованы для дальнейших исследований эффективности использования альтернативных дизельных топлив.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТОПЛИВА, ДИЗЕЛЬ, БИОДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО, ЭКОЛОГИЯ

АВТОРИ:

Корпач Анатолій Олександрович, кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри двигунів і теплотехніки, e-mail: akorpach@ukr.net, тел. +380931203905, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1. к.303, orcid.org/0000-0002-7070-7883

Левківський Олександр Олександрович, кандидат технічних наук, фахівець з технічної підтримки, Товариство з обмеженою відповідальністю «Віннер ЛТД», e-mail: oleksandr.levkivskyi@gmail.com, тел. +380677976448, Україна, 03164, м. Київ, вул. Клавдіївська 40Б, orcid.org/0000-0002-2951-2312

AUTHORS:

Korpach Anatolii O., Ph.D., National Transport University, professor department of engines and heating engineering, e-mail: akorpach@ukr.net, тел. +380931203905, Ukraine, 01010, Kyiv, Mykhaila Omelianovycha – Pavlenka Str., of. 303, orcid.org/0000-0002-7070-7883

Levkivskyi Oleksandr Oleksandrovich, Ph.D., technical support specialist, Limited Liability Company «Winner LTD», e-mail: oleksandr.levkivskyi@gmail.com, tel. +380677976448, Ukraine, 03164, Kyiv, Klavdiivska 40B, orcid.org/0000-0002-2951-2312

АВТОРЫ:

Корпач Анатолий Александрович, кандидат технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры двигателей и теплотехники, e-mail: akorpach@ukr.net, тел. +380931203905, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1. к. 303, orcid.org/0000-0002-7070-7883

Левковский Александр Александрович, кандидат технических наук, специалист с технической поддержки, Общество с ограниченной ответственностью «Виннер ЛТД», e-mail: oleksandr.levkivskyi@gmail.com, тел. +380677976448, Украина, 03164, г. Киев, ул. Клавдиевская 40Б, orcid.org/0000-0002-2951-2312

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Кравченко О.П., доктор технічних наук, професор, Державний університет «Житомирська політехніка», завідувач кафедри автомобілів і транспортних технологій, Житомир, Україна.

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

REVIEWER:

Kravchenko O.P., Engineering (Dr.), professor, Zhytomyr Polytechnic State University, head of automobiles and transport technologies department, Zhytomyr, Ukraine.

Sakhno V.P., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, head of the automobiles department, Kyiv, Ukraine.

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА
ПРИ ЙОГО РОБОТІ НА СУМІШАХ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА
ОДЕРЖАНОГО З СИНЕ-ЗЕЛЕНИХ ВОДОРОСТІВ**

Крижанівський Є.І., доктор технічних наук, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна, trans@nung.edu.ua, orcid.org/0000-0001-6315-1277

Криштона С.І., доктор технічних наук, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна, trans@nung.edu.ua, orcid.org/0000-0001-7899-8817

Криштона Л.І., кандидат технічних наук, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна, trans@nung.edu.ua, orcid.org/0000-0002-5274-0217

Гніп М.М., Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна, marichka_gnip@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3662-0941

Микитій І.М., Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна, trans@nung.edu.ua, orcid.org/0000-0002-8925-6349

**EXPERIMENTAL STUDIES OF DIESEL ENGINE INDICATORS WORKING ON THE
MIXTURES OF BIODIESEL FUELS RECEIVED FROM BLUE-GREEN ALGAE**

Kryzhanivskiy, Ye.I., Doctor of Technical Science, , Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine, trans@nung.edu.ua, orcid.org/0000-0001-6315-1277

Kryshtopa S.I., Doctor of Technical Science, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine, trans@nung.edu.ua, orcid.org/0000-0001-7899-8817

Kryshtopa L.I., Ph.D., Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine, trans@nung.edu.ua, orcid.org/0000-0002-5274-0217

Hnyr M.M., Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine, marichka_gnip@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3662-0941

Mykytii I.I., Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine, trans@nung.edu.ua, orcid.org/0000-0002-8925-6349

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЬНОГО
ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ЕГО РАБОТЕ НА СМЕСЯХ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА
ПОЛУЧЕННОГО ИЗ СИНЕ-ЗЕЛЕННЫХ ВОДОРОСЛЕЙ**

Крижановский Е.И., доктор технических наук, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина, trans@nung.edu.ua, orcid.org/0000-0001-6315-1277

Крыштона С.И., доктор технических наук, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина, trans@nung.edu.ua, orcid.org/0000-0001-7899-8817

Крыштона Л.И., кандидат технических наук, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина, trans@nung.edu.ua, orcid.org/0000-0002-5274-0217

Гнип М.М., Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина, marichka_gnip@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3662-0941

Микитий И.М., Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина, trans@nung.edu.ua, orcid.org/0000-0002-8925-6349

Problem solving in general and its connection with important scientific or practical tasks

It should be noted that cheap and light oil is suitable for its exhaustion and exploration of new deposits and extraction with subsequent processing of hard-to-reach high-grade and high-viscosity grades of oil

requires large investments, the world is predicted to be unavoidably increased in prices for motor fuel. To increased requirements for environmental protection from harmful emissions from exhaust gases of internal combustion engines, there was also a serious problem with ensuring the quality of motor fuels. Process of sulphur content reducing in diesel fuels has led to a loss of a number of consumer properties. Therefore, in order to improve the lubricating properties of environmentally friendly diesel fuels, it is necessary to add anti-wearing additives in them.

Thus, today there is a multifaceted topical problem of ensuring needs of Ukrainian and European automobile transport in high-quality and environmentally friendly diesel fuel. One of the main directions for solving this problem is usage of renewable energy sources from plant biomass. At the same time, the rapid growth of production and consumption of biodiesel fuel from vegetable oils of food use in many countries of the world led to a disturbance of the balance in the structure of agro-industrial production and began to generate problems of the socio-ethical and ecological plan.

One of promising further way of biodiesel fuel developing is usage of biomass of algae, which as energy raw materials exceeds other raw bioresource by its characteristics. However, the widespread adoption of biofuel from algae as an additive to motor fuel is hampered by the insufficient study currently being undertaken on the use of biofuels in automotive engines that are made from these biomaterials. Therefore, research on the use of biofuels in automobile engines created from a large range of existing algae is opportune and relevant.

Analysis of recent research and publications

In conditions of modern production biofuels are derived from vegetable oils by the reaction of transesterification [1]. This reaction does not require complicated process equipment and high temperatures, and the resulting mixture of esters is little different from hydrocarbons of petroleum fuels with the best environmental and lubricating properties [2].

Using biodiesel from land crops a significant reduction in emissions of particulate matter (soot), carbon monoxide (II) and hydrocarbons (including carcinogens) has been found to be significant in comparison with the use of petroleum fuels [3].

The high temperature of fuel ignition (above 120 °C) makes usage, storage, and transportation of biodiesel fuel safer in comparison to diesel fuel of petroleum origin [4]. Another significant advantage of biodiesel is its ability to biodegrade unlike petroleum [5].

Biofuels from terrestrial crops (rape, sunflower, etc.) are successfully used in existing engines, extending the life of engines, and having a high cetane number [6]. Usage of biofuels as a bio additive to petroleum diesel can improve the environmental and anti-wear properties of fuels [7].

Using algae as biomaterials for the production of motor fuels, there are a number of advantages [8]: algae during the growth process absorb 80-90 % of carbon dioxide with oxygen release; for the cultivation of algae you can use waste and saline water; algae, unlike terrestrial plants, grow year-round. It has been established that bioavailability and lipid content of algae depend on the intensity of light [9]. High intensity of light leads to the accumulation of lipids in algae. Algae consume mainly light in red and blue ranges.

Low mixing of water intensifies heat and mass transfer processes in algae, promotes movement of cells into the area of illumination and increases the bioproductivity of algae [10]. It was established that the concentration of carbon dioxide [11] has a significant effect on the yield of algae. Therefore, increasing of carbon concentration of dioxide from 4 to 22 % lets to increase biomass yield of algae from four to five times.

Formation of the purposes of the article

Algae are the oldest and most persistent organisms on the Earth which arose about 350 million years ago and lives in fresh and salt water, in soil and even in snow. Among all the diversity of existing algae, the authors of the study were selected blue-green algae Cyanophyta family Chroococccles. These algae lead to intensive «flowering» of reservoirs in Ukraine and Europe, with each year the extent of pollution of the surface of water significantly increases. The proliferation of blue-green algae leads to water rotting, the destruction of aquatic ecosystems and the destruction of rivers and lakes. The most effective way to clean the reservoirs is to use algae as fuel.

Therefore, the purposes of this article are experimental studies:

- changes in the performance characteristics of automotive diesel engines when used in these diesel fuel oil engines and their mixtures with biofuels derived from blue-green algae.
- changes in the environmental performance of automotive diesel engines with the use of petroleum diesel and their mixtures with biofuels derived from blue-green algae.

Presentation of the main research material

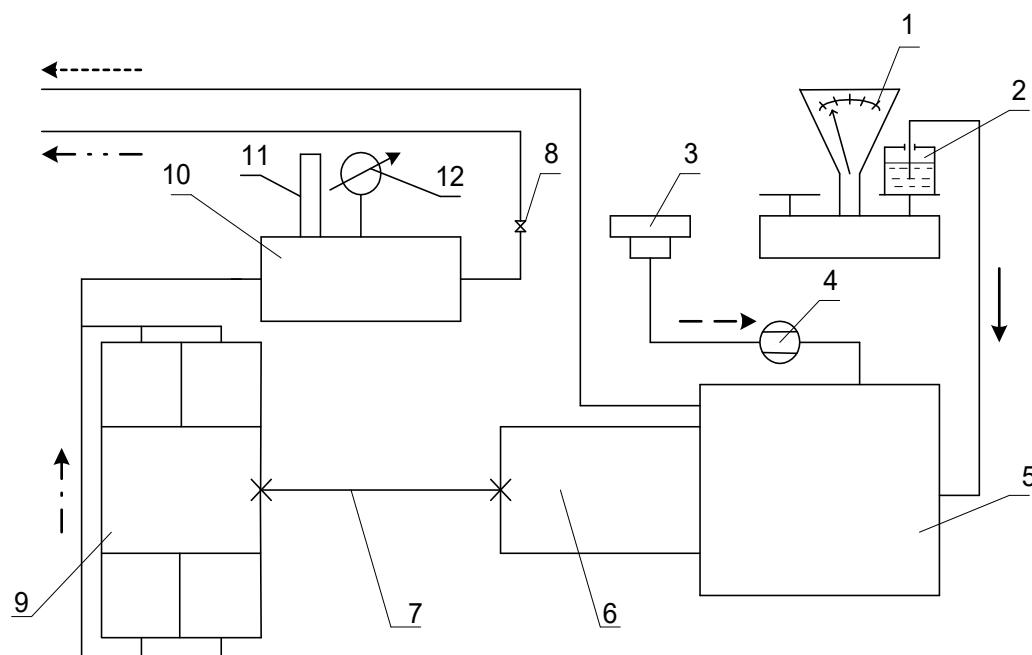
Stand tests were carried out on an experimental installation, which included a series diesel D21A1, a short technical characteristic of which is given in Table 1. The scheme and appearance of the diesel engine D21A1 are shown in Fig. 1. The loading for the engine D21A1 (5) is created by a four-stage four-cylinder compressor of the brand K-5M (9). The power of the K-5M compressor shaft can be adjusted in the range of one to thirty five kW which allows the diesel engine to be 100 % loaded. The torque from the D21A1 engine to the compressor is transmitted using the gearbox (5) and the gearbox (7).

Table 1 – Brief Technical Characteristics of the Experimental Diesel Engine D21A1

№ п/п	Name of engine parameters	Unit of measurement	Value
1	Type of diesel	–	Four-stroke, two-cylinder, air-cooled
2	Working volume	l	2,08
3	Method of mixing Method of mixing	–	Separate combustion chamber with direct injection of diesel fuel
4	Nominal engine power	kW (hp)	18 (25)
5	Effective specific fuel consumption	g / kWh (g / hr..h)	253 (186)
6	Frequency of the crankshaft rotation of engine at nominal power	r/m	1800
7	Frequency of the crankshaft rotation of engine at idle speeds	r/m	800
8	The mass of diesel engine	kg	280



a)



b)

Figure 1 – Appearance (a) and scheme of the experimental installation on the basis of the diesel engine D21A1 (b) for studding of engine indicators on biodiesel mixtures: $\longrightarrow$ – direction of fuel movement in power system of experimental installation; $\dashrightarrow$ – direction of air movement in power system of experimental installation; $\cdashrightarrow$ – air flow to the receiver; $\cdots\cdots\cdots$ – motion of exhaust gases into environment; $\cdots\cdots\cdots$ – motion of air into environment; 1 – scales for measuring of fuel consumption; 2 – volume for biodiesel fuel; 3 – air filter; 4 – gasometer; 5 – experimental diesel engine; 6 – gearbox; 7 – Cardan transmission; 8 – throttle; 9 – compressor; 10 – receiver; 11 – thermometer for measuring air temperature; 12 – manometer.

Blue-green algae were collected from reservoirs around Ivano-Frankivsk region (Fig. 2a) for harvesting biofuels in the summer time, and in winter they were cultivated in phytobio-reactors (Fig. 2b).



a)



b)

Figure 2 – Sources of harvesting of blue-green algae for biofuel production: natural reservoirs (a); artificial bioreactors (b)

Photobioreactor is a 60-liter transparent tank with fluorescent lamps illuminated. Algae cultivates with cycles of 14 days. Gas-air mixture inputs into this reactor using compressor and a carbonaceous cylinder on volume of 1 meter cubic in a day (carbon dioxide – 8 %). Drying of biomass was carried out in a drying cabinet to a level of humidity of 10 %.

The dietary supplement was obtained by the reaction of methanolysis of vegetable oils in the presence of a homogeneous catalyst. Pretty alcohol solution was prepared. A mixture of methyl alcohol (95,7 %) and potassium hydroxide (4,3 %) was used for its preparation. Then the prepared solution and the lipid components of the algae were fed into the apparatus, where the mixing of the reaction products and the synthesis of the dietary supplement took place. Further, the reaction mass was separated in a separator from glycerol. The resulting bioadditives were purified from impurities by an aqueous solution of orthophosphoric acid, and the residues of water evaporated. The resulting dietary supplement was mixed with petroleum diesel fuel.

Calculations have shown that combustion heat of obtained methyl esters is 35,5 MJ / kg. It should be noted that after extraction of fats dry biomass can be additionally used with combustion heat of 15,5 MJ / kg.

Thus, in experimental studies diesel fuel mixtures with derived bioactive compounds based on methyl esters of *Chroococccles*, blue-green algae, in quantities of 5, 10 and 20 % and for comparison pure diesel fuel were used. In this case, the fuel tank was filled with diesel fuel of mark L of the Kremenchug oil refinery.

Volumetric particles of carbon monoxide and hydrocarbons were measured by the gas analyzer «Autotest-02.03P». The range of measurements of hydrocarbon gas analyzer is 0-2000 ppm, the absolute measurement error is 10 ppm. The range of measurement of carbon monoxide gas analyzer is 0-5 %, the absolute measurement error is 0,03%. For finding temperatures of exhaust gases thermocouples of the type «chromel-copel» and the log-meter-potentiometer UP-2M were used.

For comparative estimation of the engine indexes on diesel fuel with corresponding indicators of a diesel engine on a mixture of diesel fuel with bioactive additives on the basis of methyl esters of the lipid fraction of blue-green algae in the amount of 5, 10 and 20 % the load characteristics of the engine were removed at fixed speeds of the crankshaft. Before measuring the parameters for a stable running of the working process the engine worked at least 5 minutes in the given mode. The results of the measurements were entered in the protocol of trials with a threefold repetition at each mode of operation of the diesel engine.

As a result of performed experimental researches the dependences of the change of the effective engine power using of diesel fuel and a mixture of diesel fuel with the received bioactive supplements based on methyl esters of the lipid fraction of blue-green algae *Chroococccles* in the amount of 5, 10 and 20 % (Fig. 3) were determined. It has been experimentally established that the effective power of an engine using a mixture of diesel fuel with the derived bioactive compounds based on methyl esters of the lipid fraction of blue-green algae *Chroococccles* in the amount of 5, 10 and 20 % will decrease by an average of 0,9, 1,8 and 3,5 %.

As a result of the performed experimental research dependence of changes in the content of the CnHm hydrocarbons on the crankshaft speed of the engine n at the nominal loading for the various content of the dietary supplements on the basis of methyl esters of the lipophilic fraction of blue-green algae *Chroococccles* in the amount of 5, 10 and 20 % (Fig. 4) and the dependence of the change in the content of carbon monoxide CO on the rotational speed of the crankshaft engine n at the nominal load for the various contents of bioadditives on the basis of methyl esters of the lipid fraction of blue-green algae *Chroococccles* in the amount of 5, 10 and 20 % (Fig. 5).

It has been experimentally established that the content of CnHm hydrocarbons using of a mixture of diesel fuel with the derived dietary supplements based on methyl esters of the lipid fraction of blue-green algae *Chroococccles* in the amount of 5, 10 and 20 % will decrease by an average of 6,2, 13,1 and 26,6 %. It has been experimentally determined that the content of carbon monoxide in the use of a mixture of diesel fuel with the derived bioactive compounds based on methyl esters of the lipid fraction of blue-green algae *Chroococccles* in the amount of 5, 10 and 20 % will decrease by an average of 6,5, 13,9 and 28,7 %.

Conclusions and perspectives of further researches

1. Synthetic methyl ester of lipid fraction was used as an additive of 5 – 20 % to conventional diesel fuel. In the course of experimental tests it was established that on different blends of biodiesel and diesel fuels difference in power characteristics is observed in the range of 0,9-3,5 % which from the operational point of view is not a significant difference.

2. At the same time, increasing of bioadditive in biodiesel fuel environmental performance of the engines is significantly improved and content of unburnt hydrocarbons and carbon monoxides is significantly reduced. The lowest rates were recorded when using a biodiesel mixture containing 20 % of bioadditives. The content of hydrocarbons and oxides of carbon in diesel fuel with bio-additives on the basis of methyl esters of the lipid fraction of blue-green algae *Chroococccles* decreased by 26,6 % and 28,7 % respectively.

The obtained results allow to optimize the choice of fuels for power systems of internal combustion engines and to reduce emissions of harmful substances in exhaust gases of automobile diesel engines. Further research will be related to the definition of fuel consumption and emissions of nitrogen oxides in exhaust gases of diesel engines converted to work on alternative fuels with bioactive additives based on methyl esters of algae.

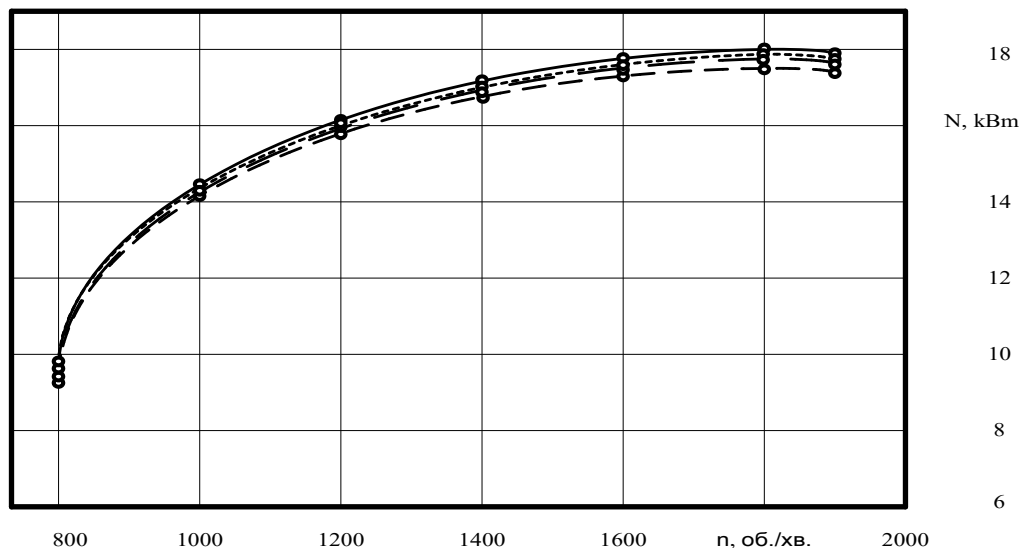


Figure 3 – Experimental dependencies of effective power N with respect to crankshaft rotational frequency n of the various contents of bioadditives: — engine work on 100 % petroleum diesel fuel; engine work on the mixture of 95 % petroleum diesel and 5 % methyl esters; - - - engine work on a mixture of 90 % of petroleum diesel and 10 % of methyl esters; - - - - engine work on a mixture of 80 % of petroleum diesel and 20 % of methyl esters

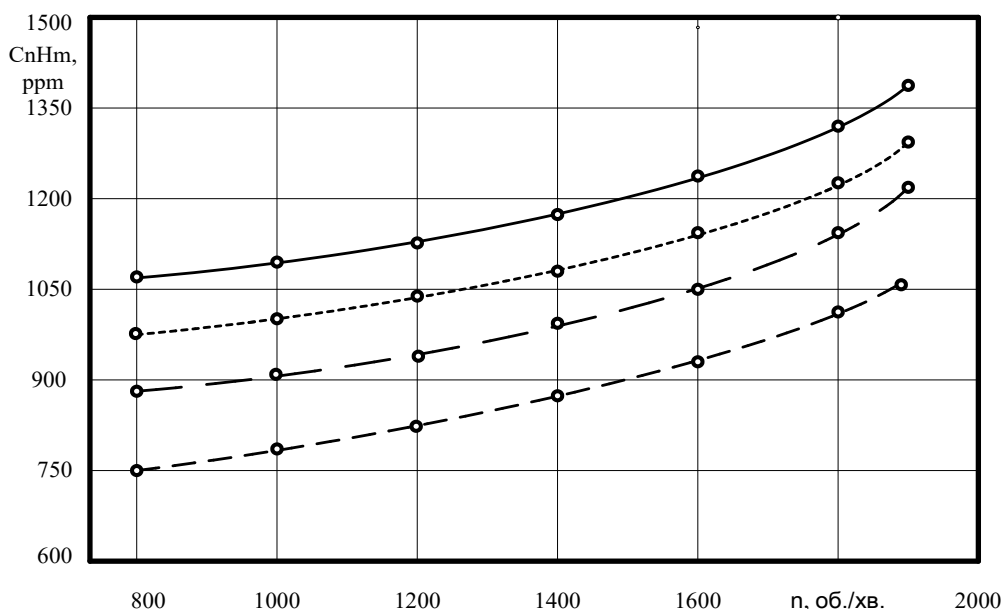


Figure 4 – Experimental dependencies of the content of hydrocarbons C_nH_m with respect to rotational frequency of the crankshaft engine n at nominal loading for different contents of bioadditives: — engine work on 100% petroleum diesel fuel; engine work on a mixture of 95 % petroleum diesel and 5 % methyl esters; - - - engine work on a mixture of 90 % of petroleum diesel and 10 % of methyl esters; - - - - engine work on a mixture of 80 % of petroleum diesel and 20 % of methyl esters

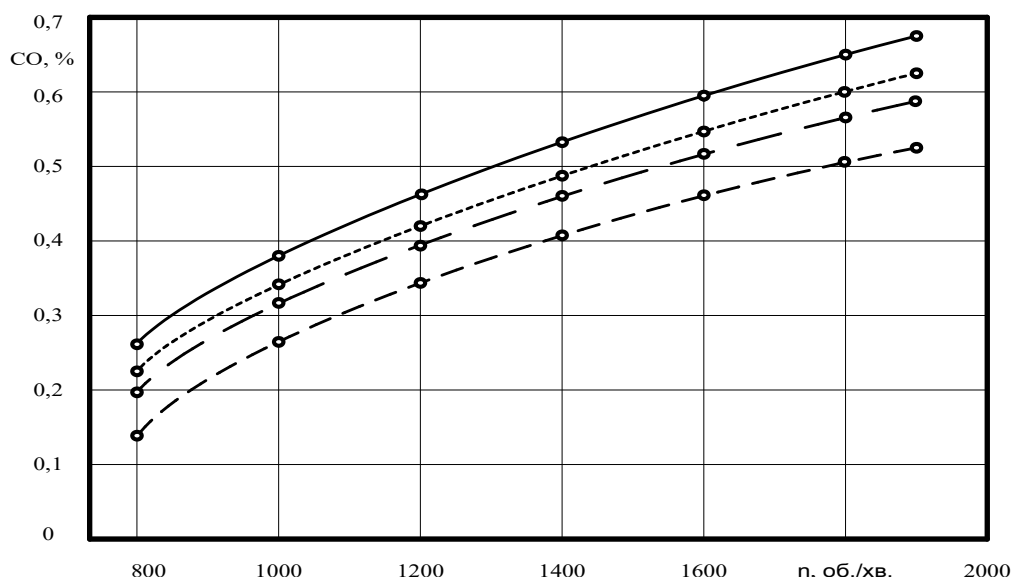


Figure 5 – Experimental dependencies of carbon monoxide CO content with respect to crankshaft rotational frequency n at nominal loads for different contents of bioadditives: — engine work on 100 % petroleum diesel fuel; engine work on a mixture of 95% petroleum diesel and 5 % methyl esters; - - - engine work on a mixture of 90 % of petroleum diesel and 10% of methyl esters; - - - engine work on a mixture of 80 % of petroleum diesel and 20 % of methyl esters

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Awolu, O. O., and Layokun, S. K. (2013). Optimization of two-step transesterification production of biodiesel from neem (*Azadirachta indica*) oil. *Int. J. Energy Environ.* 4, 39. doi:10.1186/2251-6832-4-39.
2. Wang, M., Wu, W., Wang, S., Shi, X., Wu, F., Wang, J. (2015). Preparation and Characterization of a Solid Acid Catalyst from Macro Fungi Residue for Methyl Palmitate Production. *BioResources*, 10 (3), 5691–5708. doi: 10.15376/biores.10.3.5691-5708.
3. Eggert, H., Greiner M. (2014). Promoting Second Generation Biofuels: Does the First Generation Pave the Road? *Energies*. 7 (7), 4430-4445. doi: 10.3390/en7074430.
4. Ghosh P. (2015) Biofuels: Engineering and Biological Challenges. *Proceedings of Indian National Science Academy*, 81 (4), 765-773. doi: 10.16943/ptinsa/2015/v81i4/48295.
5. MARINESCU, C., CICEA, C. (2018). What Do We Know about Biofuels Today that Diesel and Ford Did Not? *Management and Economics Review*, 3 (2), 213-224. doi: 10.24818/mer/2018.12-07.
6. Haas, M. I., and Wagner, K. (2011). Simplifying biodiesel production: the direct or in situ transesterification of algal biomass. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 113, 1219–1229. doi: 10.1002/ejlt.201100106.
7. Nascimento, I. A., Marques, S. S. I., Cabanelas, I. T. D., Pereira, S. A., Druzian, J. I., de Souza, C. O. (2013). Screening microalgae strains for biodiesel production: lipid productivity and estimation of fuel quality based on fatty acids profiles as selective criteria. *Bioenerg. Res.* 6, 1–13. doi:10.1007/s12155-012-9222-2
8. Behera, S., Singh, R., Arora, R., Sharma, N., Shukla, M., Kumar, S. (2015). Scope of algae as third generation biofuels, 2, 90. doi: 10.3389/fbioe.2014.00090.
9. Afify, A. M. M., Shanab, S. M., and Shalaby, E. A. (2010). Enhancement of biodiesel production from different species of algae. *Grasas y Aceites* 61, 416–422. doi: 10.3989/gya.021610
10. Chen, C. Y., Zhao, X. Q., Yen, H. W., Ho, S. H., Cheng, C. L., Bai, F. (2013). Microalgae-based carbohydrates for biofuel production. *Biochem. Eng. J.* 78, 1–10. doi:10.1016/j.bej.2013.03.006.
11. Ho, S. H., Chen, C. Y., Lee, D. J., and Chang, J. S. (2011). Perspectives on microalgal CO₂-emission mitigation systems-a review. *Biotechnol. Adv.* 29, 189–198. doi:10.1016/j.biotechadv.2010.11.001.

REFERENCES

1. Awolu, O. O., and Layokun, S. K. (2013). Optimization of two-step transesterification production of biodiesel from neem (*Azadirachta indica*) oil. *Int. J. Energy Environ.* 4, 39. doi:10.1186/2251-6832-4-39.
2. Wang, M., Wu, W., Wang, S., Shi, X., Wu, F., Wang, J. (2015). Preparation and Characterization of a Solid Acid Catalyst from Macro Fungi Residue for Methyl Palmitate Production. *BioResources*, 10 (3), 5691–5708. doi: 10.15376/biores.10.3.5691-5708.

3. Eggert, H., Greiner M. (2014). Promoting Second Generation Biofuels: Does the First Generation Pave the Road? *Energies*. 7 (7), 4430-4445. doi: 10.3390/en7074430.
4. Ghosh P. (2015) Biofuels: Engineering and Biological Challenges. *Proceedings of Indian National Science Academy*, 81 (4), 765-773. doi: 10.16943/ptinsa/2015/v81i4/48295.
5. MARINESCU, C., CICEA, C. (2018). What Do We Know about Biofuels Today that Diesel and Ford Did Not? *Management and Economics Review*, 3 (2), 213-224. doi: 10.24818/mer/2018.12-07.
6. Haas, M. I., and Wagner, K. (2011). Simplifying biodiesel production: the direct or in situ transesterification of algal biomass. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 113, 1219–1229. doi: 10.1002/ejlt.201100106.
7. Nascimento, I. A., Marques, S. S. I., Cabanelas, I. T. D., Pereira, S. A., Druzian, J. I., de Souza, C. O. (2013). Screening microalgae strains for biodiesel production: lipid productivity and estimation of fuel quality based on fatty acids profiles as selective criteria. *Bioenerg. Res.* 6, 1–13. doi:10.1007/s12155-012-9222-2
8. Behera, S., Singh, R., Arora, R., Sharma, N., Shukla, M., Kumar, S. (2015). Scope of algae as third generation biofuels, 2, 90. doi: 10.3389/fbioe.2014.00090.
9. Afify, A. M. M., Shanab, S. M., and Shalaby, E. A. (2010). Enhancement of biodiesel production from different species of algae. *Grasas y Aceites* 61, 416–422. doi: 10.3989/gya.021610
10. Chen, C. Y., Zhao, X. Q., Yen, H. W., Ho, S. H., Cheng, C. L., Bai, F. (2013). Microalgae-based carbohydrates for biofuel production. *Biochem. Eng. J.* 78, 1–10. doi:10.1016/j.bej.2013.03.006.
11. Ho, S. H., Chen, C. Y., Lee, D. J., and Chang, J. S. (2011). Perspectives on microalgal CO₂-emission mitigation systems-a review. *Biotechnol. Adv.* 29, 189–198. doi:10.1016/j.biotechadv.2010.11.001.

РЕФЕРАТ

Крижанівський Є.І. Експериментальні дослідження показників дизельного двигуна при його роботі на сумішах біодизельного палива одержаного з синє-зелених водоростей / Є.І. Крижанівський, С.І. Криштопа, Л.І. Криштопа, М.М. Гніп, І.М. Микитій // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

У статті розглянуто напрям використання синє-зелених водоростей в якості біоматеріалів для створення моторного біопалива.

Об'єкт дослідження – вплив сумішевих біодизельних палив з синє-зелених водоростей на екологічні та енергетичні показники дизельного двигуна.

Мета роботи – експериментальні дослідження зміни потужнісних та екологічних характеристик автомобільних дизельних двигунів при використанні нафтового дизельного палива та їхніх сумішей з біопаливами, які одержані з синє-зелених водоростей.

Методи дослідження – експериментальні, лабораторні.

В результаті виконаних експериментальних досліджень встановлені залежності зміни ефективної потужності двигуна при використанні дизельного палива і суміші дизельного палива з одержаними біодобавками на основі метилових ефірів ліпідної фракції синє-зелених водоростей *Chroococcles* в кількості 5, 10 та 20 %. Експериментально встановлено, що ефективна потужність двигуна при використанні суміші дизельного палива з одержаними біодобавками на основі метилових ефірів ліпідної фракції синє-зелених водоростей *Chroococcles* в кількості 5, 10 та 20 % зменшиться, в середньому, на 0,9, 1,8 та 3,5 %. Експериментально встановлено, що вміст оксиду вуглецю CO при використанні суміші дизельного палива з одержаними біодобавками на основі метилових ефірів ліпідної фракції синє-зелених водоростей *Chroococcles* в кількості 5, 10 та 20 % зменшиться, в середньому, на 6,5, 13,9 та 28,7 %.

Одержані результати дозволяють оптимізувати вибір палив для систем живлення двигунів внутрішнього згорання та знизити викиди шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобільних дизельних двигунів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БІОПАЛИВА, ДИЗЕЛЬНИЙ ДВИГУН, ВОДРОСТІ, ПОТУЖНІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ.

ABSTRACT

Kryzhanivskiy Ye.I., Kryshstopa S.I., Kryshstopa L.I., Ph.D., Hnyp M.M., Myktyii I.I. Experimental studies of diesel engine indicators working on the mixtures of biodiesel fuels received from blue-green algae. *Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection.* – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

This article considers usage of blue-green algae as biomaterials for creation of motor biofuels.

The object of the study is effect of blended biodiesel fuels from blue-green algae on the environmental and energy performances for the diesel engine.

The purpose of the work is experimental study of changes of power and ecological characteristics of automobile diesel engines using petroleum diesel and their mixtures with biofuels derived from blue-green algae.

Methods of research are experimental, laboratory ones.

As a result of performed experimental researches dependences of changing of the effective engine power on the use of diesel fuel and a mixture of diesel fuel with the received bioactive supplements based on methyl esters of the lipid fraction of blue-green algae *Chroococcales* in the amount of 5, 10 and 20% were established. It has been experimentally established that the effective power of an engine using a mixture of diesel fuel with the derived bioactive compounds based on methyl esters of the lipid fraction of blue-green algae *Chroococcales* in the amount of 5, 10 and 20% will decrease by an average of 0,9, 1,8 and 3,5 %. It has been experimentally determined that the content of carbon monoxide in the use of a mixture of diesel fuel with the derived bioactive compounds based on methyl esters of the lipid fraction of blue-green algae *Chroococcales* in the amount of 5, 10 and 20 % will decrease by an average of 6,5, 13,9 and 28,7 %.

The obtained results allow to optimize the choice of fuels for power systems of internal combustion engines and to reduce emissions of harmful substances in exhaust gases of automobile diesel engines.

KEY WORDS: BIOFUELS, DIESEL ENGINE, ALGAE, POWERFUL CHARACTERISTICS, ENVIRONMENTAL INDICATORS.

РЕФЕРАТ

Крижановський Е.І. Експериментальні дослідження показателів дизельного двигателя при його роботі на сумісях біодизельного палива, отриманого з синьо-зелених водоростей / Е.І. Крижановський, С.І. Крыштопа, Л.І. Крыштопа, М.М. Гнип, І.М. Микитий // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье рассмотрено направление использования синьо-зелених водоростей в качестве биоматериалов для создания моторного биотоплива.

Объект исследования – влияние смесей биодизельных топлив с синьо-зелених водоростей на экологические и энергетические характеристики дизельного двигателя.

Цель работы – экспериментальные исследования изменения мощностных и экологических показателей автомобильных дизельных двигателей при использовании нефтяного дизельного топлива и их смесей с биотопливом, полученные с синьо-зелених водоростей.

Метод исследования – экспериментальные, лабораторные.

В результате выполненных экспериментальных исследований установлены зависимости изменения эффективной мощности двигателя при использовании дизельного топлива и смеси дизельного топлива с полученными биодобавками на основе метиловых эфиров липидной фракции синьо-зелених водоростей *Chroococcales* в количестве 5, 10 и 20%. Экспериментально установлено, что эффективная мощность двигателя при использовании смеси дизельного топлива с полученными биодобавками на основе метиловых эфиров липидной фракции синьо-зелених водоростей *Chroococcales* в количестве 5, 10 и 20% уменьшится в среднем на 0,9, 1,8 и 3,5 %. Экспериментально установлено, что содержание оксида углерода СО при использовании смеси дизельного топлива с полученными биодобавками на основе метиловых эфиров липидной фракции синьо-зелених водоростей *Chroococcales* в количестве 5, 10 и 20 % уменьшится в среднем на 6,5, 13,9 и 28,7 %.

Полученные результаты позволяют оптимизировать выбор топлив для систем питания двигателей внутреннего сгорания и снизить выбросы вредных веществ в отработанных газах автомобильных дизельных двигателей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: БИОТОПЛИВА, ДИЗЕЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, ВОДОРОСЛИ, МОЩНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ.

АВТОРИ:

Крижанівський Є.І., доктор технічних наук, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, ректор ІФНТУНГ, e-mail: trans@nung.edu.ua, тел: (0342) 72-71-48, Україна, 76019, м.Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, orcid.org/0000-0001-6315-1277.

Крыштопа С.І., доктор технічних наук, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри автомобільного транспорту, e-mail: trans@nung.edu.ua,

тел: (0342) 72-71-48, Україна, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, orcid.org/0000-0001-7899-8817.

Криштопа Л.І., кандидат технічних наук, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, доцент кафедри вищої математики, , e-mail: trans@nung.edu.ua, тел: (0342) 72-71-48, Україна, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, orcid.org/0000-0002-5274-0217.

Гнип М.М., Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, аспірант кафедри автомобільного транспорту, e-mail: trans@nung.edu.ua, тел: (0342) 72-71-48, Україна, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, orcid.org/0000-0003-3662-0941.

Микитій І.М., аспірант кафедри автомобільного транспорту, e-mail: trans@nung.edu.ua, тел: (0342) 72-71-48, Україна, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, orcid.org/0000-0002-8925-6349.

AUTHORS:

KryzhanivskyYe.I., Doctor of Technical Sciences, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, rector IFNTUNG, e-mail: trans@nung.edu.ua, tel: (0342) 72-71-48, Ukraine, 76019, Ivano-Frankivsk, Carpathian str. 15, orcid.org/0000-0001-6315-1277.

Krystopa S.I., Doctor of Technical Sciences, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Head of the Department of Automobile Transport, e-mail: trans@nung.edu.ua, tel: (0342) 72-71-48, Ukraine, 76019, Ivano-Frankivsk, Carpathian str. 15, orcid.org/0000-0001-7899-8817.

Kryshtopa L.I., Ph.D., Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Associate Professor, Department of Higher Mathematics, e-mail: trans@nung.edu.ua, tel: (0342) 72-71-48, Ukraine, 76019, Ivano-Frankivsk, Carpathian str. 15, orcid.org/0000-0002-5274-0217.

Hnyp M.M., Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, post graduate student of the Department of Automobile Transport, e-mail: trans@nung.edu.ua, tel: (0342) 72-71-48, Ukraine, 76019, Ivano-Frankivsk, Carpathian str. 15, orcid.org/0000-0003-3662-0941.

Mykityi I.M., Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, post-graduate student of the Department of Automobile Transport, e-mail: trans@nung.edu.ua, tel: (0342) 72-71-48, Ukraine, 76019, Ivano-Frankivsk, Carpathian str. 15, orcid.org/0000-0002-8925-6349.

АВТОРЫ:

Крыжановский Е.И., доктор технических наук, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ректор ИФНТУНГ, e-mail: trans@nung.edu.ua, тел: (0342) 72-71-48, Украина, 76019, г. Ивано-Франковск, ул. Карпатская, 15 orcid.org/0000-0001-6315-1277.

Крыштопа С.И., доктор технических наук, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, заведующий кафедрой автомобильного транспорта, e-mail: trans@nung.edu.ua, тел: (0342) 72-71-48, Украина, 76019, г. Ивано-Франковск, ул. Карпатская, 15 orcid.org/0000-0001-7899-8817.

Крыштопа Л.И., кандидат технических наук, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, доцент кафедры высшей математики, e-mail: trans@nung.edu.ua, тел: (0342) 72-71-48, Украина, 76019, г. Ивано-Франковск, ул. Карпатская, 15 orcid.org/0000-0002-5274-0217.

Гнип Н.Н., Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, аспірант кафедры автомобильного транспорта, e-mail: trans@nung.edu.ua, тел: (0342) 72-71-48, Украина, 76019, г. Ивано-Франковск, ул. Карпатская, 15 orcid.org/0000-0003-3662-0941.

Микитий И.М., аспірант кафедры автомобильного транспорта, e-mail: trans@nung.edu.ua, тел: (0342) 72-71-48, Украина, 76019, г. Ивано-Франковск, ул. Карпатская, 15 orcid.org/0000-0002-8925-6349.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

Артим В.І., доктор технічних наук, професор, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри будівництва, Івано-Франківськ, Україна.

REVIEWE:

Sahno V.P., Doctor of Technical Sciences, professor, National Transport University, head of the automobiles department, Kyiv, Ukraine.

Artym V.I, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Head of the Department of Construction, Ivano-Frankivsk, Ukraine.

ОЦІНКА ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ МІЖНАРОДНИХ ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРІВ УКРАЇНИ

Лановий О.Т., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, al.lanovoy@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-0717-9870

Выговська І.А., Національний транспортний університет, Київ, Україна, i.vyhovska2609@gmail.com, orcid.org /0000-0003-1426-9863

ASSESSMENT OF THE FUNCTIONING OF MOTORWAY INTERNATIONAL TRANSPORT CORRIDORS OF UKRAINE

Lanovoy O.T., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Kiev, Ukraine, al.lanovoy@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-0717-9870

Vyhovska I.A., National Transport University, Kiev, Ukraine, i.vyhovska2609@gmail.com, orcid.org /0000-0003-1426-9863

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ УКРАИНЫ

Лановой А.Т., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, al.lanovoy@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-0717-9870

Выговская И.А., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, i.vyhovska2609@gmail.com, orcid.org /0000-0003-1426-9863

Вступ

Мережа автомобільних доріг загального користування має забезпечувати рівномірний наземний доступ у будь-яку місцевість країни, а також створювати умови безперервного, безпечного та зручного переміщення людей і транспортування вантажів з належною ефективністю. Автомобільні дороги є підсистемою транспортної системи України. Вони є суспільним продуктом, мають важливе економічне значення, надаючи суспільству послугу, яка приносить останньому суттєву вигоду. Через недостатнє фінансування робіт з утримання мережі автомобільних доріг загального користування та, як наслідок цього, їхній незадовільний стан, економіка держави щорічно втрачає до 12% валового внутрішнього продукту України. Рішення проблеми функціонування та розвитку мережі автомобільних доріг України, у тому числі, міжнародних транспортних коридорів (МТК), з урахуванням проблем, що накопичилися у транспортно-дорожньому комплексі країни, вимагає системного підходу й виконання цілої низки завдань, а саме: розвиток мережі автомобільних доріг має бути пов'язаний з розвитком і станом економіки, а також з розвитком транспортної системи України; питання розвитку мережі автомобільних доріг, у тому числі, автомобільних міжнародних транспортних коридорів, має розглядатися комплексно незалежно від значення окремих автомобільних доріг; потрібним є охоплення усього спектру проблем, включаючи удосконалення управління, законодавчої та нормативної бази, державного регулювання, тощо.

Основна частина

Під функціонуванням розуміють процеси, що відбуваються у транспортній системі (а також навколишньому середовищі щодо неї), яка стабільно реалізує фіксовану мету свого призначення. Призначенням автомобільної дороги, як лінійного комплексу інженерних споруд, є забезпечення безперервного, безпечного та зручного руху транспортних засобів.

Отже, виникає потреба в оцінці функціонування автомобільних міжнародних транспортних коридорів, які є складовими мережі автомобільних доріг загального користування України.

Для покращення функціонування мережі автомобільних доріг загального користування України необхідно розробити нові сучасні підходи до планування розвитку цієї мережі. Метою

дослідження є довести необхідність створення магістральної мережі «інтелектуальних» автоматизованих автомобільних магістралей у межах цієї мережі.

Успішне функціонування міжнародних транспортних коридорів суттєво залежить від науково обґрунтованих і достовірних методів прогнозування об'ємів руху, умов дорожнього руху, соціально-економічної оцінки функціонування автомобільних доріг у міжнародних транспортних коридорах (МТК), уніфікації характеристик їх до вимог Європейського Союзу (ЄС), урахування сучасних аспектів розвитку економіки України та особливостей природних і соціальних характеристик її регіонів [1].

На цей час всі методи, що використовувалися, не відповідають умовам розвитку економіки України і не пристосовані до специфічних умов існування автомобільних доріг в національній мережі МТК. Щодо безпеки руху та характеристик функціонування автомобільних доріг, то їх стан взагалі не прогнозувався. Але, як свідчить досвід розвинених країн, питання прогнозування об'ємів руху (як за характеристиками, так і за рухомим складом), рівнів безпеки руху та соціально-економічної оцінки функціонування автомобільних доріг є визначальними, особливо для доріг в МТК Європейського Союзу.

Системний аналіз функціонування міжнародних транспортних коридорів в мережі автомобільних доріг України

Серед літературних джерел відсутні роботи, в яких проектування автомобільних міжнародних транспортних коридорів та організація дорожнього руху ними розглядалися створення автомобільних доріг, які відповідали б ефективному одночасному руху національних та міжнародних (транзитних) транспортних потоків (ТП).

Складність управління дорожнім рухом транспортом як системою зростає через децентралізацію цієї системи. Рухомий склад та шляхи сполучення підпорядковані різним власникам, причому рухомий склад використовується різними користувачами у різних цілях, що обумовлює різні вимоги до його експлуатації та різні показники роботи окремих власників. Продукцією автотранспорту є перевезення, а головним виробничим процесом – рух ТП. Рух ТП може бути реалізований тільки при наявності шляхів сполучення, від кількості та розміщення яких в багатьох випадках залежать продуктивність праці на транспорті й інші показники його роботи, наприклад такі, як показники головного виробничого транспортного процесу – руху. Таким чином, із загальної системи автомобільного транспорту в національній мережі МТК може й повинна бути виділена окрема складна система «Міжнародні, національні та місцеві транспортні потоки – Автомобільні міжнародні та національні транспортні коридори» з отриманням основних її показників роботи (ефективності, надійності, стійкості та перешкодозахищеності), в якій виконується головний виробничий процес – рух ТП автомобільними дорогами. Яка б не була причина використання окремих автомобілів, важливо те, що всі вони включаються в загальний ТП. І, як тільки автомобіль став його частиною, водій керується мотивами економії часу і відстані. Він постійно вирішує задачу про те, наскільки безпечним і тривалим є його рух. Отже, незалежно від приналежності автомобілів, останні, виїжджаючи на дорогу, створюють єдиний ТП, всередині якого діють загальні для усіх автомобілів закономірності.

Рух міжнародних, національних та місцевих транспортних потоків (МНМТП) автомобільними міжнародними транспортними коридорами (АМНТК), не зважаючи на існуючі правила дорожнього руху, проходять дещо стихійно, без потрібного контролю через те, що відсутній сам апарат контролю. Виключенням є органи МВС, які виконують контроль за технічним станом рухомого складу, дотриманням водіями Правил дорожнього руху, розслідуванням ДТП. Однак це є недостатнім.

Активне управління системою АМНТК – МНМТП відкривають перспективи для обґрунтованого покращання існуючих дорожніх умов, зниження витрат на дорожні роботи, підвищення безпеки руху. Процес руху ТП автомобільними дорогами піддається управлінню, у зв'язку з чим значний інтерес уявляє собою пошук варіанта оптимального управління. Основою оптимального управління є перетворення інформації в системах управління. При оптимізації управління системою АМНТК – МНМТП можна намагатися досягнення різних цілей (критеріїв оптимальності) і, в залежності від них, розглядати різні задачі управління.

Першим етапом розрахунку ефективності роботи будь-якої мережі автомобільних доріг служить оцінка майбутнього використання об'єкта [2]. Оцінка об'ємів ТП є неформалізованим

мистецтвом, але ця стадія необхідна. Через те, що багато об'єктів інвестицій на транспорті характеризуються значними потенційними термінами служби (до двадцяти років і більше) рішення про здійснення таких вкладень відноситься до сфери довгострокового прогнозування.

Найпростішим методом прогнозування об'ємів ТП є екстраполяція минулих тенденцій з урахуванням факторів, що можуть вплинути на їх зміну.

Екстраполяція є досить грубим методом, але недорогим, таким, що обґрунтовує результати за стабільних умов. Але вона не може бути використана, коли фактори, що визначають ТП, швидко можуть змінюватися внаслідок поліпшення умов руху, як у випадку будівництва дороги, що забезпечує сполучення з новими територіями [3]. Процес прогнозування поділяється на 3 стадії.

Перша стадія включає визначення перспективних обсягів і територіальної структури виробництва продукції та споживання ресурсів по різних галузях економіки, включаючи експорт і імпорт. Необхідним є прогноз населення.

На *другій стадії* обсяги виробництва та дані про населення трансформуються в показники ТП – об'єми руху, пункти відправлення та призначення.

На *третьій стадії* ТП розподіляються по видах транспорту, що здійснять їх найбільш ефективним чином [4]. Ці стадії взаємозалежні, тому що регіональне виробництво і ТП частково залежать від транспортних витрат.

Майбутні ТП залежать від розвитку економіки та росту населення. Тому прогноз об'ємів ТП не може бути точнішим, ніж прогнози розвитку економіки. На жаль, недостатньо оцінити обсяги виробництва на рівні макроекономічних показників, тому що інвестиції в автомобільні дороги мають територіальну прив'язку й не можуть бути перенесені на іншу територію. Тому необхідно оцінити не тільки майбутні обсяги виробництва та споживання, але й їх територіальну структуру. Для пересувного устаткування (рухомий склад автотранспорту) уточнення територіального фактору є не таким необхідним. Після того, як майбутні обсяги виробництва та споживання визначені, їх необхідно трансформувати в показники інтенсивності ТП. Ця стадія виконується на основі встановлених взаємозв'язків між виробництвом і споживанням та потребами в транспортуванні з очікуванням на майбутні зміни, такі як можливе зниження частки залізниці в окремих перевезеннях, зміна витрат тощо.

Співвідношення між виробництвом і споживанням, а також об'ємами ТП залежить від тарифів на транспортні послуги. Слід зазначити, що знання про еластичність попиту на транспортні послуги, є дуже обмеженими.

Зміна вантажних тарифів має менший вплив, коли ціна перевезеного товару висока, ніж у випадку малоцінних вантажів, оскільки транспортна складова для них має меншу частку в повній ціні, яка включає витрати на доставку.

Еластичність попиту на транспортні послуги варіюється у часі, тому що в довготривалому періоді зміни вантажних тарифів можуть спричинити зміни у територіальній структурі. Еластичність попиту на транспортні послуги для якогось виду транспорту залежить від тарифів на послуги конкуруючих видів транспорту. Тарифи на транспортні послуги можуть виявитися навіть менш істотним фактором, ніж інші складові сукупних витрат на доставку: від втрат часу пасажирів, затримки вантажів та збитків від їх не схоронності.

З 1960-х років почали створювати математичні моделі планування транспорту, що відображають зв'язки між факторами, які визначають потребу в перевезеннях і об'ємами ТП. Більшість цих моделей розроблена у розвинених країнах для підготовки планів розвитку міських транспортних систем.

Однак застосування даних моделей у країнах, що розвиваються, дуже обмежено. Тут доходи і структура землекористування змінюються часто і швидко, особливо у великих містах, де статистичні дані найчастіше дуже ненадійні.

До того ж, в рамках формальних моделей важко врахувати принципові зміни транспортної політики, такі, як зміни цін на транспортні послуги. Крім того, ці моделі недостатньо ефективні в частині урахування зворотного зв'язку між виконаною кількістю поїздок і змінами в забезпеченні транспортних послуг. Витрати на розробку і реалізацію таких моделей дуже високі – мільйони гривень і більше, вони вимагають значних витрат часу на доведення до рівня оперативного використання, і, нарешті, вони вимагають величезної кількості вихідних даних про динаміку і

територіальну структуру населення – даних, використання яких дуже обмежене в умовах швидких змін і невизначеності.

Навіть при міжміському сполученні фактори, які визначають ТП, найчастіше виявляються настільки складними і різноманітними, що побудова моделі стає важкою процедурою. Немає сумніву, що розробка моделі, яка враховувала б усі фактори, принципово можлива, але це зажадало б значного часу і зусиль. Подальші дослідження дозволять істотно поліпшити ці моделі [5]. Після визначення загального обсягу перевезень, на *останньому етапі* необхідно також оцінити його розподіл по різних видах транспорту. Перевезення мають виконуватися видом транспорту, який забезпечує мінімальні витрати.

Тут виникають три проблеми, що заслуговують уваги.

По-перше, може бути важко визначити витрати через відсутність ключових даних через різницю між макроекономічними витратами та витратами державної організації чи приватного підприємства, що утримує даний об'єкт.

По-друге, малоімовірно, що перевезення будуть виконуватися видом транспорту або підприємством, які забезпечують мінімальні витрати, якщо тарифи на ці перевезення не відповідають транспортним витратам. Плата користувачів автомобільних доріг не відбиває реальні витрати. Тому при розрахунку економічних результатів варто використовувати відносні витрати [6].

По-третє, між різними видами транспорту існують якісні розходження, які важко сформулювати в грошовому виразі. Так автотранспорт забезпечує обслуговування за принципом «від дверей до дверей»; для нього характерні: економія часу, висока надійність і частота поїздок, низькі збитки і втрати вантажів, оперативне задоволення заявок на перевезення та інші переваги порівняно з обслуговуванням залізницею. Цими перевагами формується тенденція випереджального розвитку автотранспорту, особливо для перевезень масових вантажів. Кінцевою метою служать не мінімальні транспортні витрати, а мінімальні сумарні витрати по доставці перевезених товарів (витрати обертання).

Саме неврахуванням фактору сумарних витрат обертання пояснюються невиправдано оптимістичні прогнози потенціалу залізничних, у той час, як частка автотранспорту недооцінюється. Що стосується пасажирських перевезень, то для них також істотними є не тільки розходження в прямих грошових транспортних витратах, але й розходження у таких факторах, як економічна оцінка часу пасажирів, комфорт, зручність поїздки та імовірність скоєння ДТП [7].

Отже, потрібно користуватися такими принципами, які допоможуть зробити довгострокове прогнозування об'ємів ТП реальною процедурою:

1) оскільки обмеженим є число масових насипних вантажів, таких як вугілля, руда і зерно, які складають велику частину вантажообігу для залізниць і портів, аналіз може бути значно скорочений;

2) багато капіталовкладень у транспорт є перебільшеними. Якщо двосмугова автомобільна дорога має пропускну здатність 5000 авт./добу, то прогноз ТП у 3000 чи 4000 авт./добу може привести до обґрунтування тих же капіталовкладень. Перевищення капіталовкладень є особливо складною проблемою, якщо прогноз об'ємів ТП дає проміжне граничне значення, що відповідає, наприклад, переходу від дво- до чотирисмугової дороги. Через цю або іншу причину важливим є намагання знизити негативні наслідки перевищення капіталовкладень шляхом поетапного будівництва автомобільних доріг [8];

3) велика частина майбутніх перевезень, особливо при плануванні на короткі та середні терміни, здійснюється зараз, а територіальна структура економіки і розселення не потерпають корінних змін у короткі проміжки часу;

4) у багатьох випадках обрїй прогнозування не має простиратися далі передбачуваного терміну, коли ТП досягнуть проектної інтенсивності. При цьому передбачається, що об'єми ТП не знизяться й у наступному періоді, що є дуже характерним, особливо для автомобільних доріг [9];

5) оскільки майбутні вигоди від капіталовкладень, об'єктивно знецінюються відповідно до коефіцієнту дисконтування, який є великим для країн, що розвиваються, то точність прогнозів на більшу перспективу є менш важливою, ніж це було б за меншого коефіцієнту дисконтування;

6) через те, що потреба у транспорті, особливо автомобільному, в країнах, що розвиваються, практично завжди характеризується швидким ростом, завищений при прогнозуванні обсяг перевезень буде в короткий термін надолужений, і таким чином, значимість цієї помилки прогнозування буде меншою, ніж у випадку, коли прогнозований обсяг ніколи не буде досягнутий. З цих позицій

капіталовкладення в розвиток залізниць уявляються більш ризикованими, оскільки перевезення більшістю залізниць зростали меншими темпами, ніж автомобільними дорогами.

Отже, більшої уваги заслуговує саме прогнозування зростання обсягів руху автомобільними МТК.

Характеристики, що підлягають дослідженню, оцінці та прогнозуванню в автомобільних міжнародних транспортних коридорах

Транспортні коридори України включені до єдиної транспортної мережі Європи, де усім дорогам, що використовуються для міжнародних перевезень, надана категорія Е – європейська категорія [10]. Для цих доріг Комітетом по внутрішньому транспорту Європейської економічної комісії (ЄЕК) спеціальним рішенням від 14.04.1994 р. (TRANS/WP.6/AC2/12/Add.1) рекомендована єдина методика обстеження й обліку об'ємів руху на автомагістралях категорії Е, що значно відрізняється від методики, що використовується в Україні. Це стосується характеристик ТП, що мають бути обстежені, а також класифікації транспортних засобів (ТЗ) по видах, що мають враховуватися при обстеженні та надання матеріалів обстеження Комітету по внутрішньому транспорту ЄЕК [11].

Найважливішими міжнародними транспортними коридорами України є:

- Критський коридор № 3 (Краковець – Рівне – Київ – Чернігів – Нові Яриловичі);
- Критський коридор № 5 (Лужанка – Чоп – Ужгород – Мукачеве – Львів – Рівне – Городище);
- Критський коридор № 9 (Київ – Умань – Платонове, з відгалуженням на Одесу);
- Євразійський транспортний коридор (Краковець – Львів – Рівне – Київ – Полтава – Харків – Луганськ – Ізварине);
- Балто-Чорноморський транспортний коридор (Ягодин – Луцьк – Тернопіль – Хмельницький – Вінниця – Умань – Одеса з відгалуженнями: Чернівці – Порубне; Одеса – Херсон – Керч та Одеса – Миколаїв – Новоазовськ).

На цих магістралях постійно здійснюється або автоматизований або неавтоматизований (шляхом вибірних обстежень) облік об'ємів руху.

Слід відзначити, що на автомобільних дорогах України, як правило, фіксується лише загальна добова інтенсивність руху, без диференціації за типами ТЗ. Лише в автоматизованих пунктах обліку об'ємів руху здійснюється диференціація ТЗ за двома категоріями – легкові та вантажні ТЗ.

В автомобільних МТК має місце тенденція збільшення об'ємів руху. Дані свідчать, що добова інтенсивність руху з року у рік зростатиме нелінійно і до 2020 року сягатиме європейських рівнів об'ємів руху. Зазначене доводить необхідність постійного контролю об'ємів руху, що є первинною інформацією для прийняття рішень щодо удосконалення умов дорожнього руху.

У відповідності з вимогами Комісії по внутрішньому транспорту ЄЕК на автомагістралях категорії Е в існуючу систему обліку руху в Україні потрібно внести корінні зміни щодо фіксації інтенсивності та складу ТП. Це походить з того, що існуюча в Україні система обліку значно відрізняється від європейською й має бути погоджена й уніфікована з європейською системою обліку руху.

Нижче наведено основні вимоги ЄЕК щодо інтенсивності та складу руху на автомагістралях категорії Е відповідно до норм, що наведені у додатку II до Європейського погодження про Міжнародні автомагістралі (документ ECE/TRANS/16, Amend.2). Обліку мають підлягати усі ТЗ, що рухаються автомагістраллю, незалежно від місця реєстрації ТЗ.

У випадку, якщо будь-яка магістраль категорії Е є недоступною для руху ТЗ внаслідок її ремонту або незавершеності її будівництва, облік руху здійснюється на тій дорозі або дорогах, які застосовуються для руху ТЗ в об'їзд.

Оскільки передбачається використовувати інформацію про об'єми руху для вирішення проблем, що пов'язані із заторами руху, безпекою руху, екологією довкілля, а також характеристик використання даної магістралі з урахуванням її категорії, то однією з задач обліку руху є також визначення об'ємів руху в нічний час, у неділю та святкові дні, а також у годину «пік».

Дороги категорії Е, що складають незначну частину загальної дорожньої мережі України, мають інтерес з точки зору їх об'ємів руху для порівняння з об'ємом руху рештою доріг України і має здійснюватися за єдиною методикою. Через це показник «ТЗ – кілометри» є важливим соціально-економічним показником. Саме це обумовило вимогу ЄЕК звести результати обліку об'ємів руху дорогами категорії Е та усієї мережі доріг до єдиного показника «ТЗ – кілометри». Ця уніфікація

дозволяє здійснювати співставлення об'ємів руху протягом певних періодів і може бути використана для прогнозування об'ємів руху.

Обліку підлягають усі ТЗ, незалежно від того, зареєстровані вони в Україні або в інших країнах світу. По погодженню з КВТ ЄЕК ООН в окремих випадках може здійснюватися окремий облік об'ємів руху для вітчизняних та закордонних ТЗ, що рухаються автомобільними транспортними коридорами.

Згідно з вимогами КВТ ЄЕК (документ TRANS/WP.6/AC2/12/Add.1) на автомобільних магістралях категорії Е має застосовуватися така класифікація ТЗ:

– Категорія А: механічні ТЗ, що мають не більше трьох коліс (відповідає старій категорії С, що була прийнята ЄЕК ООН).

– Категорія В: пасажирські та вантажні ТЗ малої вантажопідйомності незалежно від того, мають вони причепа або ні. До цієї категорії відносяться легкові ТЗ з числом місць для сидіння не більше 9, включаючи водія, та вантажні ТЗ, максимальна вага яких не перевищує 3,5 тони (відповідає старим категоріям D і С, що були прийняті ЄЕК ООН).

– Категорія С: вантажні ТЗ, максимальна вага яких перевищує 3,5 тони. До цієї категорії відносяться вказані ТЗ як без причепів, так із одним або двома причепами, а також тягачі з полупричепами (відповідає старим категоріям F, G і H, що були прийняті ЄЕК ООН).

– Категорія D: автобуси місцевого та дальнього слідування незалежно від їх пасажиромісткості (відповідає старій категорії I, що була прийнята ЄЕК ООН).

– Категорія Е: спеціалізовані ТЗ (сільськогосподарські трактори та збиральна техніка, техніка для ремонту та утримання автомобільних доріг, автоцистерни військового зразка та інша техніка, що не указана у пунктах 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, 2.3.4 (відповідає старій категорії I, що була прийнята ЄЕК ООН).

Категорії А, В та Е характеризують «рух легких механічних ТЗ»; категорії С та D характеризують «рух важких механічних ТЗ».

У випадку виникнення сумніву відносно того, потрібно ТЗ віднести до категорії В або С, його слід віднести до категорії С, яка включає більш важкі ТЗ; це ж правило застосовується й у випадку виникнення сумніву відносно того, чи потрібно ТЗ віднести до категорії В або D.

Для полегшення ідентифікації різних ТЗ рекомендується постачати персонал, що приймає участь у реєстрації, описами та схемами зовнішнього виду ТЗ. У випадку автоматизованого обліку дорожнього руху апаратура повинна забезпечувати безпомилкову диференціацію ТЗ по зазначеним категоріям.

Враховуючи той факт, що рух велосипедів з підвісним двигуном або без нього заборонений на більшій частині європейських автомагістралей, ці типи ТЗ більше не приводяться у новій рекомендованій класифікаційній системі. Тим не менше, країнам, в яких об'єм руху цих типів ТЗ значний, рекомендується збирати та передавати цю інформацію для опублікування у рамках обстеження на дорогах категорії Е.

Для кожної дороги категорії Е у країні рекомендується розраховувати середньодобовий об'єм руху за рік (Average Annual Daily Traffic – *AADT*) для руху у нічний час, у вихідні дні й години «пік». Рух у нічний час визначається як *AADT* у період поміж 22 годиною 00 хв. та 6 год. 00 хв. Рух у вихідні дні визначається в якості середньодобового об'єму руху (*ADT*) протягом двомісячного періоду (у виключних випадках – протягом місяця), коли об'єми руху є самими високими. Рух у годину «пік» визначається як рух протягом п'ятдесятої години максимальної інтенсивності руху.

Отже, для кожної автомобільної дороги категорії Е необхідно розглядати величини, що характеризують об'єм руху та склад ТП:

1) річний середньодобовий об'єм руху (*AADT*) – визначається як відношення об'єму руху за рік через обліковий пункт до числа днів у році:

$$AADT = N_{\text{рік}} / 365 \text{ (авт/добу);}$$

2) річний середньодобовий об'єм руху у нічний час (*AADT_N*). Визначається як *AADT* за період 8 годин доби (з 22 год. 00 хв. до 6 год. 00 хв.);

3) середньодобовий об'єм руху у вихідні дні (*ADT_S*). Визначається по результатах усереднення добових об'ємів руху, що включає вихідний день протягом двомісячного періоду;

4) максимальна годинна інтенсивність руху (*N_{max}*). Визначається як об'єм руху протягом п'ятдесятої години максимальної інтенсивності руху;

5) показник «транспортні засоби – кілометри» ($TЗ\text{--}км$). Визначається у цілому для контрольованої магістралі як сума добутків $AADT$ на довжину ділянки магістралі, що примикає до даного пункту: $TЗ\text{--}км = \sum AADT \times L$. Цей показник має використовуватися для оцінки ефективності використання АМТК;

6) транспортна ціна – кількість грошей, що є еквівалентною економічним вигодам або економічним витратам користувачів при русі АМТК;

7) суспільно-оптимальна транспортна ціна – транспортна ціна, за якою досягається ефективність розподілу ресурсів суспільства;

8) транспортна ціна, що забезпечує нормальний (справедливий) прибуток – випадок, коли величина транспортного попиту дорівнює середнім загальним витратам на утримання МТК.

Отже, може бути зроблений *висновок щодо обстеження функціонування автомобільних МТК в Україні*. Таким чином, виникають потреби у:

- переході на технічні та екологічні стандарти, що відповідають європейським вимогам;
- впровадженні сучасних інтелектуальних транспортних систем;
- урахуванні принципів транспортної логістики на основі нових інформаційних технологій.

Висновок

Успішне функціонування автомобільних МТК суттєво залежить від науково обґрунтованих і достовірних методів прогнозування об'ємів та оцінки умов руху і характеристик функціонування автомобільних МТК, їх уніфікації до вимог ЄС, урахування сучасних аспектів розвитку економіки України та особливостей природних і соціальних характеристик її регіонів.

На цей час усі методи оцінки, що використовувалися, не відповідають умовам перехідного періоду в економіці України і не пристосовані до специфічних умов існування автомобільних доріг в національній мережі МТК. Щодо безпеки руху та соціально-економічних показників функціонування автомобільних МТК, то їх стан взагалі не прогнозувався. Але вони є визначальними, особливо для доріг в МТК ЄС.

Отже, слід констатувати, що проголошені декларації не виконуються і, таким чином, виникає потреба в нових підходах. Рішення цієї проблеми можливе через системний підхід до досягнення ефективності функціонування АМТК з впровадженням ІТС.

Поняття «Інтелектуальні транспортні системи» означає глобальну програму, що включає ряд технологій, метою яких є забезпечення більш безпечної та більш ефективної роботи транспорту з кращими умовами руху, ефективним соціально-економічним функціонуванням і мінімальним негативним впливом на довкілля. Таким чином, ІТС – це не якийсь виріб чи проект, це – система заходів. Можна говорити, що мова йде про зміни поглядів суспільства на вимоги щодо функціонування транспортних систем: обсягу перевезень, зручності дорожнього руху, ємності стоянок, скоєння ДТП тощо.

Предметом наступних досліджень є методи оцінки функціонування автомобільних міжнародних транспортних коридорів з урахуванням наявності одночасного руху ними міжнародних, національних та місцевих транспортних потоків. Також має бути досліджений вплив особливостей формування об'ємів руху автомобільними МТК на характеристики їх функціонування та оцінена соціально-економічна ефективність їх функціонування та подальшого розвитку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лановий О.Т. Удосконалення функціонування мережі автомобільних доріг загального користування України / О.Т. Лановий, І.А. Виговська // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. Вип. 1 (43). – К.: НТУ, 2019. – С. 84-91
2. Лобанов Е.М., Сильянов В.В., Ситнитков Ю.М., Сапегин Л.Н. Пропускная способность автомобильных дорог. М., Транспорт, 1970, 152 с.
3. Крылов Ю.С. Режим движения и пропускная способность автомобильных дорог. Автомобильные дороги, 1959, № 6.
4. Лобанов Е.М. Пропускная способность пересечений в одном уровне. Автомобильные дороги, 1965, № 12.
5. Поляков А.А. Организация движения на улицах и дорогах. М., Транспорт, 1965, 376 с.

6. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. Ч.1., М., Транспорт, 1979, 367 с.
7. Методические рекомендации по проектированию и оборудованию автомагистралей для обеспечения безопасности движения. Минавтодор РСФСР. М., Транспорт, 1983, 120 с.
8. Правила дорожного руху.
9. Страментов А.Е. Городские дороги. Мин-во комм. хоз., 1950, 505 с.
10. ENV 12796 Road transport and traffic telematics – Public transport – Dimensional requirements for variable electronic external signs.
11. ENV 13372 DSRC Profiles for RTT Application.
12. ENV ISO 14814 Road Traffic and Transport Telematics – Automatic Vehicle Identification – Reference Architecture and Terminology.
13. ENV ISO 14815 Road Traffic and Transport Telematics – Automatic Vehicle Identification System Specification.
14. ENV ISO 14816 Road Traffic and Transport Telematics Automatic Vehicle Identification Numbering and Data Structures.
15. ENV ISO 17261 Transport Information and Control Systems – Automatic Vehicle and Equipment Identification – AVT/AEI Intermodal and Multimodal Reference Architecture.
16. Road Traffic and Transport Telematics (RTTT) – Automatic Vehicle/Equipment Identification (AVI/AEI) – Intermodal goods transport – Numbering and data structures.
17. W114.4 – 00278096 Short Range communication interface between the Vehicle Device and Detection Means.
18. ENV 12253 DSRC Physical Layer using Microwave at 5.8 GHz.
19. ENV 12795 DSRC Data link layer.
20. ENV 12834 DSRC Application layer.
21. ENV 12313-3 Traffic and Traveller Information (TTI) – TTI Messages via Traffic Message Coding – Part 3: Location Referencing for ALERT-C.
22. ENV 12313-4 Traffic and Traveller Information (TTI) – TTI Messages via Traffic Message Coding – Part 4: Coding Protocol for Radio Data System – Traffic Message Channel (RDS-TMC) – RDS-TMC using ALERT Plus with ALERT-C.
23. PrENV ISO 18234-2 Draft prENV ISO 18234-2 Traffic and Travel Information (TTI) – TTI via Transport Protocol Expert Group (TPEG) data-streams Part 2: Syntax, Semantics and Framing Structure (SSF).
24. PrENV ISO 18234-3 Draft prENV ISO 18234-3 Traffic and Travel Information (TTI) – TTI via Transport Protocol Expert Group (TPEG) data-streams Part 3: Service and Network Information (SNT) Application.
25. PrENV ISO 18234-4 Draft prENV ISO 18234-4 Traffic and Travel Information (TTI) – TTI via Transport Protocol Expert Group (TPEG) data-streams Part 4: Road Traffic Message (RTM) Application.
26. ENV ISO 14813-6 Reference Architecture(s) for the TICS sector – TICS reference architecture – Data presentation in ASN.1.
27. ENV 12313-2 ENV 12313-2: Traffic and Traveller Information (TTI) – TTI Messages via Traffic Message Coding – Part 2: Event and information codes for Radio Data System – Traffic Message Channel (RDS-TMC).

REFERENCES

1. Lanoviy O.T. *Udoskonalennya funktsionuvannya merezhi avtomobilnih dorig zagalnoho koristuvannya v ediniy transportniy sistemi Ukrayini* [Improvement of functioning of the network of public roads of Ukraine] *Visnik Natsionalnoho transportnoho universitetu* [Bulletin of the National transport university], 2019, issue 1(43), pp84-91.
2. Lobanov E.M., Sylianov V.V., Sytnytkov Yu.M., Sapehyn L.N. *Propusknaia sposobnost avtomobyl'nykh dorog*. М., Transport, 1970, 152 с.
3. Kryilov Yu.S. *Rezhim dvizheniya i propusknaia sposobnost avtomobilnykh dorog*. Avtomobilnye dorogi, 1959, № 6.
4. Lobanov E.M. *Propusknaia sposobnost peresecheniy v odnom urovne*. Avtomobilnye dorogi, 1965, № 12.

5. Poliakov A.A. Orhanyzatsiya dvyzheniya na ulytsakh y dorohakh. M., Transport, 1965, 376 c.
6. Babkov V.F., Andreev O.V. Proektyrovanye avtomobyl'nykh doroh. Ch.1., M., Transport, 1979, 367 c.
7. Metodicheskiye rekomendatsyy po proektyrovaniyu y oborudovaniyu avtomahistranei dlia obespecheniya bezopasnosti dvyzheniya. Mynavtodor RSFSR. M., Transport, 1983, 120 c.
8. Pravyla dorozhnoho rukhu.
9. Stramentov A.E. Horodskye dorohy. Myn-vo komm. khoz., 1950, 505 c.
10. ENV 12796 Road transport and traffic telematics – Public transport – Dimensional requirements for variable electronic external signs.
11. ENV 13372 DSRC Profiles for RTT Application.
12. ENV ISO 14814 Road Traffic and Transport Telematics – Automatic Vehicle Identification – Reference Architecture and Terminology.
13. ENV ISO 14815 Road Traffic and Transport Telematics – Automatic Vehicle Identification System Specification.
14. ENV ISO 14816 Road Traffic and Transport Telematics Automatic Vehicle Identification Numbering and Data Structures.
15. ENV ISO 17261 Transport Information and Control Systems – Automatic Vehicle and Equipment Identification – AVT/AEI Intermodal and Multimodal Reference Architecture.
16. Road Traffic and Transport Telematics (RTTT) – Automatic Vehicle/Equipment Identification (AVI/AEI) – Intermodal goods transport – Numbering and data structures.
17. W14.4 – 00278096 Short Range communication interface between the Vehicle Device and Detection Means.
18. ENV 12253 DSRC Physical Layer using Microwave at 5.8 GHz.
19. ENV 12795 DSRC Data link layer.
20. ENV 12834 DSRC Application layer.
21. ENV 12313-3 Traffic and Traveller Information (TTI) – TTI Messages via Traffic Message Coding – Part 3: Location Referencing for ALERT-C.
22. ENV 12313-4 Traffic and Traveller Information (TTI) – TTI Messages via Traffic Message Coding – Part 4: Coding Protocol for Radio Data System – Traffic Message Channel (RDS-TMC) – RDS-TMC using ALERT Plus with ALERT-C.
23. PrENV ISO 18234-2 Draft prENV ISO 18234-2 Traffic and Travel Information (TTI) – TTI via Transport Protocol Expert Group (TPEG) data-streams Part 2: Syntax. Semantics and Framing Structure (SSF).
24. PrENV ISO 18234-3 Draft prENV ISO 18234-3 Traffic and Travel Information (TTI) – TTI via Transport Protocol Expert Group (TPEG) data-streams Part 3: Service and Network Information (SNT) Application.
25. PrENV ISO 18234-4 Draft prENV ISO 18234-4 Traffic and Travel Information (TTI) – TTI via Transport Protocol Expert Group (TPEG) data-streams Part 4: Road Traffic Message (RTM) Application.
26. ENV ISO 14813-6 Reference Architecture(s) for the TICS sector – TICS reference architecture – Data presentation in ASN.1.
27. ENV 12313-2 ENV 12313-2: Traffic and Traveller Information (TTI) – TTI Messages via Traffic Message Coding – Part 2: Event and information codes for Radio Data System – Traffic Message Channel (RDS-TMC).

РЕФЕРАТ

Лановий О.Т. Оцінка функціонування автомобільних міжнародних транспортних коридорів України / О.Т. Лановий, І.А. Виговська // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1(46).

Рішення проблеми функціонування та розвитку мережі автомобільних доріг України, у тому числі, міжнародних транспортних коридорів (МТК), з урахуванням проблем, що накопилися у транспортно-дорожньому комплексі країни, вимагає системного підходу й виконання цілої низки завдань, а саме: розвиток мережі автомобільних доріг має бути пов'язаний з розвитком і станом економіки, а також з розвитком транспортної системи України; питання розвитку мережі автомобільних доріг, у тому числі, автомобільних міжнародних транспортних коридорів, має

розглядатися комплексно незалежно від значення окремих автомобільних доріг; потрібним є охоплення усього спектру проблем, включаючи удосконалення управління, законодавчої та нормативної бази, державного регулювання, тощо.

Актуальною є оцінка функціонування автомобільних міжнародних транспортних коридорів, які є складовими мережі автомобільних доріг загального користування України.

Для покращення функціонування мережі автомобільних доріг загального користування України необхідно розробити нові сучасні підходи до планування розвитку цієї мережі, у тому числі міжнародних транспортних коридорів. Метою дослідження є довести необхідність створення магістральної мережі «інтелектуальних» автоматизованих автомобільних магістралей у межах цієї мережі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МЕРЕЖА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ, ФУНКЦІОНУВАННЯ, РОЗВИТОК, УМОВИ БЕЗПЕРЕРВНОГО, БЕЗПЕЧНОГО ТА ЗРУЧНОГО РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ, ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА РЕГІОНУ.

ABSTRACT

Lanovoy A.T., Vyhovska I.A. Assessment of the functioning of motorway international transport corridors of Ukraine. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences» Scientific and Technical Collection. – Kyiv. National Transport University. 2020. – Issue 1(46).

Formerly, international transport corridors (MTCs), solving problems of functioning and development of highways of Ukraine, with the application of the problems that have accumulated in the road complex, require systematic visits to a number of tasks, as well as: any number of civil servants has be open with the development and condition of the economy, as well as with the development of the transport system of Ukraine; the issue of the development of the road network, including international road transport corridors, should be considered in a comprehensive manner, regardless of the importance of the individual highways; coverage of the full range of issues, including improvements to governance, legislative and regulatory frameworks, government regulation, etc., is required.

It is relevant to evaluate the functioning of international road transport corridors, which are part of the network of public roads of Ukraine.

In order to improve the functioning of the public road network of Ukraine, it is necessary to develop new modern approaches to planning the development of this network, including international transport corridors. The purpose of the study is to prove the need to create a backbone network of «intelligent» automated highways within this network.

KEYWORDS: ROAD NETWORK, FUNCTIONING, DEVELOPMENT, AN UNINTERRUPTED, SECURE AND CONVENIENT TRAFFIC FLOW

РЕФЕРАТ

Лановой А.Т. Оценка функционирования автомобильных международных транспортных коридоров Украины / А.Т. Лановой, И.А. Выговская // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1(46).

Решение проблемы функционирования и развития сети автомобильных дорог Украины, в том числе, международных транспортных коридоров (МТК), с учетом накопившихся в транспортно-дорожном комплексе страны, требует системного подхода и выполнения целого ряда задач, а именно: развитие сети автомобильных дорог должен быть связан с развитием и состоянием экономики, а также с развитием транспортной системы Украины; вопросы развития сети автомобильных дорог, в том числе, автомобильных международных транспортных коридоров, должно рассматриваться комплексно независимо от значения отдельных автомобильных дорог; нужным является охват всего спектра проблем, включая совершенствование управления, законодательной и нормативной базы, государственного регулирования и тому подобное.

Актуальна оцінка функціонування автомобільних міжнародних транспортних коридорів, які є складовими мережі автомобільних доріг загального користування України.

Для удосконалення функціонування мережі автомобільних доріг загального користування України необхідно розробити нові сучасні підходи до планування розвитку цієї мережі, у тому числі міжнародних транспортних коридорів.

международных транспортных коридоров. Целью исследования является доказать необходимость создания магистральной сети «интеллектуальных» автоматизированных автомобильных магистралей в пределах сети.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: СЕТЬ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ, ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ, РАЗВИТИЕ, УСЛОВИЯ НЕПРЕРЫВНОГО, БЕЗОПАСНОГО И УДОБНОГО ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ, ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА РЕГИОНА.

АВТОРИ:

Лановий Олександр Тимофійович, доктор технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, e-mail: al.lanovoy@gmail.com, тел. +380442804885, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к.432. orcid.org/0000-0002-0717-9870

Виговська Інна Анатоліївна, Національний транспортний університет, завідувач лабораторії кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, e-mail: i.vyhovska2609@gmail.com, тел. +380442804885, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к.435. orcid.org/0000-0003-1426-9863.

AUTHOR:

Lanovoy O.T., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, head of the department of Transport systems and traffic safety, e-mail: al.lanovoy@gmail.com tel. +380442804885, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovicha-Pavlenko str. 1, of. 432. orcid.org/0000-0002-0717-9870

Vyhovska I.A., National Transport University head of laboratory transport systems and traffic safety, e-mail: i.vyhovska2609@gmail.com, tel. +380442804885, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovicha-Pavlenko str. 1, of. 435 orcid.org /0000-0003-1426-9863.

АВТОРЫ:

Лановой Александр Тимофеевич, доктор технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, профессор кафедры транспортных систем и безопасности дорожного движения, e-mail: al.lanovoy@gmail.com тел. +380442804885, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленко 1, к. 432. orcid.org/0000-0002-0717-9870

Выговская Инна Анатольевна, Национальный транспортный университет, заведующий лабораторией транспортных систем и безопасности дорожного движения, e-mail: i.vyhovska2609@gmail.com, тел. +380442804885, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленко 1, к. 435 orcid.org /0000-0003-1426-9863 .

РЕЦЕЗЕНТИ:

Поліщук Володимир Петрович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху.

Кисельов Володимир Борисович, доктор технічних наук, професор, директор навчально-наукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету ім. В.І.Вернадського

REVIEWERS:

Vladimir Petrovich Polishchuk, doctor of technical Sciences, Professor, national transport University, head of Department «Transportation systems and traffic safety»

Kiselev Vladimir Borisovich, doctor of technical Sciences, Director of the Educational and Scientific Institute of Municipal Management and Urban Economics of Tavrida National University V.I .Vernadsky

МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ КОМУНІКАЦІЯМИ В ПРОЕКТАХ

Лебідь І.Г., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, i.h.lebed@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0707-4179

Ткаченко В.А., Національний транспортний університет, Київ, Україна, tva-ntu@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5147-0772

Лисак Р.С., Національний транспортний університет, Київ, Україна, roksil209@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2776-5623

Хрутьба А.С., Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ, Україна, hrutba.andrey@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2456-8437

PROJECT COMMUNICATION MANAGEMENT METHODS

Lebid I.H., Candidate of Science (Engineering), National Transport University, Kyiv, Ukraine, i.h.lebed@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0707-4179

Tkachenko V.A., National Transport University, Kyiv, Ukraine, tva-ntu@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5147-0772

Lysak R.S., National Transport University, Kyiv, Ukraine, roksil209@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2776-5623

Khrutba A.S., Taras Shevchenko National University, Kyiv, Ukraine, hrutba.andrey@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2456-8437

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ КОММУНИКАЦИЯМИ В ПРОЕКТАХ

Лебедь И.Г., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, i.h.lebed@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0707-4179

Ткаченко В.А., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, tva-ntu@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5147-0772

Лысак Р.С., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, roksil209@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2776-5623

Хрутьба А.С., Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина, hrutba.andrey@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2456-8437

Постановка проблеми.

Вирішення сучасних суспільних проблем шляхом реалізації різних проектів набуває все більшої популярності у зв'язку з ефективністю впровадження даних дій та досягнення запланованого результату. Наприклад, з метою подолання негативного впливу антропогенної діяльності на довкілля активно проходить процес реалізації екологічних проектів. Для активізації цього процесу забезпечується тісний зв'язок з освітою та вихованням. Завдяки впровадженню нових знань, цінностей, переживань, інформації, технологій в даний процес у людини формується відповідна свідомість та способи діяльності, спрямовані на підвищення рівня компетенцій фахівців [1].

Для підготовки фахівців різних галузей у ЗВО реалізуються різноманітні проекти. Вони мають свої особливості і в теорії управління проектами називаються «гнучкими». До них відносять освітні, екологічні, наукові та інші види проектів.

Гнучкі проекти характеризуються наявністю великої кількості стейкхолдерів, постійно змінюються умови їх впровадження та учасники. Ці проекти потребують налагодження процесу комунікації на усіх рівнях та етапах життєвого циклу проекту. Збільшення кількості таких проектів зумовлює актуальність цієї роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Основи методології управління проектами викладені в посібнику РМВoК, стандарті ISO 10006:2003, японському національному стандарті Р2М, публікаціях членів Міжнародної асоціації управління проектами IPMA.

Питання, пов'язані з управлінням екологічними проектами, досліджені в наукових роботах таких вчених як Хрутьба В.О., Матейчик В.П., Руденко С.В., Гогунський В.Д., Олексієнко М.М., Гавадзин Н.О.

Проблематика управління комунікаціями в проектах висвітлена в публікаціях таких авторів: Неізнаний С.І., Бушуєв С.Д., Морозов В.В., Фесенко Т.Г., Власенко О.В., Лебідь В.В., Гогунський В.Д., Бабчинська О. І., Савчук Х.Ю., Торкатюк В.І.

Особливості управління освітніми проектами розглядаються в роботах Горідько Н.М., Рутковської І.А., Хрутьби В.О., Матейчика В.П., Кузьмінської Ю.М., Придатка О.В.

Незважаючи на велику кількість досліджень, вибір ефективного методу управління комунікаціями для конкретних проектів потребує подальшого дослідження.

Формування цілей статті (постановка завдання)

Метою роботи є вибір методу управління комунікаціями в різних типах проектів. Для досягнення цієї мети поставлено такі завдання:

- визначення особливостей управління комунікаціями в гнучких проектах;
- аналіз існуючих методів комунікацій;
- вибір методу комунікації для конкретного проекту.

Виклад основного матеріалу дослідження

Щоб дослідити процес комунікації між зацікавленими сторонами, наприклад, в екологічних освітніх проектах, необхідно розібратися із загальними питаннями комунікації.

Отже, комунікація – (від лат. communicatio – єдність, передача, з'єднання, повідомлення, пов'язаного з дієсловом лат. communico – роблю спільним, повідомляю, з'єдную, похідним від лат. communis – спільний) – це процес обміну інформацією (фактами, ідеями, поглядами, емоціями тощо) між двома або більше особами [2].

Комунікації проекту складаються з процесів своєчасного збору, поширення, зберігання, отримання та використання інформації. Одним із обов'язків менеджера проекту є формування своєрідного інтелектуального простору для обговорення зацікавленими сторонами проекту спільних завдань, цілей та сфер інтересів [3].

В процесі планування комунікацій необхідно виявити потреби зацікавлених сторін проекту в інформації, а також визначити підхід до комунікацій [4].

Оскільки екологічні та освітні проекти є розподіленими (рис. 1), їх комунікації складні, розгалужені, мають велику кількість зацікавлених сторін та учасників проектною команди з різних галузей і характеризуються тісними зв'язками із зовнішнім середовищем.

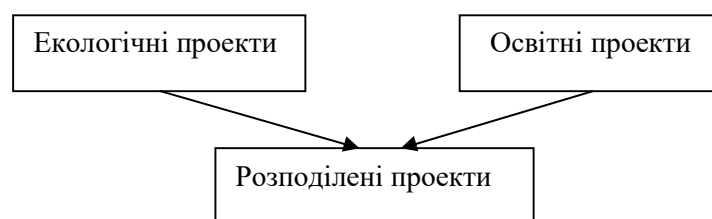


Рисунок 1 – Розподілені проекти
Figure 1 – Distributed projects

Крім того, дані види проектів тісно пов'язані між собою і досить часто формують спільне проектне середовище, яке містить як екологічну, так і освітню складову (рис.2).

Значна частина екологічних освітніх проектів мають інформаційний характер і спрямовані на передачу знань. Сучасна дидактика актуальними вважає такі принципи навчання[5]:

1. принцип науковості.
2. принцип систематичності й послідовності навчання.
3. принцип доступності навчання.
4. принцип зв'язку навчання з життям.
5. принцип свідомості й активності учнів у навчанні.
6. принцип наочності в навчанні.
7. принцип міцності засвоєння знань, умінь і навичок.
8. принцип індивідуального підходу до учнів.
9. принцип емоційності навчання.

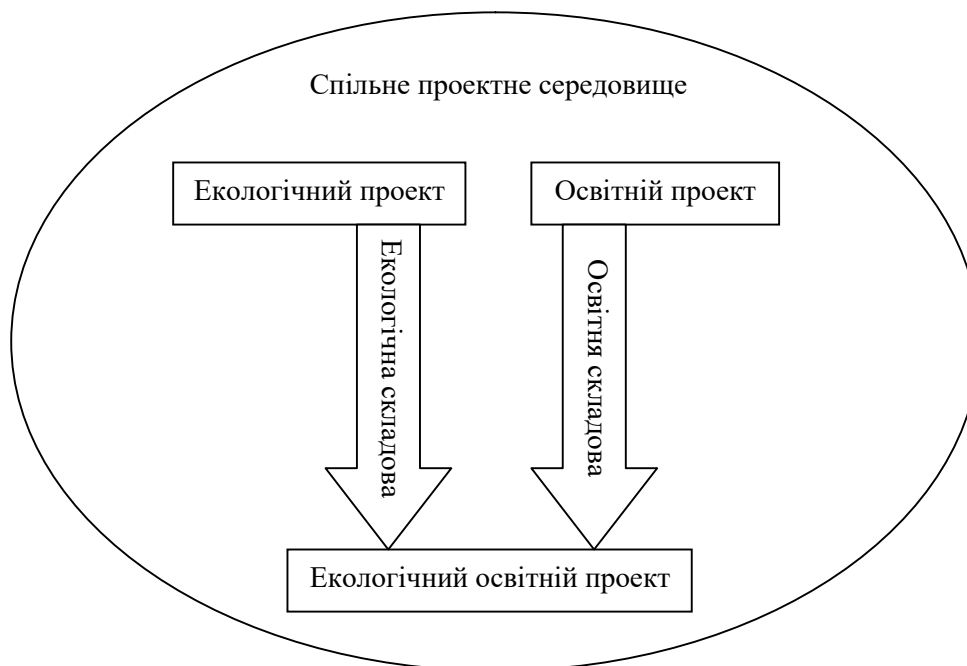


Рисунок 2 – Спільне проектне середовище екологічних та освітніх проектів
Figure 2 – Joint environment of environmental and educational projects

Формуванню екологічних знань в процесі навчання особливо сприяють принципи, характеристика яких відображена в табл.1.

Таблиця 1 – Характеристика дидактичних принципів навчання для формування екологічних знань

Table 1 – Characteristics of didactic teaching principles for the formation of environmental knowledge

Принципи навчання	Характеристика
1	2
Принцип науковості	Його сутність – усі факти, знання, положення і закони, що вивчаються, повинні бути науково правильні, так само, як і спосіб обґрунтування положень і законів та формування понять у процесі навчання [5]. Для реалізації цього принципу необхідне вивчення основних екологічних законів та вмінь їх використовувати на практиці. Принцип науковості дає змогу розкрити причинно-наслідкові зв'язки явищ, які відбуваються в навколишньому середовищі, демонструє потужність людських знань в екології, розкриває історію розвитку науки, боротьби тенденцій, орієнтації на міждисциплінарні наукові зв'язки.
Принцип систематичності й послідовності навчання	передбачає системність у роботі студентів (систематичне відвідування занять, увага на лекціях, систематичне повторення навчального матеріалу).
Принцип доступності навчання	Реалізація цього принципу передбачає: врахування рівня розвитку; індивідуальних особливостей; дотримання правил: від простого – до складного, від відомого – до невідомого, від близького – до далекого.
Принцип зв'язку навчання з життям	Реалізацію цього принципу забезпечують: використання на семінарах життєвого досвіду студентів; застосування набутих знань у практичній діяльності; розкриття практичної значимості знань; безпосередня участь студентів у громадському житті. Реальне життя показує, що екологічна освіта виявляється малоефективною, коли вона базується тільки на повідомленні відповідних знань, порад, інструкцій та ін. Вона не сприяє своєчасному психоемоційному сприйняттю екологічної інформації.

Продовження таблиці 1
Continued Table 1

1	2
Принцип зв'язку навчання з життям	Оскільки компонентами процесу виховання незалежно від його змісту є свідомість особистості, її емоційно-чуттєва сфера, навички і звички поведінки, реальним постає той факт, що заняття з екології повинні базуватися на реалізації психоемоційних властивостей людини: співпереживанні, співчутті, радості, любові, відчутті гармонії. Саме за таких умов екологічна освіта буде здійснюватися через спеціально організоване екологічне навчання та виховання, орієнтоване на формування екологічної культури студентів. Тому необхідно показати, що існують різноманітні, досить ефективні форми екологічного навчання молоді.

Існує чотири базові елементи, які задіяні в процесі обміну інформацією [6]:

- відправник – особа, яка генерує ідею або збирає інформацію і передає її;
- повідомлення – інформація, закодована за допомогою символів;
- канал – засіб передачі інформації;
- отримувач – особа, якій призначена інформація і яка інтерпретує її.

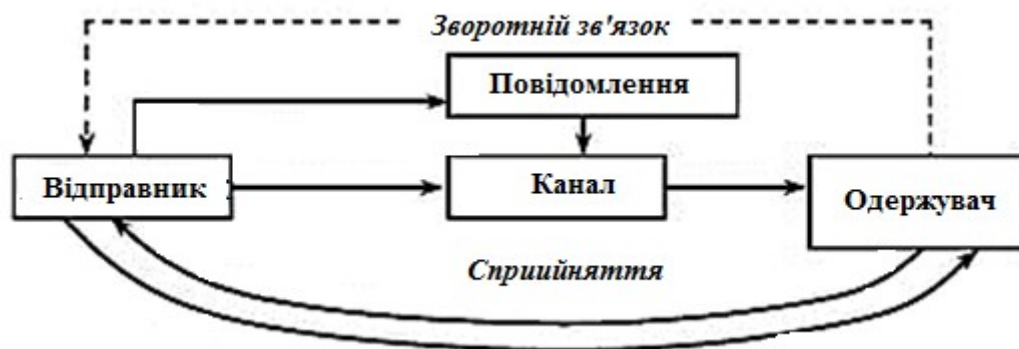


Рисунок 3 – Взаємозв'язок елементів комунікаційного процесу [7]

Figure 3 – Interconnection of the communication process elements [7]

Для екологічних освітніх навчальних проектів характерний такий перелік елементів комунікаційного процесу:

- відправник – лектор, доповідач, співрозмовник;
- повідомлення – інформація про стан навколишнього середовища, екологічні проблеми, шляхи їх вирішення та ін.;
- канал – обирається на основі основних моделей комунікацій (табл.2);
- отримувач – аудиторія, якій адресована дана інформація.

Таблиця 2 – Основні моделі комунікацій

Table 2 – Basic communication models

Основні методи комунікації	Переваги	Недоліки
1	2	3
1. Усні (їх формами є: виступи (промови), групові дискусії, телефонні розмови, розповсюдження чуток).	Швидкість обміну інформацією, наявність гарного зворотнього зв'язку (у формі запитання або погодження), відносна легкість комунікації.	Проблема неточності, неадекватності використання відправником недоречних слів, у процесі комунікації можуть бути випущені суттєві деталі, слухач може забути частку або усю інформацію, що передається, викривлення повідомлення при його передаванні другій, третій і т.д особі.

Продовження таблиці 2
Continued Table 2

1	2	3
2. Письмові (їх формами є накази, розпорядження, листи, повідомлення, звіти, реферати.)	Письмова інформація постійна, піддається зберігання та є незмінною протягом довгого часу, це інформація є відчутною на дотик, це інформація є такою, яку можна перевірити, ця інформація є більш логічною, обґрунтованою і точною, використовується, коли важливо якомога точніше передати зміст складної та об'ємної інформації.	Повільність обміну інформацією; відсутність гарного зворотнього зв'язку; деяка складність.
3. Невербальні (будь-який обмін інформацією, який не використовує слова):	Можливість до гарного зворотнього зв'язку, проникливість до ситуації	Проблема неточності, неадекватності використання, можуть бути впущені суттєві деталі
а) «мова тіла» – за допомогою жестів, виразів обличчя, посмішок можна передавати такі емоції як стурбованість, задоволення тощо.	Можливість викликати прихильність чи симпатію у людини	Можуть бути неадекватні або ж за необхідністю підроблені.
б) «мова голосу» – підвищення або пониження, що виказує певні почуття того, хто говорить.	Викликає прихильність, співчуття, симпатію, зацікавленість.	Впливає на сприйняття інформації в цілому, ризик не уваги з боку слухача чи не зацікавленість, монотонність.
в) «символіка» – умовність, яка приписується будь-чому в діяльності менеджера або діяльності організації в цілому (обладнання офісу, розмір).	Впливає на атмосферу колективу, людини.	Може негативно впливати на психічний стан людини, пригноблювати
4. Електронні (їх формами є обмін інформацією за допомогою електронної пошти, соціальних мереж, месенджерів.	Легкий, швидкий і зручний доступ. Зберігання великих об'ємів інформації. Можливий швидкий зворотній зв'язок.	Можуть виникати неточності в процесі розуміння інформації

На основі систематизованого представлення комунікацій в складних процесах [8], можна сказати, що екологічні освітні проекти:

- передбачають значну частку комунікацій на зовнішньому рівні;
- можуть бути достатньо некерованими;
- за легітимністю можуть бути як легітимними, так і нелегітимними, оскільки передбачають велику кількість зустрічей;
- за кількістю учасників у більшості випадків груповими, рідше – одноособовими;
- бувають вертикальними, горизонтальними і діагональними.

Згідно матриці ресурсів проекту, рівень комунікації відноситься до трудових ресурсів проектною команди. Ефективність комунікацій у проекті є показником виконання проекту, який характеризує операційну ефективність реалізації певної програми [9] та забезпечує оптимальну взаємодію зацікавлених сторін [10].

Для визначення ефективного методу комунікації в «гнучких» проектах, була проведена експертна оцінка, результати якої відображені в таблиці 3.

Оцінювання проводилось за 10-бальною шкалою. Найефективніший метод оцінювався найвищою кількістю балів.

Таблиця 3 – Експертна оцінка методів комунікації в «гнучких» проектах
Table 3 – Expert evaluation of communication methods in «flexible» projects

Типи проектів	Методи комунікації			
	Усні	Письмові	Невербальні	Електронні
Освітні	9	10	6	7
Екологічні	7	5	8	10
Наукові	7	10	5	8
Загальна оцінка	23	25	19	25

Було визначено, що для освітніх проектів, так як і для наукових, письмові методи отримали найвищу бальну оцінку, а для екологічних проектів найефективнішим методом комунікації визнано електронний. Результати експертного оцінювання зображені на рисунку 4.



Рисунок 4 – Результати експертного оцінювання методів комунікації в «гнучких» проектах
Figure 4 – Results of peer review of communication methods in «flexible» projects

Висновки

Особливостями управління комунікаціями в «гнучких» проектах є врахування великої кількості зацікавлених сторін та участь у проекті фахівців з різних галузей. Це потребує пошуку ефективних способів їх спілкування, взаємодії та обміну інформацією. В результаті проведеного аналізу існуючих методів комунікації, було визначено, що найчастіше використовуються такі: усні, письмові, невербальні, електронні. Для прикладу було розглянуто освітні, екологічні та наукові проекти та, використовуючи метод експертних оцінок, визначено найефективніші методи комунікації для кожного з них. Найбільшу бальну оцінку отримали письмові методи для здійснення комунікацій у освітніх та наукових проектах. Для екологічних проектів найдієвішими були визнані електронні методи комунікації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Большак Л.І. Екологізація освіти як соціальна потреба сучасного суспільства : дис. ...кандидата філософських наук : 09.00.10 / Большак Людмила Іванівна. – Київ : Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова, 2012. – 187 с.
2. Почепцов Г.Г. Теорія комунікації / Г.Г. Почепцов. – К. : Видавничий центр “Київський університет”, 1999. – 308 с.
3. Фесенко Т. Г. Управління проектами: теорія та практика виконання проектних дій: навч. посіб. / Т. Г. Фесенко; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 2012. – 181 с.
4. Руководство к Своду знаний по управлению проектами. Четвертое издание (Руководство PMBOK), Project Management Institute, 2008. – 241 с.

5. Фіцула М.М. Педагогіка: навч. посіб. / М.М. Фіцула. – 2-ге вид., випр. і допов. – К : Академвидав, 2005. – 560 с.
6. Романов Т.В. Управління комунікаціями та шляхи подолання комунікаційних бар'єрів у проєктах / Т.В. Романов, О.М. Чередниченко // Управління проєктами та розвиток виробництва: Зб.наук.пр. – Луганськ: вид-во СЛУ ім. В.Даля, 2012. – № 3 (43). С. 99-106.
7. Моргулець О. Б. Менеджмент у сфері послуг: навч. посіб. / О.Б. Моргулець. – К.: Центр учбової літератури, 2012. – 384 с.
8. Романів Т.В. Моделі та методи управління комунікаційними бар'єрами в складних проєктах на основі ціннісноорієнтованого підходу : дис. ...кандидата технічних наук : 05.13.22 / Романів Тетяна Віталіївна. – Харків : Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, 2015. – 184 с.
9. Хрутьба В.О. Основи управління проєктами і програмами поводження з відходами в транспортно-дорожньому комплексі: монографія. — К.: НТУ, 2013. — 192 с.
10. Хрутьба А.С. Особливості взаємодії зацікавлених сторін у природоохоронних проєктах / Ю.С. Хрутьба, В.В. Морозов, Ю.С. Хрутьба // Управління розвитком складних систем. – 2019. – № 37.– С.32 – 39.

REFERENCES

1. Bolshak, L.I. (2012). Ekologizatsiia osvity iak potreba suchasnoho suspilstva [Ecologization of education as a social need of modern society]. *Candidate's thesis*. Kyiv: Natsionalnyi pedahohichnyi universytet imeni M.P. Drohomanova [in Ukrainian].
2. Pocheptsov, H.H. (1999). Teoriia komunikatsii [Communication theory]. Kyiv: Vydavnychyii tsentr «Kyivskii universytet» [in Ukrainian].
3. Fesenko, T.H. (2012) Upravlinnia proektamy: teoria ta praktyka vekonannia proektnykh dii [Project Management: Theory and Practice of Performing Project Actions]. Kharkiv: KhNAMH [in Ukrainian].
4. Rukovodstvo k svodu znaniy po upravleniiu proektamy [A Guide to the Project Management Body of Knowledge] (2008), Project Management Institute
5. Fitsula, M.M. (2005). Pedahohika [Pedagogy]. Kyiv: Akademyvydav [in Ukrainian].
6. Romanov, T.V., & Cherednychenko, A.M. (2012). Upravlinnia komunikatsiamy ta shliakhy podolannia barieriv u proektakh [Office of communications and ways to overcome communication barriers in projects]. Upravlinnia proektamy ta rozvytok vyrobnytsyva – Project management and development of production, 3 (43), 99-106 [in Ukrainian].
7. Morhulets, O.B. (2012). Menedzhment u sferi posluh [Management in the sphere of services]. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury [in Ukrainian].
8. Romaniv, T.V. (2015). Modeli ta metody upravlinnia komunikaciinymy barieramy v skladnykh proektakh na osnovi cinnisnooriantovanoho pidkhodu [Models and methods of communication barriers management in complex projects in reliance on value-based approach]. *Candidate's thesis*. Kharkiv: Kharkivskii natsionalnyi universytet miskoho hospodarstva im. O.M. Beketova [in Ukrainian].
9. Khrutba V.O. Osnovy upravlinnia proektamy i prohramamy povodzhennia z vidhodamy v transporyno-dorozhnomu kompleksi [Fundamentals of project management of waste management in the transport-road complex]. Kyiv: NTU [in Ukrainian].
10. Khrutba, A.S., Morozov, V.V., & Khrutba, Yu.S. (2019). Osoblyvosti vzaiemodii zatsikavlenykh storing u pryrodoohoronnykh proektakh [Features of interventions of stakeholders in nature-protect projects]. Upravlinnia rozvytkom skladnykh system – Management of Development of Complex Systems, 37, 32-39

РЕФЕРАТ

Лебідь І.Г. Методи управління комунікаціями в проєктах / І.Г. Лебідь, В.А. Ткаченко, Р.С. Лисак, А.С. Хрутьба // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

Ефективність процесу вирішення сучасних суспільних проблем значно зростає завдяки застосуванню моделей і методів проєктного управління. Значної популярності набули проєкти, які мають багато стейкхолдерів та учасників проєктної команди з різних галузей, і називаються розподіленими. У закладах вищої освіти в навчальний процес часто впроваджують «гнучкі проєкти», які при підготовці фахівців для різних галузей сприяють формуванню у них відповідних компетенцій. Процес реалізації таких проєктів проходить міні-циклами та передбачає складну і розгалужену систему комунікацій, особливо із зовнішнім середовищем.

Метою роботи є вибір методу управління комунікаціями в різних типах проектів.

В статті визначено особливості управління комунікаціями в гнучких проектах та проведено аналіз існуючих методів комунікацій на прикладі екологічних освітніх проектів.

За допомогою методу експертних оцінок було визначено ефективні методи комунікації в гнучких проектах, а саме освітніх, екологічних та наукових, оскільки успіх їх реалізації є підґрунтям для подальшого формування стабільного внутрішнього середовища нашої держави. Для освітніх та наукових проектів найбільш ефективними визначено письмові методи комунікації, а при реалізації екологічних проектів електронні комунікації мають найвищу успішність.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: УПРАВЛІННЯ КОМУНІКАЦІЯМИ, ГНУЧКІ ПРОЕКТИ, ЕКОЛОГІЧНІ ПРОЕКТИ, ОСВІТНІ ПРОЕКТИ, НАУКОВІ ПРОЕКТИ, ПРОЦЕС КОМУНІКАЦІЙ.

ABSTRACT

Lebid I.H., Tkachenko V.A., Lysak R.S., Khrutba A.S. Methods of Communication Management in Projects Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The effectiveness of the process of solving contemporary social problems is greatly enhanced by the application of models and methods of project management. Projects that have many stakeholders and project team members from various industries have gained considerable popularity and are called distributed. Higher education institutions often introduce “flexible projects” into the educational process, which, when preparing specialists for different industries, contribute to the formation of their respective competences. The process of implementing such projects goes through mini-cycles and involves a complex and extensive communication system, especially with the external environment.

The purpose of the work is to choose the method of communication management in different types of projects. The features of communication management in flexible projects are defined in the article and the analysis of existing methods of communication on the example of environmental educational projects is carried out. The method of expert evaluation has identified effective methods of communication in flexible projects, namely educational, environmental and scientific, since the success of their implementation is the basis for the further formation of a stable internal environment of our country. For educational and scientific projects, the most effective are the written methods of communication, while the implementation of environmental projects, electronic communications are the most successful.

KEYWORDS: COMMUNICATION MANAGEMENT, FLEXIBLE PROJECTS, ENVIRONMENTAL PROJECTS, EDUCATIONAL PROJECTS, RESEARCH PROJECTS, COMMUNICATION PROCESS.

РЕФЕРАТ

Лебедь И.Г. Методы управления коммуникациями в проектах / И.Г. Лебедь, В.А. Ткаченко, Р.С. Лысак, А.С. Хрутьба // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46)

Эффективность процесса решения современных общественных проблем значительно возрастает благодаря применению моделей и методов проектного управления. Большую популярность приобрели проекты, которые имеют много стейкхолдеров и участников проектной команды из разных областей, и называются распределенными. В учреждениях высшего образования в учебный процесс часто внедряют «гибкие проекты», которые при подготовке специалистов для различных отраслей способствуют формированию у них соответствующих компетенций. Процесс реализации таких проектов проходит мини-циклами и предусматривает сложную и разветвленную систему коммуникаций, особенно с внешней средой.

Целью работы является выбор метода управления коммуникациями в различных типах проектов.

В статье определены особенности управления коммуникациями в гибких проектах и проведен анализ существующих методов коммуникаций на примере экологических образовательных проектов.

С помощью метода экспертных оценок были определены эффективные методы коммуникации в гибких проектах, а именно образовательных, экологических и научных, поскольку успех их реализации является основой для дальнейшего формирования стабильного внутренней среды нашего государства. Для образовательных и научных проектов наиболее эффективными определены письменные методы коммуникации, а при реализации экологических проектов электронные коммуникации имеют самую высокую успешность.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: УПРАВЛЕНИЕ КОММУНИКАЦИЯМИ, ГИБКИЕ ПРОЕКТЫ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ, ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОЕКТЫ, НАУЧНЫЕ ПРОЕКТЫ, ПРОЦЕСС КОММУНИКАЦИИ.

АВТОРИ:

Лебідь І.Г., кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, e-mail: i.h.lebed@gmail.com, тел. +380681238733, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 437, orcid.org/0000-0003-0707-4179

Ткаченко В.А., Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного права та логістики, e-mail: tva-ntu@ukr.net, тел. +380502675775, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 439, orcid.org/0000-0001-5147-0772

Лисак Р.С., Національний транспортний університет, асистент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, e-mail: roksi1209@ukr.net, тел. +380979756341, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 312, orcid.org/0000-0002-2776-5623

Хрутьба А.С., Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, аспірант кафедри технологій управління факультету інформаційних технологій, e-mail: hrutba.andrey@gmail.com, тел. +380936000895, Україна, м. Київ, вул. Богдана Гаврилишина, 24, orcid.org/0000-0003-2456-8437

AUTHOR:

Lebid I.H., Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of International Transportation and Customs Control, e-mail: i.h.lebed@gmail.com, tel. +380681238733, Ukraine 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 437, orcid.org/0000-0003-0707-4179

Tkachenko V.A., National Transport University, Associate Professor of Department of Transport Law and Logistics, e-mail: tva-ntu@ukr.net, тел. +380502675775, Ukraine 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 439, orcid.org/0000-0001-5147-0772

Lysak R.S., National Transport University, Assistant Lecturer, Department of Ecology and Safety of Vital Functions, e-mail: roksi1209@ukr.net, тел. +380979756341, Ukraine 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 312, orcid.org/0000-0002-2776-5623

Khrutba A.S., Taras Shevchenko National University, Postgraduate Student, Department of Management Technologies, Faculty of Information Technologies, e-mail: hrutba.andrey@gmail.com, тел. +380936000895, Ukraine, Kyiv, Bohdan Havrylyshyn Str., 24, orcid.org/0000-0003-2456-8437

АВТОРЫ:

Лебедь И.Г., кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры международных перевозок и таможенного контроля, e-mail: i.h.lebed@gmail.com, тел. +380681238733, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляновича-Павленко 1, к. 437, orcid.org/0000-0003-0707-4179

Ткаченко В.А., Национальный транспортный университет, доцент кафедры транспортного права и логистики, e-mail: tva-ntu@ukr.net, тел. +380502675775, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляновича-Павленко 1, к. 439, orcid.org/0000-0001-5147-0772

Лысак Р.С., Национальный транспортный университет, ассистент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности, e-mail: roksi1209@ukr.net, тел. +380979756341, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляновича-Павленко 1, к. 312, orcid.org/0000-0002-2776-5623

Хрутьба А.С., Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, аспирант кафедры технологий управления факультета информационных технологий, e-mail: hrutba.andrey@gmail.com, тел. +380936000895, Украина, м. Киев, ул. Богдана Гаврилишина, 24, orcid.org/0000-0003-2456-8437

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Шраменко Н. Ю. доктор технічних наук, професор, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, професор кафедри транспортних технологій і логістики, Харків, Україна.

Прокудін Г.С., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедрою «Міжнародні перевезення та митний контроль», Київ, Україна.

REVIEWER:

Shramenko N.Y., Doctor of Technical Science, Professor, Kharkiv Petro Vasilenko National Technical University of Agriculture, Professor of the Department of Transport Technologies and Logistics, Kharkiv, Ukraine.

Prokudin H.S., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Head Department of International Transportation and Customs Control, Kyiv, Ukraine.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПРИВІДНОГО НАГНІТАЧА ROTREX ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В СИСТЕМАХ НАДДУВУ

Лисовал А.А., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна,
li-dvz@bigmir.net, orcid.org/0000-0001-6168-4010

RESEARCH OPPORTUNITIES OF ROTREX SUPERCHARGER FOR APPLICATION IN EXHAUST SYSTEMS

Lisoval A.A., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine,
li-dvz@bigmir.net, orcid.org/0000-0001-6168-4010

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИВІДНОГО НАГНІТАТЕЛЯ ROTREX ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМАХ НАДДУВА

Лисовал А.А., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев,
Украина, li-dvz@bigmir.net, orcid.org/0000-0001-6168-4010

Постановка проблеми і аналіз останніх досліджень.

Відомо, що приводні нагнітачі (компресори) наддуву використовуються на поршневих двигунах внутрішнього згорання давно. Спочатку це були роторно-зубчасті нагнітачі типу Рутса, потім – гвинтові і відцентрові [1]. Всі вони мають прискорюючу передачу і відбирають енергію на свій привод від колінчастого вала. З цієї причини приводні нагнітачі програють газотурбінному наддуву за максимальним значенням ступеня підвищення тиску наддуву. Мають приводні нагнітачі і переваги, одна із них – практично безінерційна подача повітря наддуву при зміні частоти обертання колінчастого вала двигуна.

На автомобілях і мотоциклетній техніці приводні нагнітачі, найчастіше, застосовують на двигунах з іскровим запалюванням для підвищення динамічних якостей колісного транспортного засобу, наприклад – це серійні моделі та тюнінгові модифікації легкових автомобілів Мерседес-Бенц, Хонда, Субару, Форд. На серійних бензинових двигунах з механічним приводом компресора надлишковий тиск наддуву не перевищує 0,08 ... 0,10 МПа. На автотракторних дизелях приводні нагнітачі застосовувалися вже давно – на двотактних дизелях [2, 3], а зараз знаходять застосування в двоступеневих системах комбінованого наддуву [1].

Виробники систем наддуву постійно ведуть роботи з удосконалення конструкцій як турбокомпресорів, так і приводних нагнітачів (компресорів). Результатом удосконалення є збільшення к.к.д. агрегатів наддуву, зменшення гідравлічного опору для газових потоків, зменшення тертя в приводі та підшипниках.

Мета статті – описання конструкції та дослідження нових приводних нагнітачів Rotrex серії C15, де для забезпечення високого тиску наддуву і к.к.д. застосовано відцентрове компресорне колесо, безударну планетарну передачу оригінальної конструкції, спеціальну систему мащення-охолодження.

Завдання дослідження: проаналізувати особливості конструкції нових приводних відцентрових компресорів фірми Rotrex серії C15, розробити стенд для безмоторних досліджень відцентрових компресорів, виконати випробування компресора серії C15 на створеному безмоторному стенді, проаналізувати результати випробувань, розробити рекомендації щодо можливостей застосування приводних відцентрових компресорів фірми Rotrex серії C15.

Особливості конструкції приводного нагнітача.

Особливістю відцентрових нагнітачів серії C15 є компактність і швидкохідність – частота обертання вала колеса компресора досягає 200000 хв⁻¹.

Значення максимального ступеня підвищення тиску (π_k) досягають 2,45 ... 2,94 за секундних витрат повітря 0,12 ... 0,10 кг/с відповідно для модифікацій C15-16 і C15-20. Ці модифікації розраховані на максимальну витрату повітря до 0,15 кг/с і застосовуються при форсуванні двигуна внутрішнього згорання до 120 ... 125 кВт.

Модифікація нагнітача C15-60 розрахована вже на витрату повітря до 0,22 кг/с і максимальне значення $\pi_k = 2,35$. З таким відцентровим компресором можливе форсування двигуна внутрішнього згорання до 175 кВт.

Зовнішні габаритні розміри відцентрових нагнітачів серії C15 показані на рис. 1.

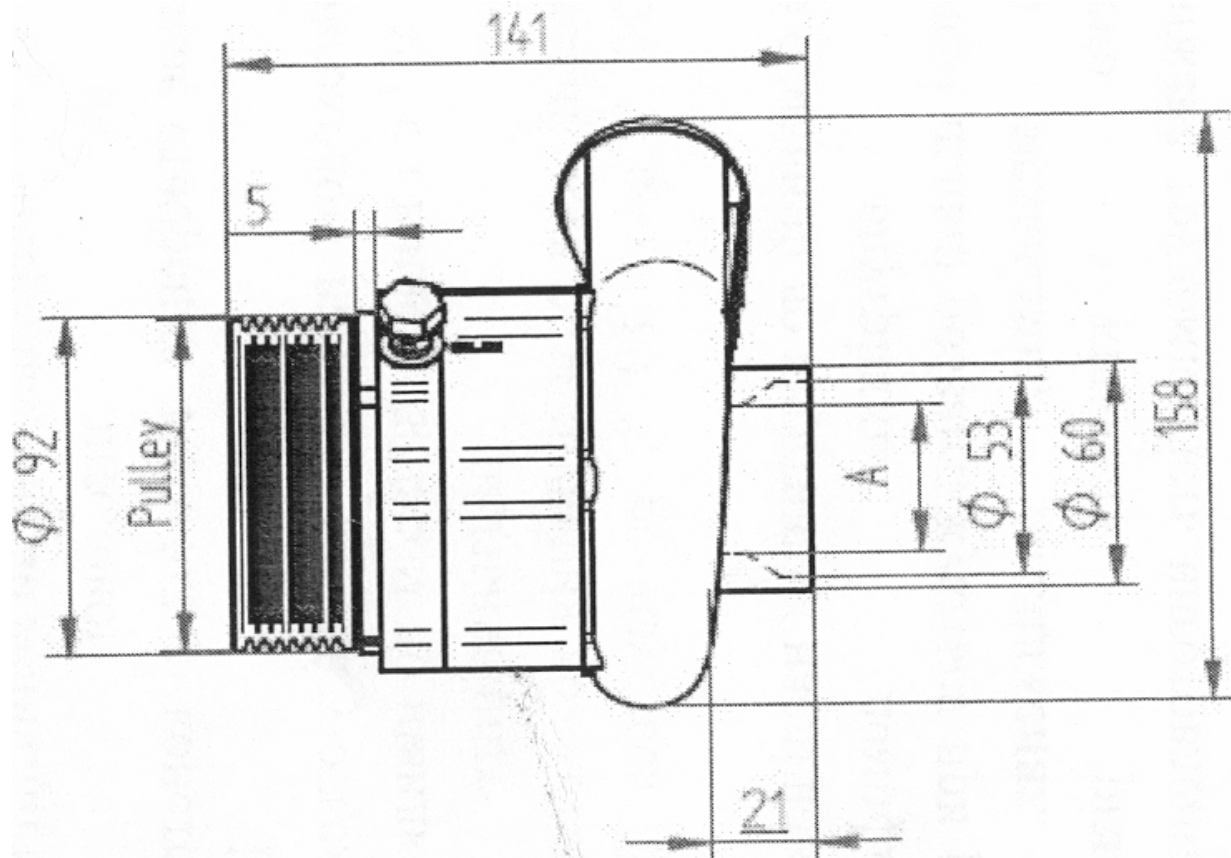


Рисунок 1 – Зовнішні розміри відцентрових нагнітачів Rotrex серії C15
Figure 1 – External dimensions of Rotrex centrifugal superchargers of model C15

Зовні модифікації відцентрових нагнітачів C15 відрізняються розміром вхідного отвору в компресор (позиція A на рис. 1) і можлива установка різних шківів (позиція Pulley на рис. 1) для 7-ми або 8-ми струмкового паса. Крім того, кожна модифікація може мати 6 варіантів, тому що можливо при установці повертати корпус компресора на 60 град [4].

Колесо компресора з двома рядами лопаток різної висоти, розміщених у напрямку радіуса, приводиться в рух від вихідного і планетарної передачі. Остання отримує крутний момент від шківів (позиція Pulley на рис. 1), який через 7-ми або 8-ми струмковий пасок створює кінематичний зв'язок з колінчастим валом двигуна. Дифузор щілинний (без лопатковий), переходить в корпус типу равлик.

Зазвичай, у відцентрових приводних компресорах застосовують одноступеневу прискорюючу або планетарну передачі шестеренного типу [5]. Фірма Rotrex застосувала в планетарній передачі замість шестерні-сателітів циліндричні ролики з опорами на кулькових підшипниках, тобто передача крутного моменту від сонячної «шестерні без зубів» через три ролика-сателіта передається валу колеса компресора завдяки силам тертя між лініями контакту.

Конструкція нагнітача серії C15 є компактною, швидкохідною, з високими значеннями к.к.д. та малошумна. Для цієї серії відцентрових компресорів передавальне число безударної планетарної передачі становить 12,67.

Високі значення к.к.д. та передавальних чисел для такого виду безударних планетарних передач опосередковано підтверджено дослідженнями німецької філії фірми NSK. Ця фірма спеціалізується на розробці трансмісій для гібридних автомобілів і електромобілів [6]. Дослідники NSK використовують в конструкціях трансмісій, планетарних передачах не тільки ролики, але і конічні і кулькові сателіти.

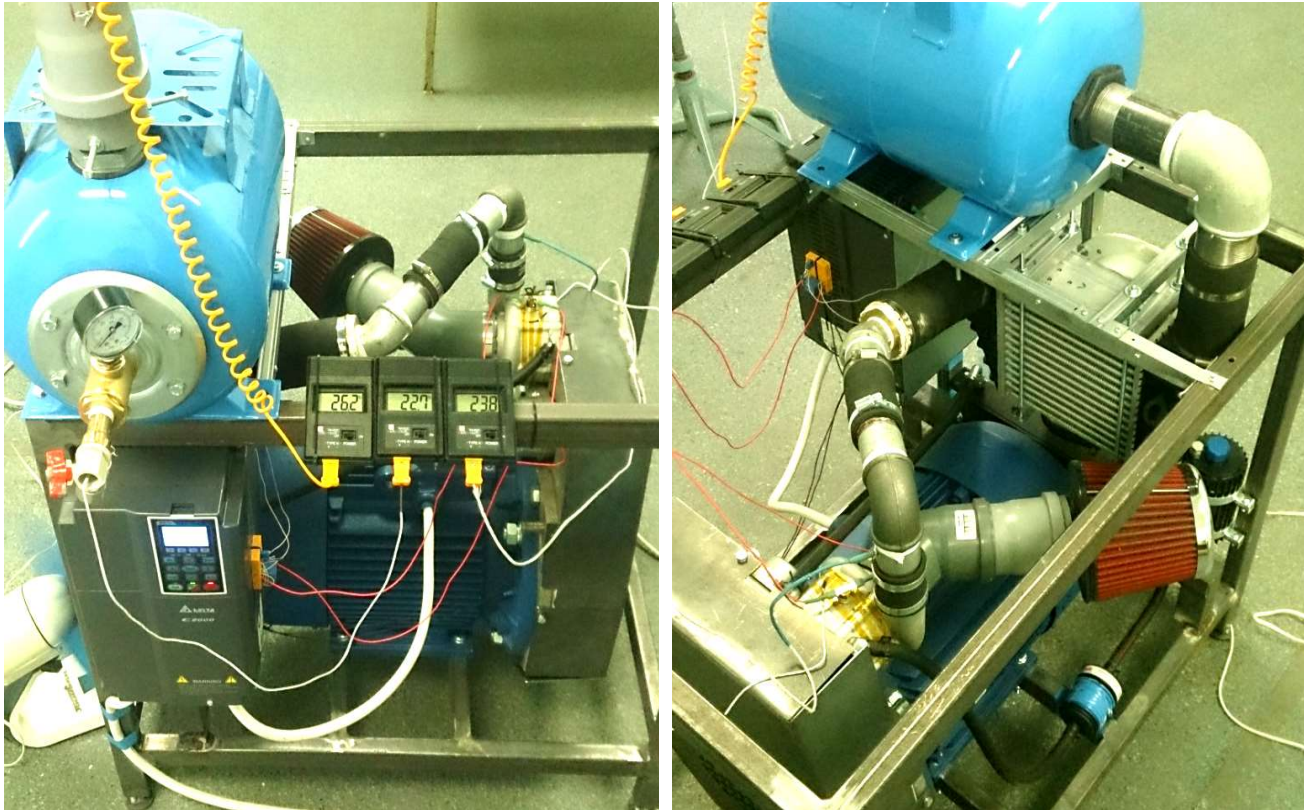
Складовою частиною безударної планетарної передачі є індивідуальна система мащення-охолодження, яка входить в комплект поставки від фірми Rotrex. Оригінальною є і олива для цієї системи мащення-охолодження.

Стенд для випробування приводного компресора.

За програмою інноваційного проекту «Динамічні системи повітряного охолодження» (DAS) для переробної галузі агропромислового комплексу (АПК) був придбаний відцентровий приводний нагнітач Rotrex серії C15-20 і виготовлений стенд для газодинамічних досліджень. Динамічна система промислового охолодження для АПК на даний час не описується.

На розробленому стенді моделювали роботу відцентрового компресора на автомобілі.

Загальний вид стенда для випробування нагнітача C15-20 показано на рис. 2.



а)

б)

Рисунок 2 – Вид стенда для випробувань відцентрового компресора C15-20:

а) збоку; б) зверху.

Figure 2 – Type of stand for testing the centrifugal superchargers of model C15-20:

a) sideways; b) from above.

Відцентровий нагнітач закріплений горизонтально відносно рами стенда та осі обертання вала однофазного електромотора змінного струму. Потужність електромотора 15 кВт.

Кінематичний зв'язок з ведучим валом безударної планетарної передачі здійснюється через шків і 7-ми струмковий пасок. Загальне передавальне число від вала електромотора через пасову і планетарну передачі до вала колеса компресора становить $3,4 \times 12,67 = 43$.

Після відцентрового компресора стиснуте повітря, надходить у проміжний охолоджувач (інтеркулер) типу повітря-повітря. Охолоджуючий потік зовнішнього повітря створювався повітряним вентилятором з електричним приводом.

Після охолоджувача стиснуте повітря надходило в ресивер, де на виході встановлювалися витратні шайби з каліброваними отворами для моделювання споживача повітря.

Частота обертання вала електромотора регулювалася за допомогою програмованого мікроконтролера, який регулював частоту електричного струму. Мікроконтролер дозволяв виставляти і утримувати частоту обертання вала електромотора з точністю 1 хв^{-1} .

Температура повітря до і після компресора і охолоджувача вимірювалася термопарами з цифровою індикацією. Опосередковано контролювали температуру оливи – вимірювали термпарою температуру на корпусі безударної планетарної передачі.

Для визначення витрати повітря вимірювали швидкість потоку за допомогою цифрового анемометра Benetech GM8901.

Результати випробувань.

Випробування відцентрового нагнітача С15-20 проводили за сталих режимів на розробленому стенді. В ручному режимі на мікроконтролері виставляли необхідну електричну частоту струму, витримували робочу температуру нагнітача і визначали параметри повітряного потоку. В ході випробувань міняли спеціальні витратні шайби, діаметр отвору в яких був від 9 мм до 16 мм. Витратні шайби встановлювали, як після ресивера, так і після компресора.

У табл. 1 наведено фрагмент протоколу випробувань відцентрового компресора з встановленою на виході витратною шайбою з діаметрами отвору 14 мм.

Таблиця 1 – Результати випробувань з витратною шайбою з діаметром отвору 14 мм
Table 1 – Test results with a flow washer with a hole diameter of 14 mm

Частота струму електромотора, Гц	Частота обертання вала електромотора, хв^{-1}	Частота обертання вала компресора, хв^{-1}	Швидкість потоку повітря, м/с
38,1	2322	100 000	16,3
41,9	2558	110 000	19,1
45,8	2791	120 000	20,9
49,5	3024	130 000	22,4
53,3	3255	140 000	23,2
57,1	3488	150 000	24,1
61,0	3724	160 000	25,1
64,8	3958	170 000	26,6

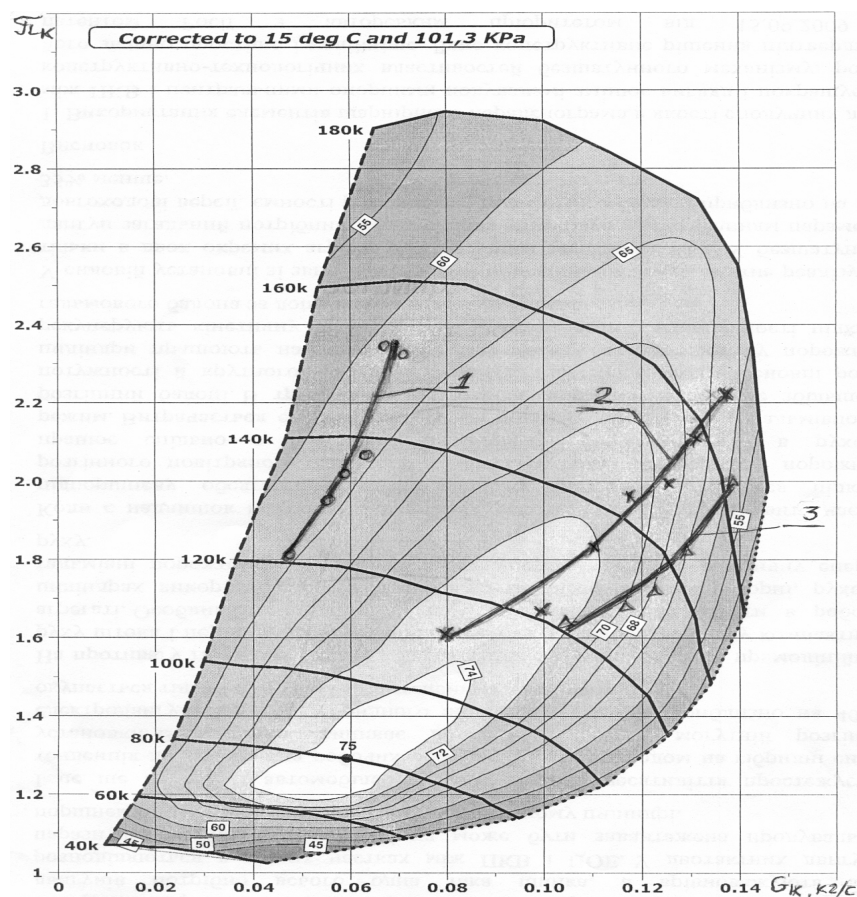


Рисунок 3 – Характеристика серійного С15-20 з нанесеними витратними характеристиками споживача при установці спеціальних шайб з діаметром отвору:

1 – 10,1 мм; 2 – 14,0 мм; 3 – 16,0 мм.

Figure 3 – Factory characteristics C15-20 with deposited consumption characteristics of the consumer when installing special washers with hole diameter:

1 – 10,1 mm; 2 – 14,0 mm; 3 – 16,0 mm.

За результатами випробувань визначили гідравлічні витратні характеристики після ресивера і після компресора. На рис. 3 показані експериментальні гідравлічні витратні характеристики компресора при установці спеціальних шайб з діаметром отворів 10,1; 14,0; 16,0 мм, які нанесені на характеристику серійного компресора C15-20 фірми Rotrex

На рис. 3 видно, що із зростанням частоти обертання вала компресора і при збільшенні витрати споживачем характеристики при постійній частоті обертання серійного компресора різко знижуються і потрапляють в зону малих значень к.к.д. Це відчувалося вже після 130000 хв^{-1} вала компресора. З цієї причини досягти високого тиску наддуву на зібраному стенді з витратними шайбами з діаметром отворів 12,6 мм і більше не вдалося. Стрімке падіння частоти обертання вала компресора в зону низьких к.к.д. за великих витрат споживача – це негативний момент в роботі нагнітача C15-20.

Максимальний надлишковий тиск після компресора протягом тривалого періоду часу, який вдалося отримати з витратною шайбою з діаметром отвору 10,1 мм (позиція 1 на рис. 3), становив 1,3 МПа. Температура повітря після компресора була $120 \dots 130^{\circ}\text{C}$.

Нагнітач C15-20 краще застосовувати для форсування бензинових двигунів легкових автомобілів, для покращення динамічних властивостей автомобіля.

Характеристики серійних модифікацій C15-16, C15-60 відрізняються від C15-20 кутом нахилу кривих за постійної частоти обертання компресора, швидкохідністю і зміщенням найвищих значень к.к.д. в зону вищих частот обертання компресора [4].

Нагнітач C15-60 може бути використаний самостійно і на дизелях, через більші витрати повітря. Всі нагнітачі серії C15 можуть бути використані в комбінованих системах наддуву. Для створення останніх необхідно провести експериментальні дослідження динамічних властивостей нагнітачів. Дослідження нагнітачів в динамічних режимах можна провести на створеному безмоторному стенді.

Висновки.

Випробування підтвердили працездатність створеного стенда для газодинамічних досліджень відцентрових компресорів. Надійно і з достатньою точністю працювала електронна система управління частотою струму електромотора.

В процесі випробувань відцентрового компресора модифікації C15-20 в статичних режимах визначена робоча зона споживача стисненого повітря для цього компресора. Характеристики споживача стисненого повітря моделювалися спеціальними шайбами з діаметром отвору від 10,1 до 14,0 мм. У робочому діапазоні споживача (автомобільного двигуна внутрішнього згорання) стиснутого повітря досягнуто максимальний надлишковий тиск наддуву 1,1 ... 1,3 МПа при витратах повітря 460 ... 250 кг/год відповідно.

Характеристики відцентрового компресора C15-20, результати випробувань засвідчили його призначення в якості агрегату наддуву для двигунів легкових автомобілів з іскровим запалюванням і можливість застосування його в системах комбінованого наддуву.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Патрахальцев Н.Н. Форсирование двигателей внутреннего сгорания наддувом / Н.Н. Патрахальцев, А.А. Савастенко. – М.: Легион Автodata, 2002. – 176 с.
2. Карягин А.В. Устройство, обслуживание и правила движения автомобилей / А.В. Карягин, Г.М. Соловьев. – М.: Военное издательство МО СССР, 1957.
3. Ханин Н.С. Наддув и нагнетатели автомобильных двигателей / Н.С. Ханин, А.Н. Шестак, Е.Н. Зайченко, Ю.Н. Динеев. – М.: Машиностроение, 1965. – 221 с.
4. «Rotrex C15 supercharger range», available at: <http://www.rotrex.com>.
5. «Get inside ProCharger», available at: <http://www.procharger.com>.
6. NSK представит новые компактные системы привода для электромобилей [Електрон. ресурс], вхід 05.06.2019, <http://www.automaster.net.ua/artykuly/nsk-predstavit-novye-kompaktnye-sistemy-privoda-dlya-elektromobilej,52067>.

REFERENCES

1. Patrahaltsev N.N., Savastenko A.A. (2002), «Forcing of internal combustion engines supercharged», [«Forsirovaniye dvigateley vnutrennego sgoraniya nadduvom»], «Legion Avtodata», Moscow, 176 p. [in Russian]
2. Karyagin A.V., Solovyov G.M. (1957), «Device, service and rules of the movement of cars», [«Ustroystvo, obsluzhivaniye i pravila dvizheniya avtomobiley»], «Voyennoye izdatel'stvo MO SSSR», Moscow, 216 p. [in Russian]

3. Khanin N.S., Shestak A.N., Zaichenko E.N., Dineev Yu.N. (1965), «Supercharger and supercharger of automobile engines», [«Nadduv i nagnetateli avtomobil'nykh dvigateley»], «Mashinosmtroyeniye», Moscow, 221p. [in Russian]
4. «Rotrex C15 supercharger range», available at: <http://www.rotrex.com>.
5. «Get inside ProCharger», available at: <http://www.procharger.com>.
6. «NSK will introduce new compact drive systems for electric vehicles», (05.06.2019), [«NSK predstavit novye kompaktnye sistemy privoda dlya elektromobilej»], available at: <http://www.automaster.net.ua/artykuly/nsk-predstavit-novye-kompaktnye-sistemy-privoda-dlya-lektromobilej,52067>. [in Russian]

РЕФЕРАТ

Лісовал А.А. Дослідження можливостей приводного нагнітача Rotrex для застосування в системах наддуву / А.А. Лісовал // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

Мета статті – описання конструкції та дослідження нових приводних нагнітачів Rotrex серії C15, де для забезпечення високого тиску наддуву і к.к.д. застосовано відцентрове компресорне колесо, безударну планетарну передачу оригінальної конструкції, спеціальну систему мащення-охолодження.

У статті наведено описання особливостей конструкції приводних відцентрових компресорів фірми Rotrex та результати експериментальних досліджень компресора серії C15 на створеному безмоторному стенді.

Особливістю конструкції нагнітачів серії C15 є компактність і швидкохідність – частота обертання колеса компресора досягає 200000 хв^{-1} . В планетарній передачі замість шестернних сателітів застосовано циліндричні ролики на кулькових підшипниках. Передавальне число від вала електродвигуна стенда до вала колеса компресора було 43.

Випробування нагнітача C15-20 виконано в статичних режимах. Характеристики споживача повітря наддуву моделювалися спеціальними шайбами з мінімальними діаметрами 10,1 ... 14,0 мм. Досягнуто максимальний надлишковий тиск 1,1 ... 1,3 МПа при витратах 460 ... 250 кг/год відповідно. Випробування підтвердили працездатність стенду для газодинамічних досліджень відцентрових компресорів, надійно працювала електронна система управління частотою струму електродвигуна.

Характеристики нагнітача C15-20, результати випробувань засвідчують про його призначення для двигунів легкових автомобілів з іскровим запалюванням. Їх можливо застосовувати в системах комбінованого наддуву як бензинових двигунів, так і дизелів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ, НАДДУВ, ВІДЦЕНТРОВИЙ КОМПРЕСОР, ВИПРОБУВАННЯ НАДДУВУ.

ABSTRACT

Lisoval A.A. Research opportunities of Rotrex supercharger for application in exhaust systems. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The purpose of the article is to describe the design and research of the new Rotrex superchargers of C15 series. In superchargers to ensure high boost pressure and efficiency centrifugal compressor wheel, shockless planetary gear of the original design, a special lubrication-cooling system were used.

The article describes the design features of Rotrex centrifugal superchargers and the results of experimental researches of the C15 series supercharger on a motor less stand.

The design feature of the C15 series superchargers is compactness and high speed – the compressor wheel speed reaches 200 000 rpm. In a planetary gear, cylindrical rollers on ball bearings are used instead of gear satellites. The gear ratio from the shaft of the stand motor to the shaft of the compressor wheel was 43.

Tests of the C15-20 supercharger are performed in static modes. Characteristics of the consumer of boost air were modeled with special washers with minimum diameters of 10,1 ... 14,0 mm. The maximum overpressure of 1.1 ... 1.3 MPa was achieved at a flow rate of 460 ... 250 kg/h, respectively. The tests confirmed the efficiency of the stand for gas-dynamic research of centrifugal compressors, the electronic control system of the electric motor current frequency reliably worked.

Characteristics of the C15-20 supercharger, test results confirmed its purpose for spark-ignition car engines. They can be used in combined boost systems of both gasoline engines and diesel engines.

KEY WORDS: INTERNAL COMBUSTION ENGINE, BOOST, CENTRIFUGAL SUPERCHARGER, BOOST TESTS.

РЕФЕРАТ

Лисовал А.А. Исследование возможностей приводного нагнетателя Rotrex для применения в системах наддува / А.А. Лисовал // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

Цель статьи – описание конструкции и исследование новых приводных нагнетателей Rotrex серии C15, где для обеспечения высокого давления наддува и к.п.д. применено центробежное компрессорное колесо, безударный планетарную передачу оригинальной конструкции, специальную систему смазки-охлаждения.

В статье приведены описание особенностей конструкции приводных центробежных компрессоров фирмы Rotrex и результаты экспериментальных исследований компрессора серии C15 на созданном безмоторном стенде.

Особенностью конструкции нагнетателей серии C15 является компактность и быстроходность – частота вращения колеса компрессора достигает 200000 мин^{-1} . В планетарной передаче вместо шестеренных сателлитов применены цилиндрические ролики на шариковых подшипниках. Передаточное число от вала электродвигателя стенда к валу колеса компрессора было 43.

Испытания нагнетателя C15-20 выполнено на статических режимах. Характеристики потребителя воздуха наддува моделировались специальными шайбами с минимальными диаметрами 10,1 ... 14,0 мм. Достигнуто максимальное избыточное давление 1,1 ... 1,3 МПа при расходах 460 ... 250 кг/ч соответственно. Испытания подтвердили работоспособность стенда для газодинамических исследований центробежных компрессоров, надежно работала электронная система управления частотой тока электродвигателя.

Характеристики нагнетателя C15-20, результаты испытаний подтвердили его назначение для двигателей легковых автомобилей с искровым зажиганием. Их можно применять в системах комбинированного наддува как бензиновых двигателей, так и дизелей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, НАДДУВ, ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ КОМПРЕССОР, ИСПЫТАНИЯ НАДДУВА

АВТОР:

Лісовал Анатолій Анатолійович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри двигунів та теплотехніки, e-mail: li-dvz@bigmir.net, тел. +380442804716, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 303а, orcid.org/0000-0001-6168-4010

AUTHOR:

Lisoval Anatoliy A., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Professor of the Department of engines and heat engineering, e-mail: li-dvz@bigmir.net, tel. +380442804716, Ukraine, 01010, Kyiv, Omeliyanovicha-Pavlenko St. 1, of. 303a, orcid.org/0000-0001-6168-4010

АВТОР:

Лисовал Анатолий Анатольевич, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры двигателей и теплотехники, e-mail: li-dvz@bigmir.net, тел. +380442804716, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляновича-Павленка 1, к. 303а, orcid.org/0000-0001-6168-4010

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Сахно Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

Майборода Олександр Миколайович, доктор технічних наук, професор, Державний університет інфраструктури і технологій, завідувач кафедри судноводіння та керування судном, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Sakhno V.P., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Head of the Automobile department, Kyiv, Ukraine.

Mayboroda A.N., Doctor of Technical Science, Professor, State University of Infrastructure and Technology, Head of the Navigation and vessel control department, Kyiv, Ukraine.

КУТОВА ЗАЛЕЖНІСТЬ ДВОФОТОННОГО ПОГЛИНАННЯ В CdP₂

Малиш М.І., кандидат фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, M_Malysh@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4532-0764

Куліш М.Р., доктор фізико-математичних наук, Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарева, НАН України, Київ, Україна, n_kulish@yahoo.com, orcid.org/0000-0002-4365-8174

ANGULAR DEPENDENCE OF TWO-PHOTON ABSORPTION IN CdP₂

Malysh M.I., National Transport University, Kyiv, Ukraine, M_Malysh@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4532-0764

Kulish N.R., V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, orcid.org/0000-0002-4365-8174.

УГЛОВАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДВУХФОТОННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В CdP₂

Мальш Н.И., кандидат физико-математических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, M_Malysh@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4532-0764

Кулиш Н.Р., доктор физико-математических наук, Институт физики полупроводников имени В.Е. Лашкарева, НАН Украины, Киев, Украина, n_kulish@yahoo.com, orcid.org/0000-0002-4365-8174.

Постановка проблеми.

В CdP₂ детально досліджено лінійно циркулярний дихроїзм та частотну залежність коефіцієнта двофотонного поглинання β [1,2], однак, нам невідомі значення абсолютної величини β та її залежності від азимута поляризації. В даній роботі встановлено особливості кутової залежності β та інтенсивності світла, що розповсюджується в CdP₂.

Вплив азимута поляризації на інтенсивність світла

При визначенні коефіцієнта двофотонного поглинання β методом одного джерела світла на вхідну поверхню плоско паралельного зразка вздовж нормалі падав потік лінійно поляризованого випромінювання. Якщо азимут поляризації $\varphi \neq \pi/2$ (φ - кут між оптичною віссю C та вектором поляризації E , $\varphi = 0, 1, 2, 3, \dots$), то можна вважати, що в одновісному кристалі в одному і тому ж напрямку розповсюджуються два потоки випромінювання: в одному з них $E \perp C$, а іншому $E \parallel C$. Нехай I_0 - інтенсивність світлового потоку, що падає на зразок. Безпосередньо за передньою поверхнею зразка у згаданих вище потоках інтенсивність відповідно буде рівною

$$I_{O\perp} = I_0 \sin^2 \varphi, \quad I_{O\parallel} = I_0 \cos^2 \varphi. \quad (1)$$

Зменшення інтенсивності у кожному з цих потоків визначається величиною коефіцієнтів однофотонного (відповідно $K_{\perp}$ та $K_{\parallel}$) та двофотонного (відповідно $\beta_{\perp}$ та $\beta_{\parallel}$) поглинання. Інтенсивність I світла, що виходить із зразка обчислюється за формулою:

$$I = I_{\perp} \cos^2 \psi + I_{\parallel} \sin^2 \psi + \sqrt{I_{\perp} I_{\parallel}} \sin(2\psi) \cos \delta, \quad (2)$$

де

$$I = \frac{I_0(1-R_{\perp})^2 \cos^2 \varphi e^{-K_{\perp} d}}{1 + \frac{\beta_{\perp} I_0(1-R_{\perp}) \cos^2 \varphi}{K_{\perp}} \left(1 - e^{-K_{\perp} d}\right)} \cos^2 \psi, \quad (3)$$

$$I_{\perp} = \frac{I_0(1-R_{\perp})^2 \cos^2 \varphi e^{-K_{\perp} d}}{1 + \frac{\beta_{\perp} I_0(1-R_{\perp}) \cos^2 \varphi}{K_{\perp}} \left(1 - e^{-K_{\perp} d}\right)}. \quad (4)$$

При фіксованих значеннях кута набігу фази δ , товщини зразка d , коефіцієнтів відбивання $R_{\perp}$ та $R_{\parallel}$, коефіцієнтів однофотонного та двофотонного поглинання та I_0 формула (2) описує залежність I від φ .

Методика вимірювання та результати

Оптична вісь в плоско паралельних зразках CdP_2 товщиною 1 см знаходилась в площині, на яку вздовж нормалі падав лінійно поляризований паралельний потік випромінювання рубінового лазера з тривалістю імпульсів 20 нс. Для визначення β використовувалась методика одного джерела світла. Для зменшення впливу систематичних похибок приймалися звичайні перестороги [3,4]: формувався світловий потік, форма якого близька до циліндричної, з розподілом інтенсивності випромінювання по площі поперечного перерізу близьким до однорідного; враховувалось відбивання світла від передньої та задньої грані кристала; величина пропускання T при фіксованій інтенсивності усереднювалось по 10-15 імпульсах з одним і тим же розподілом інтенсивності імпульса в часі. Інтенсивності на вході (I_0) та на виході (I) зразка детектувались фотопомножувачами ЕЛУ-ФТ та реєструвались осцилографами С8-12. Величина I_0 змінювалась за допомогою набору каліброваних нейтрально-сірих фільтрів, а азимута поляризації - шляхом повороту призми Глана.

Для всіх значень азимута поляризації φ експериментальна залежність оберненого пропускання $1/T = I_0/I$ від I_0 (точки) аналогічна наведеній на рис. 1. Для її апроксимації використовувалось співвідношення [3,5,6]:

$$\frac{1}{T} = \frac{I_0}{I} = \frac{\exp(Kd)}{(1-R)^2} + \frac{\beta [\exp(Kd)-1]}{K(1-R)}, \quad (5)$$

де K та β - коефіцієнти одно- та двофотонного поглинання, коефіцієнт відбивання $R = 0,16$, A та B - константи. Встановлено, що розрахована за формулою (5) залежність $1/T = f(I_0)$ (рис. 1, суцільна пряма) узгоджується з експериментально знайденою (рис. 1, точки). Скориставшись значенням A , визначеним по точці перетину прямої (рис. 1) з віссю ординат, знаходимо $K = (1/d)\ln[A(1-R)^2]$. Виявилось, що K не залежить від азимута поляризації і дорівнює $(0,12 \pm 0,01) \text{ см}^{-1}$. З кута нахилу прямої визначаємо B , що дозволяє оцінити коефіцієнт двофотонного поглинання $\beta = [BK(1-R)]/[A(1-R)^2-1]$. Величини β для положення вектора електромагнітної хвилі $\mathbf{E} \perp \mathbf{C}$, та $\mathbf{E} \parallel \mathbf{C}$ відповідно дорівнюють: $\beta_{\perp} = 0,16 \text{ см/МВт}$, $\beta_{\parallel} = 0,075 \text{ см/МВт}$. Задавши певне фіксоване значення $I_0 = 11 \text{ МВт/см}^2$, яке на 25 % нижче від порогу пошкодження CdP_2 , знаходимо $1/T$ (рис. 1, стрілки), що дозволяє оцінити величину I .

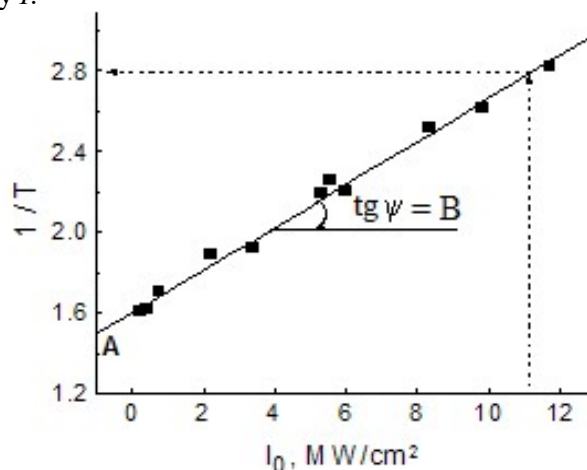


Рисунок 1 – Залежність оберненого пропускання $1/T$ від інтенсивності I_0 світлового потоку для азимута поляризації $\varphi = 30^\circ$. Пунктирними стрілками показано метод знаходження $1/T$ для фіксованого значення I_0

Figure 1 – The dependence of the inverse transmission $1/T$ on the intensity of the light flux I_0 for the polarization azimuth $\varphi = 30^\circ$. Dotted arrows show the method of finding $1/T$ for a fixed value of I_0

Найкраще узгодження розрахованої за формулою (2) залежності I від φ (рис. 2, суцільна крива) з експериментально встановленою (рис.2, точки) досягається при значенні $\delta = 90^\circ$.

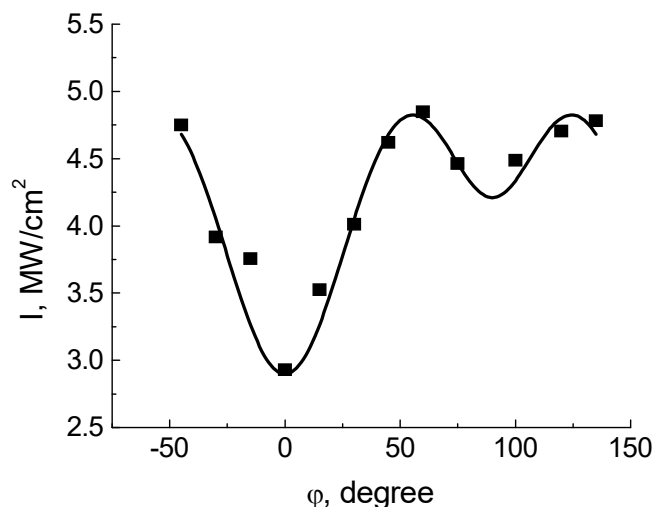


Рис. 2. Залежність інтенсивності I на виході зразка від азимута поляризації φ для $I_0 = 11 \text{ МВт}/\text{см}^2$.

Точки - експеримент, суцільна крива - розрахунок за формулою (2).

Fig. 2. The dependence of the intensity I , coming out from the sample, on the polarization azimuth φ for $I_0 = 11 \text{ MW} / \text{cm}^2$. Points - an experiment, a solid curve - the calculation by the formula (2).

При використанні формули (5) для визначення коефіцієнта двофотонного поглинання β потрібно пам'ятати, що при $\varphi \neq \pi/2$ отримуємо усереднене значення β . Підставивши у формулу (5) одержані значення I , знаходимо залежність β від φ (рис. 3, суцільна крива). Видно, що вона узгоджується з експериментально визначеною (рис. 3, точки).

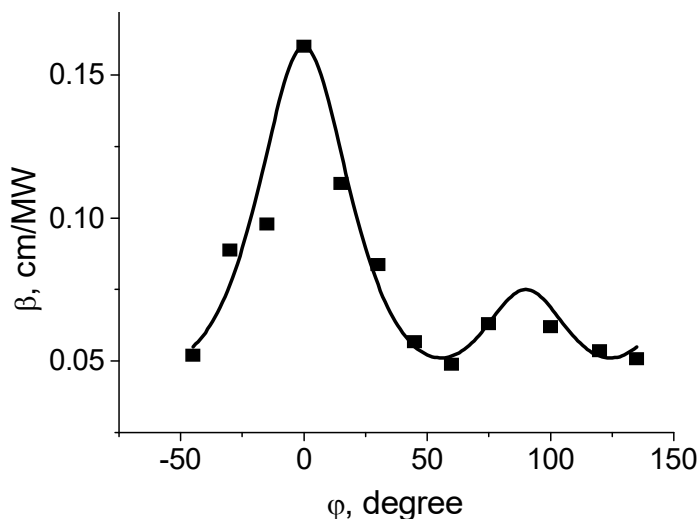


Рис. 3. Залежність коефіцієнта двофотонного поглинання β від азимута поляризації φ для $I_0 = 11 \text{ МВт}/\text{см}^2$. Точки - експеримент, суцільна крива - розрахунок.

Fig. 3. The dependence of the two-photon absorption coefficient β on the azimuth of polarization φ for $I_0 = 11 \text{ MW} / \text{cm}^2$. Points - experiment, solid curve - calculation.

Висновки

Встановлено кутову залежність коефіцієнта двофотонного поглинання CdP_2 та інтенсивності світла на виході зразка. При проектуванні та виготовленні елементів силової оптики та кореляторів з одновісних кристалів потрібно враховувати такі залежності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мозоль П.Е. Влияние типа поляризации на нелинейное поглощение света в дифосфиде кадмия / П.Е. Мозоль, И.И. Пацкун, Е.А. Сальков, Н.С. Корец, И.В. Фекешгази // ФТП.- 1980.- Том 14.- № 5.- С. 902-907.
2. Борщ В.В. Дисперсия двухфотонного поглощения света в дифосфидах кадмия и цинка/ В.В. Борщ, М.П. Лисица, П.Е. Мозоль // УФЖ.- 1977.- Том 22.- № 11.- С. 1914-1915.
3. De Souza M.E. Two-photon absorption in hexagonal CdS/ M.E. de Souza, Cid B. de Araujo // Sol. St. Comm.- 1983.- Vol. 48.- №11.- P. 967-970.
4. Swofford R.L. The effect of spatial and temporal laser beam characteristics on two-photon absorption / R.L. Swofford, W.M. McClan // Chemical Physical Letters. 1975. -Vol. 34.- № 3.- P. 455-460.
5. Бродин М.С. Двухфотонное поглощение смешанных полупроводниковых кристаллов группы A^2B^6 / М.С. Бродин, Д.Б. Гоер, З.А. Демиденко // Квантовая электроника.- Киев, Наукова думка.- 1976.- Вып. 10.- С. 56-81.
6. Корнейчук В.А. Влияние типа поляризации лазерного излучения на двухфотонное поглощение света в полупроводниках $A^{II}B^{VI}$ / В.А. Корнейчук, М.П. Лисица, И.В. Фекешгази // ФТП.- 1977.- Том 11.- Вып. 6.- С. 192-195.

REFERENCES

1. Mozol P.E., Pazkun I.I., Salkov E.A., Korez N.S., Fekeshgazi I.V. (1980) Vlianie tipa polarizazii na nelinejnoe pogloschenie sveta v difosvide kadmia [Effect of the type of polarization on the nonlinear absorption of light in cadmium diphosphide]. Fizika i tehnika poluprovodnikov [Semiconductor Physics and Technology], Vol. 14. № 5, 902-907 [in Russian].
2. Borsch V.V., Lisiza M.P., Mozol P.E. (1977) Dispersia dvufotonnogo pogloschenia svjeta v difosvide kadmia i zinka [Dispersion of two-photon absorption of light in cadmium and zinc diphosphides]. Ukrainskij fizicheskij jurnal [Ukrainian Physical Journal], Vol. 22. № 11, 1914-1915 [in Ukrainian].
3. D e Souza M.E., de Araujo Cid B. (1983) Two-photon absorption in hexagonal CdS. Sol. St. Comm. Vol. 48. № 11, 967-970.
4. Swofford R.L., McClan W.M. (1975). The effect of spatial and temporal laser beam characteristics on two-photon absorption. Chemical Physical Letters. Vol. 34. № 3, 455-460.
5. Brodin M.S., Goer D.B., Demedenko Z.A. (1976) Dvufotonnoje pogloschenije smeshanykh poluprovodnikovych kristallov grupy $A^{II}B^{VI}$ [Two-photon absorption of mixed $A^{II}B^{VI}$ semiconductor crystals]. Kvantovaja elektronika,- Kyiv, Naukova dumka [Quantum Electronics]. Kyiv, Scientific Opinion. Vol. 10, 56-81 [in Ukrainian].
6. Korneichuk V.A., Lisiza M.P., Fekeshgazi I.V. (1977) Vlijaniye tipa polarizazii lasernogo izlucheniya na dvufotonnoje pogloschenije svjeta v poluprovodnikach $A^{II}B^{VI}$ [Effect of the type of polarization of laser radiation on two-photon absorption of light in $A^{II}B^{VI}$ semiconductors]. Fizika i tehnika poluprovodnikov [Semiconductor Physics and Technology], Vol. 11. № 6, 192-195 [in Russian].

РЕФЕРАТ

Малиш М.І. Кутова залежність двофотонного поглинання в CdP_2 / М.І. Малиш, М.Р. Куліш // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

В CdP_2 детально досліджено лінійно циркуляриний дихроїзм та частотну залежність коефіцієнта двофотонного поглинання β , однак, нам невідомі значення абсолютної величини β та її залежності від азимута поляризації.

Мета досліджень: визначення абсолютної величини коефіцієнта двофотонного поглинання CdP_2 та його залежності від азимута поляризації.

Об'єкт досліджень – монокристали CdP_2 .

Метод дослідження - експериментальний.

Встановлено кутову залежність коефіцієнта двофотонного поглинання CdP_2 та інтенсивності світла на виході зразка. При проектуванні та виготовленні елементів силової оптики та кореляторів з одновісних кристалів потрібно враховувати такі залежності.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПОЛЯРИЗАЦІЯ, ДВОФОТОННЕ ПОГЛИНАННЯ, CdP_2 , АЗИМУТ ПОЛЯРИЗАЦІЇ.

ABSTRACT

Malysh M.I., Kulish M.R. Angular dependence of two-photon absorption in CdP_2 . Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

In CdP_2 linearly circular dichroism and frequency dependence of the two-photon absorption coefficient β have been studied in detail, however, we do not know the value of the absolute value of β and its dependence on polarization azimuth.

Purpose of research: testing of possibilities of direct method of measuring the coefficient of two-photon absorption in solids.

Object of research - monocycles CdP_2 .

The research method is experimental.

The angular dependence of the two-photon absorption coefficient CdP_2 and the intensity of light at the sample output is established. When designing and manufacturing elements of power optics and correlators from univalent crystals, one must take into account the following dependencies.

KEYWORDS: POLARIZATION, TWO-PHOTON ABSORPTION, CdP_2 , POLARIZATION AZIMUTH.

РЕФЕРАТ

Малыш Н.И. Угловая зависимость двухфотонного поглощения в CdP_2 / Н.И. Малыш, Н.Р. Кулиш // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В CdP_2 подробно исследованы линейно циркулярный дихроизм и частотную зависимость коэффициента двофотонного поглощения β , однако, нам неизвестны значения абсолютной величины β и ее зависимости от азимута поляризации.

Цель исследований: определение абсолютного значения коэффициента двухфотонного поглощения CdP_2 и его зависимости от азимута поляризации.

Объект исследований – монокристаллы CdP_2 .

Метод исследования - экспериментальный.

Установлено угловую зависимость коэффициента двухфотонного поглощения CdP_2 и интенсивности света на выходе образца. При проектировании и изготовлении элементов силовой оптики и корреляторов из одноосных кристаллов необходимо учитывать такие зависимости.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ПОЛЯРИЗАЦИЯ, ДВУХФОТОННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ, CdP_2 , АЗИМУТ ПОЛЯРИЗАЦИИ.

АВТОРИ:

Малиш Микола Іванович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: M_Malysh@ukr.net, тел. +380442846709, +380508257165, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 410, orcid.org/0000-0003-4532-0764

Куліш Микола Радіонович, доктор фізико-математичних наук, Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарева НАН України, провідний науковий співробітник, e-mail: n_kulish@yahoo.com, tel. +380445256024, +380730422661, Україна, 03028, м. Київ, Велика Китаївська 10, к. 10, orcid.org/0000-0002-4365-8174

AUTHORS

Malysh M. I., associate professor, National Transport University, associate professor department of information and analytical activities and information security, e-mail: M_Malysh@ukr.net, tel. +380442846709, +380508257165, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 410, orcid.org/0000-0003-4532-0764

Kulish Mykola Radionovich, doctor of physical-mathematical sciences, V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, Leading Researcher, e-mail: n_kulish@yahoo.com, tel. +380445256024, +380730422661, Ukraine, 03028, Kyiv, Bolshay Kitaevskay str. 10, of. 10, orcid.org/0000-0002-4365-8174

АВТОРЫ

Малыш Николай Иванович, кандидат физико-математических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры информационно-аналитической деятельности и информационной безопасности, e-mail: M_Malysh@ukr.net, тел. +380442846709, +380508257165, Украина, 01103, г. Киев, ул. М. Бойчука, 42, к. 410, orcid.org/0000-0003-4532-0764

Кулиш Николай Радионович, доктор физико-математических наук, Институт физики полупроводников имени В.Е. Лашкарева НАН Укрины, ведущий научный сотрудник, e-mail: n_kulish@yahoo.com, tel. +380445256024, +380730422661 Украина, 03028, г. Киев, Большая Китаевская 10, к. 10, orcid.org/0000-0002-4365-8174

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Данчук В.Д., доктор фізико-математичних наук, професор, декан факультету Транспортних та інформаційних технологій, Київ, Україна.

Стрельчук В.В., доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач лабораторії, Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарева НАН України, Київ, Україна.

REVIEWER:

Danchuk V.D., doctor of sciences, professor, dean of the Faculty of Transport and Information Technologies, Kyiv, Ukraine.

Strelchuk V.V., doctor of sciences, professor, head department of general physics, V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

ДЕЯКІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ

Марков О.Д., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, markovod@ukr.net, orcid.org/0000-0001-8023-3389

SOME ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF SOCIO-ECONOMIC ORGANIZATION

Markov O.D., Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, markovod@ukr.net, orcid.org/0000-0001-8023-3389

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Марков О.Д., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, markovod@ukr.net, orcid.org/0000-0001-8023-3389

Постановка проблеми. Досвід планової економіки Радянського Союзу зробив рудиментом особисту творче ініціативу і прагнення до нестандартного мислення. Сьогодні радянська ментальність домінує в ставленні людей до роботи і до свого особистого життя. Очікування того, що хтось має вам щось забезпечити, і відсутність ініціативи в роботі суттєво впливає на ефективність діяльності організації. Будь-які зусилля системи управління організацією, які потребують зворотної реакції більшості працівників, мають результат подібний тому, який ми отримаємо, кинувши камінчик в стоячу воду: по ній підуть кола, а далі буде все як було.

Автор статті запропонував *«метод ресурсного підходу»* 2 для вирішення цієї проблеми. Суть його полягає в тому, що ресурси підприємства розділяються на три види: 1. інвестиційні, тобто ті, які підприємство купує; 2. функціональні – робочі місця, які підприємство створює на основі придбаних матеріальних, інтелектуальних чи будь-яких інших ресурсів; 3. ресурси розвитку – це ті ресурси, які ні за які кошти не можна придбати, а які можна лише створити в середовищі організації на основі аналізу процесів, які в організації відбуваються, їх результатів та їх відхилень від заданих чи найбільш можливих значень. Ресурси розвитку – це енергія персоналу, яка народжується в надрах самої організації. Енергетичною та стимулюючою базою ресурсів розвитку є інформація про результати функціонування організації та пропозиції альтернативних рішень для покращення як процесів функціонування, так і ефективності організації на основі синергії.

Метод ресурсного підходу поки що не має теоретичного обґрунтування, тому в статті автор ставить перед собою за мету зробити спробу надати таке обґрунтування.

Результати досліджень.

Статика, функціонування та динаміка організації.

Організація є певне первинне поняття, як і матерія; вона є форма її існування [1].

Соціальна організація – це відносно автономна група людей, орієнтована на досягнення певної попередньо фіксованої цілі, реалізація якої вимагає спільної скоординованої дії. В такій організації є елементи, які виконують функцію управління [2].

Організація може розглядатися в статичі, в процесі функціонування та динаміці [3].

Організація в статичі – це сукупність елементів, станів та зв'язків між ними. Організація в статичі – це сукупність значень показників властивостей системи у визначений момент часу [2].

Елементи системи – це її складові будь-якої природи, які неподільні з погляду предмету дослідження.

Стани елементів системи – це зафіксовані чи існуючі на конкретний момент часу значення показників властивостей, сукупність яких визначає стан організації в цілому, не як суму станів елементів, а через синергію, як нову якість.

Зв'язки – це те, що відчутне, побачене, почуте, прочитане та здійснило вплив на елементи системи [4]. Зв'язки можуть бути матеріальними, інформаційними та енергетичними [2]. Розрізняють зв'язки – входи, виходи та внутрішні між елементами.

Входи – визначають зв'язки з зовнішнім середовищем безпосередньої взаємодії.

Виходи – результати функціонування системи, які спрямовані на задоволення потреб конкретних елементів чи систем зовнішнього середовища безпосередньої взаємодії чи будь-якої іншої системи чи елементів зовнішнього середовища.

Зв'язки внутрішні між елементами – спрямована чи спонтанна взаємодія між двома чи будь-якою кількістю елементів, чи елементами та системою.

Організація в процесі функціонування. Функціонування системи є основним системоутворюючим фактором [2]. Функціонування системи є основним призначенням системи, з метою якого вона виникла [2].

Ціль функціонування – перехід системи чи її елементів в конкретну область станів, в результаті якого забезпечуються ефективність виконання системою своєї функції.

Ступень досягнення системою цілей її функціонування оцінюється *показниками ефективності функціонування* [2].

Зовнішнє середовище – всі інші системи, які не є складовими частинами даної системи [2].

Динаміка організації – це зміна стану організації в процесі функціонування [2] та взаємодії з зовнішнім середовищем непрямої дії та середовищем безпосередньої взаємодії [3] чи спрямована зміна стану організації з метою надання їй нової якості [3]. Зміна стану може полягати в зміні властивостей елементів, їх кількості, чи і властивостей і кількості елементів [2].

Розвиток організації.

Розвиток організації – це зростання міри її упорядкованості, завдяки якій покращується ефективність виконання організацією функцій. (досягнення цілі). Відмінність організації від зовнішнього середовища визначається мірою їх впорядкованості. Динаміка соціально-економічної організації є необхідною умовою її адаптації до зовнішнього середовища непрямої дії, а також до середовища безпосередньої взаємодії.

Середовище непрямої дії – це те, яке впливає на організацію опосередковано через можливості та обмеження.

Середовище безпосередньої взаємодії – це те, з яким організація безпосередньо взаємодіє в процесі функціонування.

Процес взаємодії організації з зовнішнім середовищем непрямої дії відбувається на основі закону свободи та необхідності. У відповідності до цього закону організація має чи підпорядковуватися об'єктивним законам, чи підпорядкувати ці закони з метою їх використання. Наприклад, в умовах конкуренції організація має підпорядковуватися законам конкуренції; в умовах монополії вона може підпорядковувати закони конкуренції для забезпечення ефективності функціонування обмежуючи конкурентні можливості іншим.

Зовнішнє середовище – це всі елементи і системи, які не є елементами організації. Кількість елементів і систем непрямої дії може бути необмежена, а середовище безпосередньої взаємодії – це певна кількість підприємств і організацій, з якими взаємодіє організація та які в сукупності мають значно більшу кількість елементів та різноманітність їх станів.

Звідси, організація – це локальна система з конкретною, обмеженою кількістю елементів і їх станів. Зовнішнє середовище – це багато параметрична сукупність систем, різноманітність станів елементів якої необмежена порівняно з локальною організацією. За таких умов зовнішнє середовище об'єктивно змінюється більшими темпами та має більш широкий діапазон станів. За природних умов локальна організація об'єктивно відстає в своєму розвитку від зовнішнього середовища. Вона може мати вищий рівень розвитку та зміни станів елементів в певному напрямку та на короткий термін у разі цілеспрямованого упорядкування цього напрямку. Для того щоб система відповідала вимогам зовнішнього середовища та могла підвищувати ефективність функціонування, необхідно цілеспрямовано змінювати стани чи кількість елементів чи і стани і кількість.

Розвиток організації відбувається у відповідності до алгоритмів розвитку, [5] суть яких спрощено зволиться до наступного. Організація виникає на основі рішення суб'єкту, який прагне досягти певної цілі чи природнім шляхом в природі. Після зародження організація розвивається за рахунок того, що вона отримує з зовнішнього середовища. Соціально-економічна організація, наприклад, підприємство, відбирає з оточення те, що сприяє її розвитку. Локальна організація має обмежену кількість елементів, кожен з яких має певну обмежену кількість станів. Ці елементи мають обмежені можливості брати щось з зовнішнього середовища. Наприклад, людина може навчатися певний час, а потім її здатність до навчання погіршується. Ця людина втрачає можливість подальшого розвитку і не сприяє розвитку організації. Цю людину міняють. Елементи між собою та з системою мають певну, обмежену кількість зв'язків. Морфологічний аналіз локальної системи з

обмеженою кількістю елементів, станів та зв'язків дає значну кількість варіантів можливих станів системи. Але ця кількість суттєво менша порівняно з кількістю варіантів можливих станів системи зовнішнього середовища. Це також веде до відставання локальної організації від зовнішнього середовища.

Система управління організації вибирає поєднання елементів, станів і зв'язків, які в даний момент часу забезпечують найбільш ефективне функціонування системи. Такий варіант забезпечується у разі коли він відповідає вимогам зовнішнього середовища, інакше кажучи, коли організація найкращим чином адаптується до нього. Яким би не був досконалим вибраний варіант, він в наступній проміжок часу не буде відповідати вимогам зовнішнього середовища тому, що воно, маючи на порядок більше елементів і станів вже змінило свій стан і локальна система має знову адаптуватися до нього. Цей процес ніколи не закінчується. Таким чином, процес розвитку є постійним, неодмінним і безперервним.

Внутрішнє середовище організації адаптується до зовнішнього за рахунок зміни станів елементів, їх кількості та зв'язків між ними. Враховуючи те, що кількість елементів, станів і зв'язків в організації обмежена, а кількість варіантів, які забезпечують ефективне функціонування організації вичерпане, настає момент, коли організація в незмінному стані втрачає здатність адаптації до зовнішнього середовища. В цей момент процес взаємодії організації з зовнішнім середовищем переходить з області позитивного відбору в область негативного. В цей момент починається занепад організації.

Щоб цього не сталося організація має змінити чи кількість елементів, чи розширити діапазон їх станів щоб на їх основі отримати нову якість.

Враховуючи те, що процес розвитку є постійним, неодмінним і безперервним, процес введення в організацію елементів нової якості також має бути постійним, неодмінним і безперервним. Такий алгоритм розвитку забезпечує довгострокове ефективно функціонування організації. Але цього недостатньо. Достатньою є умова, відповідно до якої введення в організацію елементів нової якості буде завчасним, терміновий лаг якого можна сформулювати так: «зерно сіють весною, врожай збирають восени». Необхідність введення такого лагу в алгоритм розвитку не потребує пояснень.

Ресурси розвитку.

Ми прийшли до висновку, що для подальшого розвитку організації після переходу її в область негативного відбору потрібно змінювати елементи та розширювати їх стани з метою підвищення ефективності функціонування організації. Інакше кажучи, нам потрібні нові додаткові ресурси. Ми виділили три їх види: інвестиційні, функціональні та розвитку. Інвестиції спрямовуються на кількісний та якісний розвиток функціональних ресурсів (робочих місць та систем) сприяють розвитку організації. Вони привносять в організацію новий зміст і створюють нову форму. Особливість функціональних ресурсів, як фізичних речей полягає в тому, що вони фізично і морально старіють, в результаті чого з плином часу погіршуються їх функціональні властивості. Процес старіння є постійним, безперервним і невідворотним. Відповідно постійним, безперервним і невідворотним є процес зниження ефективності функціонування системи. За таких умов необхідні механізми підвищення ефективності функціонування організації. Для створення таких механізмів використовуються ресурси розвитку.

Як елемент розвитку персонал поза межами організації є елементом зовнішнього середовища і отримує інформацію, знання і життєвий досвід з зовнішнього середовища, а це робить рівень його можливостей таким, що відповідає вимогам зовнішнього середовища. Таким чином персонал привносить в організацію додаткові ресурси з зовнішнього середовища, які сприяють розвитку організації.

Як вже було сказано, ресурси розвитку – це енергія, яка народжується в надрах самої організації. Її джерелом є персонал, який на основі інформація, яку він отримує через спостереження чи аналіз внутрішніх процесів вносить зміни, які спрямовані на покращення функцій організації.

Енергія персоналу, що спрямована на розвиток організації це не та енергія, яку витрачає персонал при виконання своїх посадових функцій. Це додаткова енергія, для створення якої персонал має бути безпосередньо зацікавлений в ефективності та розвитку організації. Ресурси розвитку – це потужний пласт ресурсів, який генерує в собі персонал і який не обов'язково ефективно чи взагалі використовується.

На цю енергію, як додатковий майже безкоштовний ресурс ми ще не звернули уваги, не відкрили для себе її неоціненне значення. Це ресурс, на який організація майже не витрачає кошти. Цей ресурс привноситься в організацію ззовні, саме там персонал постійно оновлює свої знання і соціальні досвід. Цей ресурс не старіє з часом, як це відбувається з функціональними ресурсами,

навпаки, чим більше він працює, чим більше досвід його використання, тим він стає досконалішим. Ресурси розвитку це багатство, яке наші підприємства не лише не використовують, а навіть ще не підозрюють про його існування.

Практика наших підприємств поки мало що може протиставити пострадянській ментальності. Вона – ця ментальність нічим не стурбована, спокійно дремає в глибинах свідомості персоналу. і з нездоланною силою проявляє себе в разі, коли її турбують. Нічого не приходить їй на зміну. Якщо персонал отримає стимул у вигляді ресурсу розвитку, він стане активним творцем бізнесу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Богданов А.А. Тектология: (Всеобщая организационная наука). В 2-х книгах (1989) - ПлатонаНет.
2. Методи системного аналізу. автомобільної техніки: навч. посіб./ Дмитриченко М.Ф., Матейчик В.П. – К.: НТУ, 2014 – 68 с.
- 3.Марков О.Д. Організація автосервісу. – Львів.: Оріяна Нова, 1998.– 332 с.
4. Мескон. Основи менеджмента: пер с англ. – М.: Дело, 2000. – 704 с.
5. Мойсеев Н.Н. Алгоритмы развития, М.: Наука, 1987. – 304 с.
6. Берталанфи Л. фон. Общая теория систем – критический обзор. – М.: Прогресс, 1969.

REFERENCES

1. Bogdanov A.A. - Tectology: (Universal organizational science). In 2 books (1989) - PlatoNet.
2. Methods of system analysis. Automotive Teinika: Teaching. / Dmitrichenko M.F., Mateychik V.P. – K.: NTU, 2014. – 168 s.
3. Markov O.D. Organization of car-care center. Lviv: Oriana Novaya, 1998. – 332 p.
4. Meskon. Fof Management: First From English. – M .: Case, 2000. 704 p.
5. Moiseev N.N .Algorithms of development. – M.: Science, 1987. – 304 p.
6. Bertalanfa L. von. General Theory of Systems - A Critical Review. – M .: Progress, 1969.

РЕФЕРАТ

Марков О.Д. Деякі аспекти розвитку соціально-економічної організації / О.Д. Марков // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

В статті наведено теоретичне обґрунтування запропонованого автором методу ресурсного підходу по вирішення питання постійної підтримки ефективності функціонування соціально - економічної організації. Актуальність проблеми обумовлена суттєвим впливом радянської ментальності персоналу на ефективність організації. В основі предмету дослідження лежить три види ресурсів: інвестиційні, функціональні та ресурси розвитку. Розглянуто три стани організації: в статичі, в процесі функціонування та динаміці. Показана динаміка зміни стану організації в області позитивного та негативного відбору, а також закономірність зміни стану організації за рахунок функціональних ресурсів та ресурсів розвитку. Показана ефективність ресурсів розвитку порівняно з функціональними ресурсами.

Висновки зводяться до того, що ресурси розвитку є суттєвим фактором підвищення ефективності організації, який поки що не використовується в практиці нашого бізнесу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНА ОРГАНІЗАЦІЯ; СИСТЕМА; ФУНКЦІЯ; РЕСУРСИ; ДИНАМІКА ОРГАНІЗАЦІЇ

ABSTRACT

Markov O.D. Some aspects of the development of socio-economic organization. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article presents the theoretical substantiation of the resource approach method proposed by the author for solving the issue of continuous support for the effectiveness of the functioning of a socio-economic organization. The urgency of the problem is due to the significant influence of the Soviet personnel mentality on the effectiveness of the organization. The subject of the study is three types of resources: investment, functional and development resources.

Three states of organization are considered: in statics, in the process of functioning and dynamics.

The dynamics of changes in the state of the organization in the field of positive and negative selection, as well as the pattern of changes in the state of the organization due to functional and development resources are shown. The effectiveness of development resources compared to functional resources is shown.

The conclusions boil down to the fact that development resources are a significant factor in improving the efficiency of an organization that is not yet used in the practice of our business.

KEYWORDS: SOCIO-ECONOMIC ORGANIZATION; SYSTEM; FUNCTION; REPORTS; ORGANIZATION DYNAMICS

РЕФЕРАТ

Марков О.Д. Некоторые аспекты развития социально-экономической организации / О.Д. Марков // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье приведены теоретическое обоснование предложенного автором метода ресурсного подхода по решению вопроса постоянной поддержки эффективности функционирования социально-экономической организации. Актуальность проблемы обусловлена существенным влиянием советской ментальности персонала на эффективность организации. В основе предмета исследования лежит три вида ресурсов: инвестиционные, функциональные и ресурсы развития. Рассмотрены три состояния организации: в статике, в процессе функционирования и динамике. Показана динамика изменения состояния организации в области положительного и отрицательного отбора, а также закономерность изменения состояния организации за счет функциональных ресурсов и ресурсов развития. Показана эффективность ресурсов развития по сравнению с функциональными ресурсами.

Выводы заключаются в том, что ресурсы развития является существенным фактором повышения эффективности организации, который пока не используется в практике нашего бизнеса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ; СИСТЕМА; ФУНКЦИЯ; РЕСУРСЫ; ДИНАМИКА ОРГАНИЗАЦИИ

АВТОР:

Марков Олег Давидович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, e-mail: markovod@ukr.net, тел. +380503341144, Україна, 01054, Київ, вул. Олеся Гончара, 28, кв.18, orcid.org/0000-0001-8023-3389

AUTHOR:

Markov Oleg Davydovich, candidate of technical sciences, National Transport University, e-mail: markovod@ukr.net, tel. +380503341144, Ukraine, 01054, Kiev, Olesya Gonchara str., 28, room 18, orcid.org/0000-0001-8023-3389

АВТОР:

Марков Олег Давидович, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, e-mail: markovod@ukr.net, тел. +380503341144, Украина, 01054, Киев, ул. Олеся Гончара, 28, кв.18, orcid.org/0000-0001-8023-3389

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Хабутдінов Х. А., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортних технологій Національного транспортного університету, Київ, Україна

Солтус А. П., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Автомобілі і трактори», Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (1998 – 2016), Кременчук, Україна

REVIEWER:

Khabutdinov H. A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Transport Technologies of the National Transport University, Kyiv, Ukraine

Soltus A. P., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «Motor and Tractor» Kremenchug Mykhailo Ostrohradskyi National University (1998 – 2016), Kremenchug, Ukraine

МАСШТАБУВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ АВІАЦІЙНОГО ШУМУ

Маруніч С.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, marunychsv@ukr.net, orsid.org/0000-0003-2777-8501

SCALING UP THE PROCESS OF REDUCING THE NEGATIVE INFLUENCE OF AVIATION NOISE

Marunych S.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, marunychsv@ukr.net, orsid.org/0000-0003-2777-8501

МАСШТАБИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УМЕНЬШЕНИЯ НЕГАТИВНОГО ВЛИЯНИЯ АВИАЦИОННОГО ШУМА

Маруніч С.В., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, marunychsv@ukr.net, orsid.org/0000-0003-2777-8501

Постановка проблеми.

За прогнозом Міжнародної асоціації повітряного транспорту (IATA) за нинішніх тенденцій зростання в авіаційному транспорті до 2037 року кількість пасажирів може подвоїтися до 8,2 млрд. [1].

Український ринок авіаперевезень третій рік поспіль демонструє високі темпи зростання. Позитивна тенденція росту, пов'язана, насамперед, з успішним розвитком сектора міжнародних повітряних перевезень.

За статистичними даними Державної авіаційної служби України про діяльність авіаційної галузі у 2018 році свідчать про її стабільний розвиток [2] (Рис.1).

Так, упродовж звітнього року перевезення пасажирів, вантажів та пошти здійснювали 34 вітчизняні авіакомпанії, якими виконано 100,3 тис. комерційних рейсів (за 2017 рік – 93 тис. рейсів).

При цьому, кількість перевезених пасажирів збільшилась порівняно з 2017 роком на 18,7 відсотка та склала 12529 тис. чоловік.

Разом з цим, обсяги перевезень вантажів та пошти авіаційним транспортом України збільшились на 19,7 відсотка та становили 99,1 тис. тонн.

Комерційні рейси вітчизняних та іноземних авіакомпаній обслуговували 20 українських аеропортів та аеродромів, за звітний період загальна кількість відправлених та прибулих повітряних суден склала 182,8 тисяч одиниць, що на 14,3 відсотка перевищує показник за 2017 рік.

При цьому пасажиропотоки через аеропорти України, перевищивши 20-ти мільйонний рубіж, досягли 20545,4 тис. чоловік, що забезпечило зростання на 24,5 відсотка. Поштовантажопотоки збільшились на 7,8 відсотка.



Рисунок 1 – Пасажиропотоки через українські аеропорти за період 2009 – 2018 роки
Figure 1 – Passenger traffic through Ukrainian airports for the period 2009 – 2018

Слід відмітити, що починаючи з 2016 року ринок пасажирських авіап перевезень розвивався досить динамічно. Так, кількість пасажирів, що скористались послугами українських авіакомпаній, зростала щороку в середньому на чверть. Поступово за три роки обсяги пасажирських перевезень збільшились майже вдвічі в порівнянні з показником 2015 року та разом з цим більш як у півтора рази перевищили рівень «докризового» 2013 року.

Перевезення пасажирів здійснювала 21 вітчизняна авіакомпанія, серед яких лідируюче положення займали авіакомпанії «Міжнародні Авіалінії України», «Роза вітрів», «Азур Ейр Україна», «ЯнЕйр» та «Браво». За підсумками року п'ятьма найбільшими пасажирськими авіакомпаніями перевезено 11620,6 тис. осіб, що на 20,2 відсотка більше, ніж за 2017 рік, та складає майже 93 відсотки від загальних обсягів пасажирських перевезень українських авіакомпаній.

Таким чином, український ринок авіап перевезень другий рік поспіль демонструє високі темпи зростання. Найбільшими центрами повітряного транспорту є Київ, Одеса, Харків, Львів.

Шум від повітряних суден є найважливішою причиною негативної реакції населення, пов'язаної з експлуатацією та розширенням аеропортів. Обмеження чи зменшення кількості людей, на яких впливає шум від повітряного руху, є одним з головних пріоритетів ICAO та однієї з основних цілей в галузі охорони навколишнього середовища.

Згідно з висновками Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), шум займає друге місце серед усіх екологічних факторів, що негативно впливають на здоров'я населення (після забруднення пилом). Головне джерело шуму – транспорт (автомобільний, залізничний та авіаційний), а також будівельні та промислові майданчики. Серед головних впливів шуму на населення – це дискомфорт, стрес, фактори ризику (зокрема, артеріальний тиск), захворюваність, смертність. Найбільш частими наслідками є роздратованість, серцево-судинні захворювання, розлад когнітивних функцій у дітей, гіпертензія. Останнє дослідження ЄС щодо впливу шуму на здоров'я населення виявило, що головним джерелом шуму, що впливає на здоров'я населення ЄС, є автомобільний транспорт (90%). Щороку шум призводить до 900 тисяч випадків гіпертензії, що, у свою чергу, до близько 10 тисяч передчасних смертей в ЄС [3].

Виходячи із зазначеного, слід зауважити що розбудова Україною демократичного суспільства, формування позитивного іміджу у світовій спільноті неможливі без вирішення однієї з найактуальніших проблем людства – проблеми екології.

Наразі важливо усвідомити нерозривний зв'язок природи, суспільства та транспорту, що має взаємний характер. Загроза збільшення кількості людей, які підпадають під негативну дію впливу авіаційного шуму, зумовлює потребу пошуку шляхів та способів суспільної свідомості на основі принципово нових світоглядних орієнтирів і цінностей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питаннями подолання негативної дії авіаційного шуму займаються широке коло дослідників, серед них: авіаційні конструктори, експлуатанти авіаційної техніки, екологи та інші науковці. Вивченням питання впливу шуму на людину займається досить широке коло організацій та науковців, серед них можна виділити Міжнародну організацію цивільної авіації (ICAO), а саме комітет з охорони навколишнього середовища (CAEP), Авіаційний науково-технологічний комплекс ім. Антонова, таких науковців як О.І. Запорожець, В.П. Бабак, С.К. Солдатов, М.В. Фокін, А.В. Богомолів, В.М. Зінкін та ін. [4–7].

Науковцями розглядалася проблема безпеки експлуатації аеродромів і повітряних суден з безпосереднім дотриманням умов екологічності. Досліджується їх вплив на екологічну безпеку, а також на здоров'я людини. Автори відзначають, що інтенсивний розвиток авіаційної техніки, що супроводжується підвищенням потужності авіаційних двигунів, недосконалість нормативної бази, стосовно питань використання територій, прилеглих до аеродромів, аеропортів і авіаційних підприємств є передумовою негативного впливу на навколишнє середовище, в тому числі і з умов впливу авіаційного шуму.

Проте, постійне вдосконалення авіаційної техніки, обслуговуючої інфраструктури, поява нових технологій та ізоляційних матеріалів актуалізує наукові дослідження в цій сфері, вимагає постійного моніторингу та внесення нових конструктивних пропозицій.

Мета досліджень: запропонувати вибудувати ефективний алгоритм необхідних заходів направлених на зменшення негативного впливу авіаційного шуму.

Виклад основного матеріалу.

Проведений аналіз наукових праць та інших інформаційних джерел, зокрема [4-7], а також умов функціонування і розвитку авіатранспортних систем (структур) показує, що стрімкі процеси євроінтеграції та прийняті міжнародні екологічні стандарти змушують підприємства авіаційної галузі

активізувати свою діяльність щодо зниження негативного впливу на довкілля. Проте наразі актуальною проблемою залишається розробка дієвих заходів зниження негативного впливу авіаційного шуму на оточуюче середовище. Зазначені обставини зумовили мету нашої статті, присвяченої вивченню негативного впливу дії авіашуму на стан здоров'я населення, що мешкає в зонах впливу аеропортів, а також визначення заходів щодо його зниження.

Авіаційний шум – шум, що утворюється повітряним судном та його елементами щодо впливу на навколишнє природне середовище та кваліфікується як шкідливий чинник [8].

Масштабування процесу дозволить вибудувати ефективний алгоритм необхідних заходів направлених на зменшення негативного впливу авіаційного шуму.

Першим кроком при масштабуванні процесу буде проведення системного аналізу (параметричного та морфологічного) закономірностей взаємного впливу авіаційної транспортної системи та зовнішнього середовища (Табл.1-3).

Таблиця 1 – Опис системи «AI – ЗС»

Table 1 – Description of the system «AI –ENV»

Аеропортова інфраструктура (AI)	аеродром	термінал	парк ПС	ТЗ для обслуговування аеропортової діяльності	інженерні споруди
Зовнішнє середовище (ЗС)	зацікавлені сторони (стейкхолдери)	обслуговуючий персонал	льотний склад	соціально-психологічні показники	природно-кліматичні, атмосферні умови

Таблиця 2 – Визначення взаємного впливу елементів системи «AI – ЗС»

Table 2 – Determining the influence of system elements «AI –ENV»

AI \ ЗС	аеродром	термінал	парк ПС	ТЗ для обслуговування аеропортової діяльності	інженерні споруди
зацікавлені сторони (стейкхолдери)	ЦОВК авіа; локальна влада;	пасажирів; власники аеропорту	авіакомпанії; льотний склад; ЦОВК; адміністрація аеропорту	хендлінгові компанії; адміністрація аеропорту	провайдери; ЦОВК авіа, залізниця, дорожня; локальна влада; адміністрація аеропорту;
обслуговуючий персонал	постійний персонал	постійний персонал; тимчасовий персонал	тимчасовий персонал	постійний персонал	постійний персонал; тимчасовий персонал
льотний склад			пілоти; стюардеси; технічний персонал		
соціально-психологічні показники	закладання у вухах; головний біль, повне несприйняття інформації	роздратування; закладання у вухах; головний біль, повне несприйняття інформації	закладання у вухах; головний біль, повне несприйняття інформації	закладання у вухах; головний біль, повне несприйняття інформації; тиск; повна втрата слуху	Відсутність належної обізнаності; закладання у вухах; головний біль, повне несприйняття інформації
природно-кліматичні, атмосферні умови	атмосферні умови; повітря; атмосферний тиск, вологість, опади, швидкість та напрям вітру				атмосферні умови; повітря; атмосферний тиск, вологість, опади, швидкість та напрям вітру

Таблиця 3 – Варіанти розв’язання поставленої проблеми, шляхом ефективної взаємодії між елементами системи «АІ – ЗС»

Table 3 – Options for solving the problem, through effective interaction between the elements of the system «AI – ENV»

Варіанти	АІ	ЗС
варіант №1	весь комплекс аеропортової інфраструктури	зацікавлені сторони (стейкхолдери)
варіант №2	весь комплекс аеропортової інфраструктури	обслуговуючий персонал
варіант №3	парк ПС	льотний склад
варіант №4	весь комплекс аеропортової інфраструктури	соціально-психологічні показники
варіант №5	аеродром	природно-кліматичні, атмосферні умови
варіант №6	інженерні споруди	природно-кліматичні, атмосферні умови

При проведенні параметричного аналізу авіаційної транспортної системи, а саме підсистем «аеропортова інфраструктура (АІ) – зовнішнє середовище (ЗС)» визначено, основні та часткові показники, які характеризують всі важливі властивості авіаційної транспортної системи та ефективність її функціонування.

Метод морфологічного аналізу (іноді він називається методом морфологічного ящика) являє собою комбінацію методу класифікації і методу узагальнення. Його суть полягає в декомпозиції проблеми, пошуку в цій схемі найбільш перспективного щодо всієї проблеми елемента її вирішення.

Ідея методу морфологічного аналізу полягає в знаходженні найбільшої кількості, гранично можливих способів розв’язання поставленої проблеми, шляхом комбінування основних структурних елементів систем або ознак рішень, що дає змогу обрати найбільш доцільний з них [11].

Як результат, проведення оцінювання параметричного забруднення зовнішнього (приаеродромного) середовища, що дозволило отримати інформацію стосовно шумового навантаження (впливу) на територію поблизу аеропорту та діджиталізувати її (Рис.2).

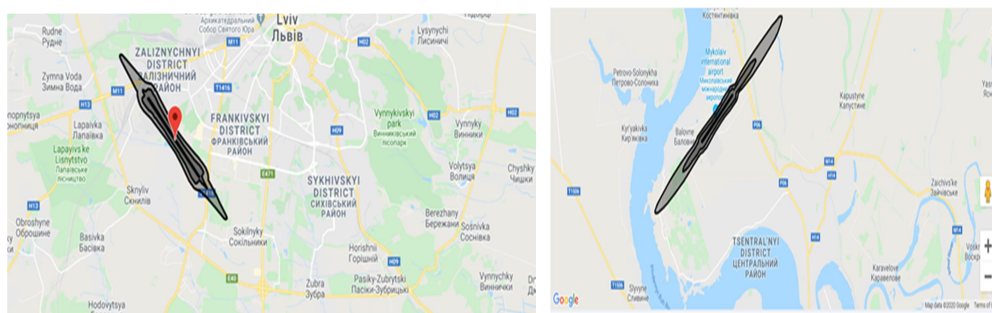


Рисунок 2 – Діджиталізація показників шумового навантаження (впливу) на прикладі аеропортів «Львів» та «Миколаїв»

Figure 2 – Digitization of noise impact indicators on the example of Lviv and Mykolaiv airports

Наступним кроком має стати визначення цільової аудиторії та стейкхолдерів процесу. Отже, авіаційний шум є найголовнішим шкідливим фактором для людей, які працюють у зоні аеропорту та проживають безпосередньо в районі житлової забудови, що знаходиться поряд з аеропортом. Крім того, повітряні траси проходять над населеними пунктами. Високий рівень шуму, який утворюється при зльоті, наборі висоти та вильоту повітряного судна із району аеропорту, а також при зниженні та заході на посадку ПС, викликає багато проблем як зі здоров’ям людей, так і їх працездатністю.

Щорічне збільшення інтенсивності експлуатації повітряних суден цивільної авіації призвело до несприятливого впливу не лише на тих, хто безпосередньо пов'язаний з експлуатацією авіаційної техніки, борт персоналу чи пасажирів, які користуються послугами повітряного транспорту, але також на більш багаточисленну категорію – населення, що проживає поблизу аеропортів.

Відповідно до Закону України «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення» кожному державою гарантується право на тишу та відповідний захист від надмірного шуму та вібрацій. Відтак, боротьба з шумом є частиною загальної програми боротьби людства за чистоту навколишнього середовища і правом на здорове та якісне життя.

Реакція населення, виявлена опитуванням, показала, що ставлення до одних і тих же рівнів авіаційного шуму різна. Так, вдень при рівні шуму 66 дБА число скарг становить 33 %, а вночі при такому ж рівні шум турбує 92 % населення. Відсоток скарг визначається максимальними рівнями шуму та інтенсивністю польотів літаків, що протягом доби, так і протягом усього року. Високий рівень шуму при зльоті, посадці, прольоті літаків відзначений в численних селищах сільського типу, розташованих на невеликій відстані від аеропортів. Основною реакцією населення на авіаційний шум – є скарги, кількість яких зростає з року в рік.

Виходячи із викладеного, можна чітко визначити, що регулювання несприятливого впливу авіаційного шуму – це комплексна проблема. До основних критеріїв її розв'язання на основі проведеного аналізу системи АІ – ЗС слід віднести:

- упровадження системи оцінки впливу шуму;
- нормування показників впливу шуму навколишнього середовища;
- упровадження системи інформаційного та інструментального моніторингу авіаційного шуму;
- впровадження заходів та засобів зниження впливу шуму – організаційних, експлуатаційних, будівельно-планувальних та будівельно-архітектурних, технічних, компенсаційних, економіко-соціальних тощо.

В Європі основним інструментом вирішення проблеми з шумом на рівні ЄС є Директива 2002/49/ЄС про оцінку та управління навколишнім шумом. Ціль директиви можна визначити як вироблення спільного підходу до уникнення, зменшення та попередження негативних наслідків від забруднення шумом. Директива робить наголос зокрема на таких питаннях:

- визначення рівня шумового забруднення, зокрема через картування;
- забезпечення доступу громадськості до інформації про навколишній шум та його наслідки.

Основна загальна політика ІКАО щодо шуму повітряних суден, яка містить детальну інформацію щодо всіх елементів, які можуть бути використані для зменшення шумів, є збалансованим підходом до управління шумами літаків. Це можна знайти в документі ICAO Doc 9829 «Керівництво щодо збалансованого підходу до управління шумами літальних апаратів» [9].

Концепція «Збалансованого підходу» (Рис.3) до врегулювання проблеми шуму налічує чотири основні складові й потребує ретельної оцінки всіх можливих варіантів зменшення шуму, в тому числі [10]:



Рисунок 3 – Концепція «Збалансованого підходу» до врегулювання проблеми шуму

Figure 3 – Balanced Approach to noise management

- зменшення шуму від авіаційних джерел,
- планування та використання територій,
- технічних заходів для послаблення шуму,
- та експлуатаційних обмежень, з дотриманням відповідних юридичних зобов'язань та існуючих угод, чинного законодавства та запроваджених стратегій.

Починаючи з 2019 року в Україні впроваджено нормативно-правовий документ для закладення основ управління авіаційним шумом в аеропортах – «Вимоги до експлуатанта аеродрому щодо просторового зонування території навколо аеропорту з умов впливу авіаційного шуму» (Наказ Державіаслужби від 26.03.2019 № 381), що частково імплементує положення 2002/49/ЄС про оцінку та управління навколишнім шумом та містить заходи по Збалансованому підходу до управління шумом. Зазначений нормативно-правовий акт по праву можна вважати першим надзвичайно важливим кроком направленим на подолання негативного впливу авіаційного шуму.

Відповідно до його вимог (з грудня 2019 року) результати вимірювань характеристик авіаційного шуму періодично оприлюднюються на веб-сайтах аеропорту (аеродрому) та розглядаються, як основа для контролю за виконанням заходів, спрямованих на зниження авіаційного шуму. Дані моніторингу авіаційного шуму є інформаційною базою для узагальнення статистичної інформації про характеристики авіаційного шуму в аеропорту (на аеродромі) та на території поблизу нього, інформування населення, відповідних державних органів та органів місцевого самоврядування про характеристики шуму, уточнення фактичних зон впливу авіаційного шуму на території поблизу аеропорту (аеродрому) для врахування перспективи розвитку населених пунктів.

На даний час, інформація щодо шумів від авіаційної інфраструктури недоступна. Інформація, що буде розміщена на сайтах окремих аеропортів, незручна для пошуку та узагальнення, потенційно може мати різну якість через фактори, спричинені людським чинником, та ускладнює аналіз показників для розробки і впровадження в практику як окремого аеропорту (аеродрому), так і авіаційної галузі в цілому заходів зі зниження негативного впливу авіаційного шуму.

З метою прийняття ефективних рішень, що дозволять зменшити негативний вплив авіаційного шуму є потреба:

- вдосконалити якість даних щодо шумів від авіаційної інфраструктури,
- зробити цю інформацію доступною для зацікавлених сторін,
- посилити міжвідомчу співпрацю та отримати інструмент для моніторингу впливу авіаційного шуму на навколишнє середовище.

Рациональним виходом є розроблення он-лайн системи для збору інформації щодо шумів від авіаційної інфраструктури (з геопросторовою інформацією) з подальшою візуалізацією (інтерактивною мапою України) з узагальненими даними щодо рівнів та контурів шуму від усіх аеропортів країни для зручного та зрозумілого доступу до інформації.

Висновки.

На основі проведеного аналізу нам вдалося визначити основні критерії впливу та цільову аудиторію, яка може на них впливати. Основною цільовою аудиторією є:

- Орган виконавчої влади (інформація від усіх аеропортів в єдиному форматі та на одному ресурсі значно спростить аналіз даних для подальшого врахування при розробці відповідних публічних політик);

- Громадськість та зокрема місцеві громади, що мешкають в зоні поблизу аеропортів (просте та зрозуміле джерело інформації щодо рівнів шуму – практичний інструмент забезпечення законного гарантованого права громадян на доступ до екологічної інформації, сприяння мотивованому прийняттю рішень щодо купівлі нерухомості/вибору навчальних закладів тощо);

- Місцева влада (простий доступ до інформації покращить процес прийняття рішень щодо розвитку територій та розташування об'єктів, чутливих до шуму, в тому числі об'єктів природоохоронного характеру);

- Будівельні компанії, девелопери (відкрита інформація щодо рівнів шуму може враховуватись при проектуванні будівель, виборі матеріалів та технологій тощо).

Рациональним рішенням є розроблення он-лайн платформи (порталу) у вигляді мапи на якій буде візуалізовано наступну інформація:

– еквівалентні рівні шуму для кожного окремого аеропорту, розраховані протягом різного періоду часу (день, ніч, доба, тиждень, місяць тощо);

– контур шуму для різного періоду часу (день, ніч).

З подальшим додаванням додаткових показників: кількість житлових будинків в межах контурів шуму, орієнтовну кількість населення в межах контурів шуму, громадські будівлі/медичні заклади/зклади соціальної інфраструктури/природоохоронні території в межах контурів шуму, тощо.

Карти для агломерацій показуватимуть шум із аеропортів, проте в процесі подальшого розвитку можна розглядати внесення інформації і щодо шуму з наступних джерел:

– вуличний транспорт;

– залізничний транспорт;

– промислові райони, порти включно.

Використання такого механізму дозволить максимально зменшити кількість людей, що підпадають під негативну дію впливу, органам влади володіти достовірною інформацією та приймати раціональні рішення, забудовникам враховувати всі ризики при виборі ділянки під забудову, а аеропортам розробляти стратегію подальшого розвитку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Цират А. Розвиток авіації в Україні очима Уряду// <https://blog.liga.net/user/atsirat/article/31611>

2. Статистичні дані в галузі авіатранспорту. Підсумки діяльності авіаційної галузі України за 2018 рік// <https://avia.gov.ua/pro-nas/statistika/periodychna-informatsiya/>

3. Довкілля і клімат: інформаційний огляд екологічної та кліматичної політики і права ЄС// <http://www.rac.org.ua/uploads/content/378/files/eupdatesseptember2017.pdf>

4. Безпека авіації / В.П. Бабак, В.П.Харченко, В.О. Максимов та ін.; За ред. В.П.Бабака. – К.:Техніка, 2004. – 584 с. ISBN 966-575-171-9.

5. Солдатов С.К. Человек и авиационный шум / С.К.Солдатов, В.Н.Зинкин, А.В. Богомолов, Ю.А. Кукушкин. –М.: Новые технологии, 2012. – 24 с. (Приложение к журналу «Безопасность жизнедеятельности». – № 10. – 2012. ISSN 1684-6435.

6. Охрана окружающей среды: Приложение 16 к Конвенции о международной гражданской авиации. Том 1 Авиационный шум/ ICAO. – Монреаль, 2014. – 205 с. ISBN 978-92-9249-600-5.

7. Фокин М.В. Оценка риска для здоровья населения от воздействия авиационного шума / М.В.Фокин [и др.] // Гигиена и санитария. 2009. – № 5. – С. 29–32.

8. Авіаційні правила України «Вимоги до експлуатанта аеродрому щодо просторового зонування території навколо аеропорту з умов впливу авіаційного шуму», затверджено наказом ДАСУ № 381 від 26 березня 2019 р

9. Environmental protection. Annex 16 to the Convention international civil aviation. Aircraft noise. Vol. 1, ICAO, 2005, 4-th Edition.

10. ICAO Doc. 9829 «Керівництво щодо збалансованого підходу до управління шумами літальних апаратів»// <https://www.icao.int/isbn/Lists/Publications/>

11. Одрин В.М. Метод морфологического анализа технических систем. – М.: ВНИИПИ, 1989.

REFERENCES

1. Tsirat A. Rozvitok aviacyi v Ukrayini ochima Uryadu (The development of aviation in Ukraine through the eyes of the Government)// <https://blog.liga.net/user/atsirat/article/31611>

2. Statistichni dani v galuzi aviatransportu. Pidsumki diyalnosti aviacijnoyi galuzi Ukrayini za 2018 rik (Statistics in the field of air transport. Results of activity of aviation industry of Ukraine for 2018) <https://avia.gov.ua/pro-nas/statistika/periodychna-informatsiya/>

3. Dovkillya i klimat: informacijnij oglyad ekologichnoyi ta klimatichnoyi politiki i prava ES (Environment and climate: an overview of environmental and climate policy and law) <http://www.rac.org.ua/uploads/content/378/files/eupdatesseptember2017.pdf>

4. Bezpeka aviacyi (Aviation security) / V.P. Babak, V.P.Harchenko, V.O. Maksimov ta in.; Za red. V.P.Babaka. – K.:Tehnika, 2004. – 584 s. ISBN 966-575-171-9.

5. Soldatov S.K. Chelovek i aviacionnyj shum (Man and aircraft noise) / S.K.Soldatov, V.N.Zinkin, A.V. Bogomolov, Yu.A. Kukushkin. –M.: Novye tehnologii,(New technologies) 2012. – 24 s. Prilozhenie k zhurnalu «Bezopasnost zhiznedeятelnosti» (Appendix to the journal «Life Safety»). – № 10. – 2012. ISSN 1684-6435.
6. Ohrana okuzhayushej sedy: Prilozhenie 16 k Konvencii o mezhdunarodnoj grazhdanskoj aviatsii. Tom 1 Aviacionnyj shum (Environmental Protection: Appendix 16 to the Convention on International Civil Aviation. Volume 1 Aircraft Noise)/ ICAO. – Monreal, 2014. – 205 s. ISBN 978-92-9249-600-5.
7. Fokin M.V. Ocenka riska dlya zdorovya naseleniya ot vozdejstviya aviacionnogo shuma / M.V.Fokin [i dr.] // Gigiena i sanitariya. (Health risk assessment from exposure to aircraft noise Hygiene and sanitation) 2009. – № 5. – S. 29–32.
8. Aviacijni pravila Ukraini «Vimogi do ekspluatanta aerodromu shodo prostorovogo zonuвання teritoriyi navkolo aeroportu z umov vplivu aviacijnogo shum», zatverdzheno nakazom DASU № 381 vid 26 bereznya 2019 r (Aviation rules of Ukraine «Requirements for the operation of the aerodrome on the spatial zoning of the area around the airport under the conditions of the impact of aviation noise», approved by the order of DASU No. 381 of March 26, 2019)
9. Environmental protection. Annex 16 to the Convention international civil aviation. Aircraft noise. Vol. 1, ICAO, 2005, 4-th Edition.
10. ICAO Doc. 9829 «Kerivnictvo shodo zbalansovanogo pidhodu do upravlinnya shumami litalnih aparativ» (A Guide to A Balanced Approach to Aircraft Noise Management) // <https://www.icao.int/isbn/Lists/Publications/>
11. Odrin V.M. Metod morfologicheskogo analiza tehniceskikh sistem. (Method of morphological analysis of technical systems) – M.: VNIPI, 1989.

РЕФЕРАТ

Маруніч С.В. Масштабування процесу зменшення негативного впливу авіаційного шуму / С.В. Маруніч // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

В статті запропоновано підхід щодо зменшення негативного впливу авіаційного шуму на населення шляхом масштабування процесу, що включає проведення параметричного та морфологічного аналізу системи «Параметричне забруднення (ПЗ) – приаеродромне (навколишнє) середовище (НС)», розрахунок та діджиталізація основних характеристик шуму та удосконалення реалізації концепції «Збалансованого підходу».

Об'єкт дослідження – параметричне забруднення авіаційної транспортної системи з урахуванням розвитку основних елементів.

Мета статті – запропонувати вибудувати ефективний алгоритм необхідних заходів направлених на зменшення негативного впливу авіаційного шуму.

Метод дослідження – системний аналіз взаємного впливу параметричного забруднення авіаційної транспортної системи на навколишнє середовище.

Визначено нерозривний зв'язок природи, суспільства та транспорту, що має взаємний характер. Загроза збільшення кількості людей, які підпадають під негативну дію впливу авіаційного шуму, зумовлює потребу пошуку шляхів та способів суспільної свідомості на основі принципово нових світоглядних орієнтирів і цінностей.

Результати статті можуть бути упровадженні при реалізації концепції «Збалансованого підходу» до проблем управління авіаційним шумом, передбаченим національним законодавством України.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – Рациональним виходом є розроблення он-лайн системи для збору інформації щодо шумів від авіаційної транспортної системи (з геопросторовою інформацією) з подальшою візуалізацією (інтерактивною мапою України) з узагальненими даними щодо рівнів та контурів шуму від усіх аеропортів країни для зручного та зрозумілого доступу до інформації.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВІАЦІЙНИЙ ШУМ, МАСШТАБУВАННЯ, ЗБАЛАНСОВАНИЙ ПІДХІД, ПРИАЕРОДРОМНЕ СЕРЕДОВИЩЕ, ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ, ПАРАМЕТРИЧНЕ ЗАБРУДНЕННЯ, АВІАЦІЙНА ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА.

ABSTRACT

Marunych S. Scaling up the process of reducing the negative impact of aviation noise. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences» Series. Scientific and Technical Collection. – K. : NTU, 2020. – Issue 1 (46).

The article proposes an approach to reduce the negative impact of aviation noise on the population by scaling the process, which includes the analysis of the system «airport infrastructure (AI) – external environment (AF)», calculating and digitizing the main characteristics of noise, and improving the implementation of the Balanced Approach concept.

Object of study – parametric pollution of the aviation transport system, taking into account the development of the basic elements.

The purpose of the article is to propose to build an effective algorithm for the necessary measures aimed at reducing the negative impact of aviation noise.

The research method is a systematic analysis of the mutual influence of parametric pollution of the aviation transport system on the environment.

The inextricable link between nature, society and transport, which has a mutual character, is determined. The threat of an increase in the number of people exposed to aviation noise necessitates the search for ways and methods of public consciousness based on fundamentally new world-views and values.

The results of the article can be implemented in the implementation of the concept of «Balanced Approach» to the problems of aviation noise management, provided by the national legislation of Ukraine.

Predictive assumptions about the development of the object of study – A rational solution is to develop an online system for gathering information on noise from aviation transport system (with geospatial information) with subsequent visualization (interactive map of Ukraine) with generalized data of levels and noise contours, from all airports for easy and clear access to information.

KEYWORDS: AVIATION NOISE, SCALING UP, BALANCED APPROACH, AERODROME ENVIRONMENT, DIGITALIZATION, PARAMETRIC EMISSION, AVIATION TRANSPORT SYSTEM.

РЕФЕРАТ

Маруніч С.В. Масштабирование процесса уменьшения негативного влияния авиационного шума / С.В. Маруніч // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье предложен подход по уменьшению негативного влияния авиационного шума на население путем масштабирования процесса, включая проведение параметрического и морфологического анализа системы «Параметрическое загрязнения (ПЗ) – приаэродромной (окружающая) среда (ОС)», расчет и диджитализация основных характеристик шума и усовершенствование реализации концепции «сбалансированного подхода».

Объект исследования – параметрическое загрязнение авиационной транспортной системы с учетом развития основных элементов.

Цель статьи – предложить выстроить эффективный алгоритм необходимых мер, направленных на уменьшение негативного воздействия авиационного шума.

Метод исследования – системный анализ взаимного влияния параметрического загрязнения авиационной транспортной системы на окружающую среду.

Определены неразрывную связь природы, общества и транспорта, имеет взаимный характер. Угроза увеличения количества людей, подпадающих под негативное воздействие влияния авиационного шума, обуславливает необходимость поиска путей и способов общественного сознания на основе принципиально новых мировоззренческих ориентиров и ценностей.

Результаты статьи могут быть внедрены при реализации концепции «сбалансированного подхода» к проблемам управления авиационным шумом, предусмотренным национальным законодательством Украины.

Прогнозные предположения по развитию объекта исследования – Рациональным выходом является разработка онлайн системы для сбора информации по шумам от авиационной транспортной системы (с геопространственной информацией) с последующей визуализацией (интерактивной картой Украины) обобщенным данным что касаются уровней и контуров шума от всех аэропортов страны для удобного и понятного доступа к информации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АВИАЦИОННЫЙ ШУМ, МАСШТАБ, СБАЛАНСИРОВАННЫЙ ПОДХОД, ПРИАЭРОДРОМНОЙ СРЕДА, ДИДЖИТАЛИЗАЦИЯ, ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ, АВИАЦИОННАЯ ТРАНСПОРТНАЯ СИСТЕМА.

АВТОРИ:

Марунич Світлана Василівна, начальник відділу забезпечення екологічної безпеки в галузі цивільної авіації Державної авіаційної служби України, Національний транспортний університет, аспірант, e-mail: marunychsv@ukr.net, тел. +380933854958, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, orsid.org/0000-0003-2777-8501.

AUTHOR:

Marunych Svitlana Vasylivna, Head of Environmental Safety in Civil Aviation Division State Aviation Administration of Ukraine, e-mail: marunychsv@ukr.net, тел. +380933854958, Ukraine, 01010, Kyiv, Omeljanovicha-Pavlenka str. 1, orsid.org/0000-0003-2777-8501.

АВТОРЫ:

Марунич Светлана Васильевна, начальник отдела обеспечения экологической безопасности в отрасли гражданской авиации Государственной авиационной администрации Украины, Национальный транспортный университет, аспирант, e-mail: marunychsv@ukr.net, тел. +380933854958, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова 1, orsid.org/0000-0003-2777-8501.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Хрутьба В.О., доктор технічних наук, професор кафедри екології та безпеки життєдіяльності Національного транспортного університету, Київ, Україна

Синило К.В., кандидат технічних наук, доцент кафедри цивільної та промислової безпеки Національного авіаційного університету, Київ, Україна

REVIEWER:

Khrutba V.O., Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Ecology and Safety of Vital Functions, National Transport University, Kyiv, Ukraine

Synilo K.V., the Candidate of Technical Sciences, Docent of the Department of Civil and Industrial Safety, National Aviation University, Kyiv, Ukraine

**ПОСТАНОВКА ТА ПОБУДОВА ЧИСЕЛЬНОГО АЛГОРИТМУ
РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ ДИНАМІКИ ТЕОРІЇ КОНІЧНИХ ОБОЛОНОК
В НЕОРТОГОНАЛЬНІЙ СИСТЕМІ КООРДИНАТ**

Мейш Ю.А., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, juliameish@gmail.com, orcid.org/000-0001-7492-700X

Мейш В.Ф., доктор фізико-математичних наук, Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, Київ, Україна, vfmeish@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4141-7008

**POSTULATION AND BUILDING OF A NUMERICAL ALGORITHM FOR SOLVING THE
PROBLEMS OF THE DYNAMICS OF THE THEORY OF CONICAL SHELLS IN
NONORTHOGONAL COORDINATE SYSTEM**

Meish Yu.A., Doctor of Science (Technology), National Transport University, Kyiv, Ukraine, juliameish@gmail.com, orcid.org/0000-0001-7492-700X

Meish V.F., Doctor of Science (Physics and Mathematics), S.P. Timoshenko Institute of Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, vfmeish@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4141-7008

**ПОСТАНОВКА И ПОСТРОЕНИЕ ЧИСЛЕННОГО АЛГОРИТМА
РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДИНАМИКИ ТЕОРИИ КОНИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК
В НЕОРТОГОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ**

Мейш Ю.А., доктор технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, juliameish@gmail.com, orcid.org/0000-0001-7492-700X

Мейш В.Ф., доктор физико-математических наук, Институт механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины, Киев, Украина, vfmeish@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4141-7008

Постановка проблеми.

Оболонкові конструкції мають широке застосування в сучасній техніці. При цьому, в основному розглядаються статичні та динамічні задачі визначення напружено – деформованого стану елементів конструкцій (циліндричні, сферичні, конічні оболонки) в ортогональній системі координат [1]. Практично немає робіт по вивченню динамічної поведінки оболонок в неортогональній системі координат, зокрема конічних оболонок. Цей фактор обумовлює актуальність теми даного дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Як показує літературний огляд по темі дослідження, в цьому напрямку слід відмітити роботи по динамічній поведінці оболонок канонічної форми (циліндричні, конічні, сферичні оболонки) [1]. Розв'язок даних задач базується, в основному, на застосуванні чисельних методів (метод скінчених різниць, метод скінчених елементів і т.д.) [1, 2]. Практично відсутні дослідження для випадку динамічних задач теорії оболонок неканонічної форми, зокрема, конічних оболонок некругового перерізу (випадок застосування неортогональної системи координат).

Нижче приведено постановку задачі динаміки зрізаних конічних оболонок в неортогональній системі координат.

Метою роботи є постановка та побудова чисельного алгоритму розв'язування задач динаміки теорії конічних оболонок в неортогональній системі координат.

Виклад основного матеріалу.

1. Постановка задачі. Розглядається задача про нестационарне деформування зрізаної конічної оболонки еліптичного перерізу при розподіленому внутрішньому імпульсному навантаженні. Рівняння серединної поверхні оболонки в параметричному вигляді задаються згідно співвідношень:

$$X = k_1 x^1 \cos x^2, \quad Y = x^1 \sin x^2, \quad Z = k_2 x^1, \quad (1)$$

де X, Y, Z – декартова система координат; x^1, x^2 – координати на серединній поверхні оболонки; $k_1 = a/b$; $k_2 = c/b$. Схематично об'єкт представлено на рис. 1.

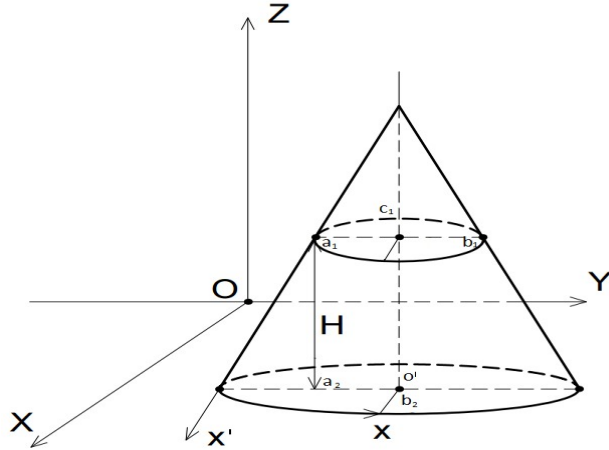


Рисунок 1

Figure 1

Співвідношення (1) визначають коефіцієнти першої та другої квадратичної форми серединної поверхні оболонки, що розглядається, згідно формул [3, 4]

$$a_{ij} = \frac{\partial X}{\partial x^i} \frac{\partial X}{\partial x^j} + \frac{\partial Y}{\partial x^i} \frac{\partial Y}{\partial x^j} + \frac{\partial Z}{\partial x^i} \frac{\partial Z}{\partial x^j}, (i, j = 1, 2); \quad (2)$$

$$b_{ij} = \frac{1}{\sqrt{g}} \left[\left(\frac{\partial Y}{\partial x^i} \frac{\partial Z}{\partial x^j} - \frac{\partial Z}{\partial x^i} \frac{\partial Y}{\partial x^j} \right) \frac{\partial^2 X}{\partial x^i \partial x^j} + \left(\frac{\partial Z}{\partial x^i} \frac{\partial X}{\partial x^j} - \frac{\partial X}{\partial x^i} \frac{\partial Z}{\partial x^j} \right) \frac{\partial^2 Y}{\partial x^i \partial x^j} + \left(\frac{\partial X}{\partial x^i} \frac{\partial Y}{\partial x^j} - \frac{\partial Y}{\partial x^i} \frac{\partial X}{\partial x^j} \right) \frac{\partial^2 Z}{\partial x^i \partial x^j} \right].$$

При цьому, згідно (1), (2) маємо

$$a_{11} = k_1^2 \cos^2 x^2 + \sin^2 x^2 + k_2^2; \quad a_{22} = (x^1)^2 (k_1^2 \sin^2 x^2 + \cos^2 x^2);$$

$$a_{12} = 0,5 x^1 (1 - k_1^2) \sin 2x^2; \quad b_{11} = 0, \quad b_{12} = 0, \quad b_{22} = k_1 k_2 (x^1)^2 / \sqrt{g},$$

де g – фундаментальний визначник метричного тензора, що визначається за формулою $g = a_{11}a_{22} - a_{12}^2$.

Для опису динамічної поведінки конічних оболонок приймається лінійний варіант уточненої теорії тонких оболонок типу Тимошенка [1, 5]. Закон розподілення переміщень по товщині оболонки приймається у вигляді

$$u_1^z = u_1(x^1, x^2, t) + z \varphi_1(x^1, x^2, t), \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
u_2^z &= u_2(x^1, x^2, t) + z\varphi_2(x^1, x^2, t), \\
u_3^z &= u_3(x^1, x^2, t); \\
u^{1z} &= u^1(x^1, x^2, t) + z\varphi^1(x^1, x^2, t), \\
u^{2z} &= u^2(x^1, x^2, t) + z\varphi^2(x^1, x^2, t).
\end{aligned} \tag{4}$$

У співвідношеннях (3), (4) величини з нижніми індексами відповідають коваріантним компонентам узагальненого вектора переміщень серединної поверхні оболонки $\bar{U}_1 = (u_1, u_2, u_3, \varphi_1, \varphi_2)$, а величини з верхніми індексами – контрваріантним компонентам узагальненого вектора переміщень $\bar{U}^1 = (u^1, u^2, u^3, \varphi^1, \varphi^2)$ [5].

Для виведення рівнянь коливань конічних оболонок застосовується варіаційний принцип Гамільтона – Остроградського

$$\int_{t_1}^{t_2} (\delta K - \delta \Pi + \delta A) dt = 0, \tag{5}$$

де Π – потенціальна, K – кінетична енергії оболонки відповідно, A – робота зовнішніх сил.

Після стандартних перетворень в функціоналі (5) отримаємо наступні рівняння коливань вихідної конічної оболонки в загальному вигляді:

$$\rho h \frac{\partial^2 u^i}{\partial t^2} = \nabla_i T^{ij} - b_i^j T^{i3} + P^i; \tag{6}$$

$$\rho h \frac{\partial^2 u_3}{\partial t^2} = \nabla_i T^{i3} + b_{ij} T^{ij} + P_3; \quad \rho I \frac{\partial^2 \varphi^i}{\partial t^2} = \nabla_i M^{ij} - T^{i3} + m^i; \quad (i, j = 1, 2).$$

В формулах (3) – (6) індексами 1, 2 позначені змінні по координатам x^1, x^2 : $u^1, u^2, u_3, \varphi^1, \varphi^2$ – контрваріантні компоненти узагальненого вектора переміщень серединної поверхні оболонки; T^{ij}, T^{i3}, M^{ij} – контрваріантні компоненти тензорів зусиль та моментів; P^i, P_3, m^i – компоненти зусиль на поверхні оболонки; ∇_i – контрваріантна похідна; ρ – густина матеріалу оболонки; h – товщина оболонки; $I = h^3 / 12$.

2. Побудова чисельного алгоритму. В розгорнутому вигляді, згідно [4] рівняння коливань (3) в дивергентній формі записуються

$$\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^1} (\sqrt{g} T^{11}) + \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^2} (\sqrt{g} T^{12}) + \Gamma_{11}^1 T^{11} + 2\Gamma_{21}^1 T^{12} + \tag{7}$$

$$+ \Gamma_{22}^1 T^{22} - b_1^1 T^{1n} - b_2^1 T^{2n} = \rho h \frac{\partial^2 u^1}{\partial t^2};$$

$$\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^1} (\sqrt{g} T^{12}) + \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^2} (\sqrt{g} T^{22}) + \Gamma_{11}^2 T^{11} + 2\Gamma_{12}^2 T^{12} +$$

$$+ \Gamma_{22}^2 T^{22} - b_1^2 T^{13} - b_2^2 T^{22} + q^2 = \rho h \frac{\partial^2 u^2}{\partial t^2};$$

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^1} (\sqrt{g} T^{13}) + \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^2} (\sqrt{g} T^{23}) + b_{11} T^{11} + b_{12} T^{12} + \\
& + b_{21} T^{12} + b_{22} T^{22} + q^3 = \rho h \frac{\partial^2 u_3}{\partial t^2}; \\
& \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^1} (\sqrt{g} M^{11}) + \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^2} (\sqrt{g} M^{12}) + \Gamma_{11}^1 M^{11} + 2\Gamma_{21}^1 M^{12} + \\
& + \Gamma_{22}^2 M^{22} - T^{13} = \rho \frac{h^3}{12} \frac{\partial^2 \varphi^1}{\partial t^2}; \\
& \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^1} (\sqrt{g} M^{12}) + \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^2} (\sqrt{g} M^{22}) + \Gamma_{11}^2 M^{11} + 2\Gamma_{12}^2 M^{12} + \\
& + \Gamma_{22}^2 M^{22} - T^{23} = \rho \frac{h^3}{12} \frac{\partial^2 \varphi^2}{\partial t^2}.
\end{aligned}$$

В співвідношеннях (7) величини Γ_{ij}^k являють собою коефіцієнти символів Крістоффеля другого роду [3, 4].

Для побудови чисельного алгоритму використовується інтегро – інтерполяційний підхід побудови скінечно – різницевих схем по просторовим координатам x^1, x^2 та явній різницевій апроксимації по часовій координаті t [1]. Розглядається побудова різницевих рівнянь на прикладі першого рівняння системи (7). Інтегруємо перше рівняння системи (7) по області

$$\begin{aligned}
\Omega_1 = \left\{ x_{l-1/2}^1 \leq x^1 \leq x_{l+1/2}^1, x_{m-1/2}^2 \leq x^2 \leq x_{m+1/2}^2 \right\} \text{ при } t_{n-1/2} \leq t \leq t_{n+1/2} \\
\int_{\Omega_1} \left[\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^1} (\sqrt{g} T^{11}) + \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial x^2} (\sqrt{g} T^{12}) + \Gamma_{11}^1 T^{11} + \right. \\
\left. + 2\Gamma_{21}^1 T^{12} + \Gamma_{22}^2 T^{22} - b_1^1 T^{13} - b_2^1 T^{23} + q^1 \right] d\Omega dt = \int_{\Omega_1} \left[\rho h \frac{\partial^2 u^1}{\partial t^2} \right] d\Omega dt.
\end{aligned} \tag{8}$$

В цьому випадку різницевий аналог (8) має вигляд:

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{1}{\sqrt{g}} \right)_{l,m} \frac{1}{\Delta x^1} \left[\left(\sqrt{g} T^{11} \right)_{l+1/2,m}^n - \left(\sqrt{g} T^{11} \right)_{l-1/2,m}^n \right] + \\
& + \left(\frac{1}{\sqrt{g}} \right)_{l,m} \frac{1}{\Delta x^2} \left[\left(\sqrt{g} T^{12} \right)_{l+1/2,m}^n - \left(\sqrt{g} T^{12} \right)_{l-1/2,m}^n \right] + \\
& + \left(\Gamma_{11}^1 T^{11} \right)_{l,m}^n + 2 \left(\Gamma_{21}^1 T^{12} \right)_{l,m}^n + \left(\Gamma_{22}^2 T^{22} \right)_{l,m}^n -
\end{aligned} \tag{9}$$

$$-\left(b_1^1 T^{13}\right)_{l,m}^n - \left(b_2^1 T^{23}\right)_{l,m}^n + q_{l,m}^1 = \rho h \left(u_{l,m}^1\right)_{\bar{t}t}.$$

Аналогічним чином апроксимуються останні рівняння системи (7). При цьому компоненти узагальнених векторів переміщень $\bar{U}_1 = (u_1, u_2, u_3, \varphi_1, \varphi_2)$, $\bar{U}^1 = (u^1, u^2, u^3, \varphi^1, \varphi^2)$ співвідносимо до цілих вузлів різницевої схеми (l, m) , а величини зусиль T^{11} та моментів M^{11} співвідносяться до напівбілих вузлів різницевої сітки $(l \pm 1/2, m)$, $(l, m \pm 1/2)$. При такому підході є можливість виконання закону збереження повної енергії конструкції на різницевому рівні [6].

Висновки.

В роботі приведено постановку та побудову чисельного алгоритму розв'язку задач динамічної поведінки конічних оболонок в неортогональній системі координат. При постановці приведених задач використовується варіант теорії оболонок типу Тимошенка. Чисельний алгоритм базується на застосуванні інтегро – інтерполяційного методу побудови різницевих схем по просторовим координатам та явній чисельній апроксимації по часовій координаті.

Перспективи дослідження задач даного класу полягають у розв'язку задач оболонок більш складної геометричної форми, зокрема параболоїдних оболонок некругового перерізу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Головки К.Г. Динамика неоднородных оболочек при нестационарных нагрузках: монография / К.Г. Головки, П.З. Луговой, В.Ф. Мейш; под ред. акад НАН Украины А.Н. Гузя. – К.: Изд. полигр. центр «Киевский ун-т», 2012. – 541 с.
2. Математичні моделі прикладної механіки: навчальний посібник / П.О. Стеблянка, Т.В. Крилова, В.Ф. Мейш, Ю.А. Мейш – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2012. – 413 с.
3. Новожилов В.В. Линейная теория тонких оболочек / В.В. Новожилов, К.Ф. Черных. – Л.: Политехника, 1991. – 656 с.
4. Кильчевский Н.А. Основы тензорного исчисления с приложениями в механике / Н.А. Кильчевский. – К.: «Наук. думка», 1972. – 148 с.
5. Теория оболочек с учетом поперечного сдвига / под. ред. К.З. Галимова. – Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1977. – 212 с.
6. Навал И.К. Нестационарные волны в деформируемых средах / И.К. Навал, В.И. Пацюк, В.К. Римский. – Киченев: «Штиинца», 1986. – 236 с.

REFERENCES

1. Golovko K.G. (2012) Dinamika neodnorodnyih obolochek pri nestatsionarnyih nagruzkah: monografiya [Dynamics of inhomogeneous shells under nonstationary loads : monograph ed. acad. of NAS of Ukraine A.N. Guz] / K.G. Golovko, P.Z. Lugovoy, V.F. Meysh; pod red. akad NAN Ukrainyi A.N. Guzya. – K.: Izd. poligr. tsentr «Kievskiy un-t», 541 p. [in Russian]
2. Matematichni modeli prikladnoyi mehaniki: navchalniy posibnik posibnyk (2012) [Mathematical models of applied mechanics: primary school student] / P.O. Steblyanko, T.V. Krilova, V.F. Meish, Yu.A. Meish – Dniprodzerzhinsk: DDTU, 413p. [in Ukrainian]
3. Novozhilov V.V. (1991) Lineynaya teoriya tonkih obolochek [Linear theory of thin shells] / V.V. Novozhilov, K.F. Chernyih. – L.: Politehnika, 656 p. [in Russian]
4. Kilchevskiy N.A. (1972) Osnovy tenzornogo ischisleniya s prilozheniyami v mehanike [Basics of tensor calculus with applications in mechanics] / N.A. Kilchesvskiy. – K.: «Nauk. dumka», 148 p. [in Russian]
5. Teoriya obolochek s uchetom poperechnogo sdviga (1977) [The theory of shells, taking into account the transverse shear] / pod. red. K.Z. Galimova. – Kazan: Izd-vo Kazanskogo un- ta, 212 p. [in Russian]
6. Naval I.K. (1986) Nestatsionaryie volnyi v deformiruemyih sredah [Unsteady waves in deformable media] / I.K. Naval, V.I. Patsyuk, V.K. Rimskiy. – Kishenev: «Shtiintsa», 236 p. [in Russian]

РЕФЕРАТ

Мейш Ю.А. Постановка та побудова чисельного алгоритму розв'язування задач динаміки теорії конічних оболонок в неортогональній системі координат / Ю.А. Мейш, В.Ф. Мейш // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

В роботі приведено постановку та чисельний алгоритм розв'язку задач динаміки теорії конічних оболонок в неортогональній системі координат.

Об'єктом дослідження є конічні оболонки, рівняння яких приведені в неортогональній системі координат.

Мета роботи полягає в постановці та побудові чисельного алгоритму розв'язування задач динаміки конічних оболонок в неортогональній системі координат.

Методи дослідження включають основні положення теорії оболонок типу Тимошенка та чисельні методи.

Розглянуто постановку задач та чисельний алгоритм для дослідження динамічної поведінки конічних оболонок в неортогональній системі координат.

Отримані в роботі результати можуть бути використані при проектуванні елементів оболонкових конструкцій в ракето-, авіо-, суднобудівній промисловості.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КОНІЧНА ОБОЛОНКА, ДИНАМІЧНІ ПРОЦЕСИ, НЕОРТОГОНАЛЬНА СИСТЕМА КООРДИНАТ, ЧИСЕЛЬНІ МЕТОДИ

ABSTRACT

Meish Yu.A., Meish V.F. Postulation and building of a numerical algorithm for solving the problems of the dynamics of the theory of conical shells in nonorthogonal coordinate system. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv. National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The paper presents the formulation and numerical algorithm for solving problems of the dynamics of the theory of conical shells in a non-orthogonal coordinate system.

The object of the study are conical shells, the equations of which are represented in non-orthogonal coordinate system.

Purpose of the work is to formulate and construct a numerical algorithm for solving the problems of the dynamics of conical shells in a non-orthogonal coordinate system.

The methods of research include the basic principles of the theory of shells to Tymoshenko's type and numerical methods.

The formulation of problems and a numerical algorithm for studying the dynamic behavior of conical shells in a non-orthogonal coordinate system are considered.

The results obtained in the work can be used in the design of elements of shell structures in the rocket, aircraft and shipbuilding industries.

KEYWORDS: CONIC SHELL, DYNAMIC PROCESSES, NON-ORTHOGONAL COORDINATE SYSTEM, NUMERICAL METHODS

РЕФЕРАТ

Мейш Ю.А. Постановка и построение численного алгоритма решения задач динамики теории конических оболочек в неортогональной системе координат / Ю.А. Мейш, В.Ф. Мейш // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В работе приведена постановка и численный алгоритм решения задач динамики теории конических оболочек в неортогональной системе координат.

Объектом исследования являются конические оболочки, уравнения которых представлены в неортогональной системе координат.

Цель работы состоит в постановке и построении численного алгоритма решения задач динамики конических оболочек в неортогональной системе координат.

Методи исследования включают основные положения теории оболочек типу Тимошенко и численные методы.

Рассмотрена постановка задач и численный алгоритм для исследования динамического поведения конических оболочек в неортогональной системе координат.

Полученные в работе результаты могут быть использованы при проектировании элементов оболочечных конструкций в ракетно-, авио-, судностроительной промышленности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: КОНИЧЕСКАЯ ОБОЛОЧКА, ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, НЕОРТОГОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА КООРДИНАТ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

АВТОРИ:

Мейш Юлія Анатоліївна, доктор технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри вищої математики, e-mail: juliameish@gmail.com, тел. +380954035196, Україна, 01010, м. Київ, вул. Кіквідзе 42, к. 502, [orcid.org / 0000-0001-7492-700X](https://orcid.org/0000-0001-7492-700X).

Мейш Володимир Федорович, доктор фізико-математичних наук, професор, Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, головний науковий співробітник, e-mail: vfmeish@gmail.com, tel. +380502519697, Україна, 03057, г. Київ, вул. Нестерова, 3, [orcid.org / 0000-0003-4141-7008](https://orcid.org/0000-0003-4141-7008).

AUTHOR:

Meish Yuliya Anatolievna, D. Eng., associate professor, National Transport University, Higher mathematics department professor, e-mail: juliameish@gmail.com, tel. +380954035196, Ukraine, 01010, Kyiv, Kikvidze str. 42, of. 502, [orcid.org / 0000-0001-7492-700X](https://orcid.org/0000-0001-7492-700X).

Meish Vladimir Fedorovich, Doctor of Mathematics, professor, Institute of Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Main researcher, e-mail: vfmeish@gmail.com, tel. +380502519697, Ukraine, 03057, Kyiv, Nesterov str., 3, [orcid.org / 0000-0003-4141-7008](https://orcid.org/0000-0003-4141-7008).

АВТОРЫ:

Мейш Юлия Анатольевна, доктор технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, профессор кафедры высшей математики, e-mail: juliameish@gmail.com, tel. +380954035196, Украина, 01010, г. Киев, ул. Киквидзе 42, к. 502, [orcid.org / 0000-0001-7492-700X](https://orcid.org/0000-0001-7492-700X).

Мейш Владимир Федорович, доктор физико-математических наук, профессор, Институт механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины, главный научный сотрудник, e-mail: vfmeish@gmail.com, tel. +380502519697, Украина, 03057, г. Киев, ул. Нестерова, 3, [orcid.org / 0000-0003-4141-7008](https://orcid.org/0000-0003-4141-7008).

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Луговий П.З., доктор технічних наук, професор, Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, завідувач відділом будівельної механіки тонкостінних конструкцій, Київ, Україна.

Лоза І.А., доктор фізико-математичних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри теоретичної механіки, Київ, Україна.

REVIEWER:

Lugovoy P.Z., D. Eng., professor, S.P Timoshenko Institute of Mechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Structure mechanics of thin – walled structures department head professor, Kyiv, Ukraine.

Loza I.A., Doctor of Mathematics, professor, National Transport University, Head of Department of Theoretical Mechanics, Kiev, Ukraine.

ПОЛІПРОПІЛЕНОВИЙ БІПОЛЯРНИЙ ЕЛЕКТРОД ДЛЯ ЕЛЕКТРОЕКСТРАКЦІЇ КОБАЛЬТУ

Мельник Н.І., кандидат хімічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, kataeff@ukr.net, orcid.org/0000-0002-1149-0450

Власенко Н.Є., кандидат хімічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна, vlasenko05@yahoo.com, orcid.org/0000-0003-0916-0898

Коваленко І.В., кандидат хімічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського» Київ, Україна, dana_ecology@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0087-4926

Шпак А.Є., кандидат хімічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна, shpak_ae@ukr.net, orcid.org/0000-0001-9547-0627

Зульфигаров А.О., кандидат хімічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна, sars2007@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2840-0607

THE POLYPROPYLENE BIPOLAR ELECTRODE FOR COBALT ELECTROEXTRACTION

Melnik N.I., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, kataeff@ukr.net, orcid.org/0000-0002-1149-0450

Vlasenko N.Ye., Ph.D., National Technical University of Ukraine «Igor Sikorskii Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, vlasenko05@yahoo.com, orcid.org/0000-0003-0916-0898

Kovalenko I.V., Ph.D., National Technical University of Ukraine «Igor Sikorskii Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, dana_ecology@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0087-4926

Shpak A.Ye., Ph.D., National Technical University of Ukraine «Igor Sikorskii Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, shpak_ae@ukr.net, orcid.org/0000-0001-9547-0627

Zul'figarov A.O., Ph.D., National Technical University of Ukraine «Igor Sikorskii Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, sars2007@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2840-0607

ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫЙ БИПОЛЯРНЫЙ ЭЛЕКТРОД ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭКСТРАКЦИИ КОБАЛЬТА

Мельник Н.И., кандидат химических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, kataeff@ukr.net, orcid.org/0000-0002-1149-0450

Власенко Н.Е., кандидат химических наук, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Киев, Украина, vlasenko05@yahoo.com, orcid.org/0000-0003-0916-0898

Коваленко И.В., кандидат химических наук, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Киев, Украина, dana_ecology@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0087-4926

Шпак А.Е., кандидат химических наук, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Киев, Украина, shpak_ae@ukr.net, orcid.org/0000-0001-9547-0627

Зульфигаров А.О., кандидат химических наук, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Киев, Украина, sars2007@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2840-0607

Постановка проблеми. Захисні та декоративні покриття займають важливу роль в виробництві та ремонті автомобільної техніки та машинобудуванні. Гальванічним способом покривається значна кількість деталей машин. Основні забруднюючі речовини, які знаходяться в стічних водах автомобілебудівних, машинобудівних підприємств, підприємств кольорової металургії – це іони важких металів [1]. Вагому небезпеку представляють метали, які в найбільшій мірі забруднюють навколишнє середовище, через використання їх в значних об'ємах в виробничій

діяльності [2]. До таких металів відносяться нікель (II), кобальт (II), хром (III), цинк (II), мідь (II), кадмій (II) та інші. Стічні води гальванічних виробництв складають близько 50% від загальної кількості, тому їх очистка є актуальною [3]. До недавнього часу основним способом переробки величезного числа стоків гальванічних виробництв була їх нейтралізація за допомогою хімічних, електрохімічних, коагуляційних і інших методів [4]. Що, у свою чергу породжувало проблеми, пов'язані з утилізацією продуктів нейтралізації [5]. При цьому втрати дефіцитної сировини були величезними. Кількість хімічних компонентів, що втрачається з відпрацьованими розчинами машинобудівної та автомобільної промисловості і промивними водами є значним. Для вилучення металів з промивних вод найбільш перспективними є електрохімічні методи [6]. Застосування електролізу в його традиційному оформленні – на плоских електродах – нераціонально, тому що інтенсивність такого електролізу мала. Підвищенню продуктивності сприяє два основних фактори – збільшення площі електроду та оптимізація умов масопереносу в електролізері [7]. Застосування електролізера з біполярним електродом відповідає цим вимогам. Але металевий біполярний електрод [8] має деякі недоліки, а саме він не є пластичним та гнучким, тому з часом руйнується. В даній роботі вивчена можливість використання неметалевого електропровідного біполярного електроду для електроекстракції металів, замість металевого.

Тому пропонується спосіб вилучення металу на прикладі кобальту за допомогою електролізера з поліпропіленовим біполярним електродом оригінальної конструкції (Рис. 1). Поліпропіленова електропровідна стрічка представляє собою стабілізований поліпропілен, одержаний шляхом введення вуглецевого наповнювача та синтетичних каучуків.

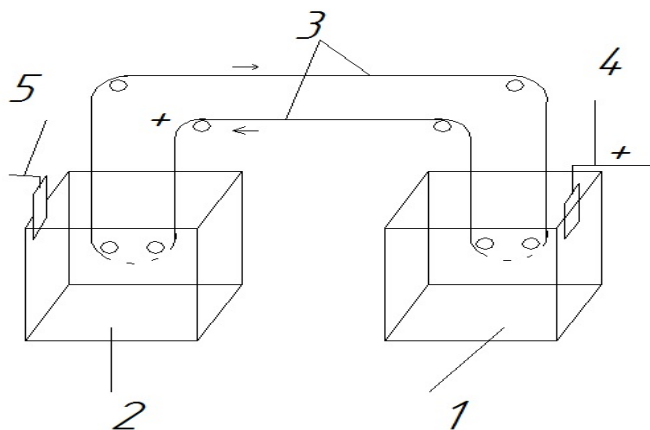


Рисунок 1 – Схема біполярного електролізера: 1 – анодна комірка, 2 – катодна комірка, 3 – поліпропіленовий рухомий біполярний електрод, 4 – допоміжний анод, 5 – допоміжний катод
Figure 1 – Chart of bipolar electrolyzer: 1 – anodic cell, 2 – cathode cell, 3 – movable bipolar polypropylene electrode, 4 – auxiliary anode, 5 – auxiliary cathode.

У першій комірці метал осаджується на частково занурений в розчин поліпропіленовій стрічці (3), що проводить електричний струм, і його знову розчиняють в електроліті в другій комірці частковим зануренням стрічки, що рухається. Розчинений в другій комірці кобальт знову осаджують на катоді (5). Після проведення електролізу аналізували концентрацію кобальту в обох комірках і визначали приріст ваги на допоміжному катоді (5). В процесі електролізу підвищується рівень електроліту в анодній (1) (у цій комірці біполярний електрод є анодом) і зменшується в катодній (2) (біполярний електрод є катодом), це свідчить про «перекачування» (механічне перенесення) електроліту поліпропіленовим біполярним електродом, що рухається. Реалізується так званий «електрохімічний насос», який перекачує кобальт. Використання цього методу значно збільшує швидкість очищення і поліпшує якість осадів. Вивчали процес вилучення кобальту з низько концентрованих розчинів (концентрація 0,25-0,75 моль/л), моделюючих промивні води. Для інтенсифікації процесу додавали фторидну кислоту (0,02 моль/л).

Коефіцієнт вилучення кобальту з розчинів розраховується за зменшенням концентрації іонів металів в катодній комірці:

$$K_v = (C_p - C_k) / C_p \cdot 100 \%$$

Сп – початкова концентрація іонів металу, Ск – кінцева, відповідно.

Таблиця 1 – Залежність коефіцієнта вилучення кобальту від умов електролізу для поліпропіленового біполярного електрода, концентрація F^- 0,02 моль/л.

Table 1 – Dependence of the coefficient of cobalt exception from the terms of electrolysis for polypropylene bipolar electrode, concentration F^- 0,02 mol/l.

Початкова концентрація, моль/л	Швидкість протягування, см/хв.	Катодна комірка (Кв,%)	Анодна комірка. Вихід за струмом (допоміжний катод), %
0,25	0,01	45	48
0,25	0,75	59	60
0,25	1,5	65	68
0,5	0,01	50	51
0,5	0,75	68	69
0,5	1,5	72	74
0,75	0,01	52	53
0,75	0,75	71	74
0,75	1,5	74	76

Вилучення кобальту проводилось при різній швидкості протягування біполярного електрода (0,01 – 1,5 см/хв.). Незважаючи на дуже низьку концентрацію іонів метала в розчині на допоміжному катоді відбувалося осадження щільних осадів кобальту. В Таблиці 1 представлено дані Кв та виходу кобальту за струмом (Вс) від концентрації та швидкості протягування біполярного електрода. Підвищення концентрації іонів кобальту до 0,75 моль/л та зростання швидкості протягування до 1,5 см/хв призводить до інтенсифікації масо переносу, ця величина визначається такими складовими як дифузія, міграція та конвекція. При швидкості руху біполярного електрода 0,01 см/хв. (тобто майже стаціонарні умови) величина масопереносу визначається тільки дифузією, тому величини Кв та Вс є найменшими. В умовах застосування рухомого біполярного електрода (0,75 – 1,5 см/хв.), до дифузії додається міграція та конвекція. Це пояснюється зростанням градієнту потенціалу та напруженості електричного поля, як наслідок характеризується максимальними значеннями коефіцієнту вилучення та виходу за струмом.

Проведені порівняльні дослідження процесу електровідновлення кобальту з поліпропіленовим та металевим біполярним електродом в залежності параметрів електролізу. На Рис.2 представлено закономірності виходу за струмом та коефіцієнту вилучення кобальту від густини струму.

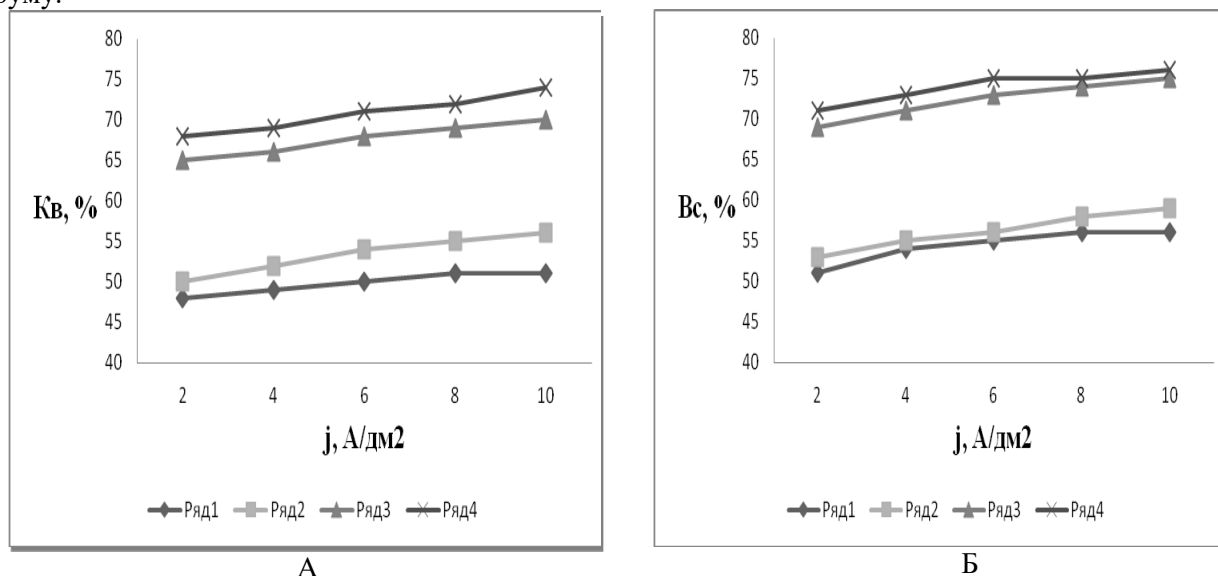


Рисунок 2 – Залежність густини струму j , А/дм² від: А) коефіцієнту вилучення кобальту; Б) виходу за струмом, в залежності від швидкості протяжки біполяру: 1 – 0,75 см/хв. – металевий; 2 – 0,75см/хв. – поліпропіленовий; 3 – 1,5см/хв. – металевий; 4 – 1,5см/хв. – поліпропіленовий.

Figure 2 – Dependence of the current density j , A/dm²: А) coefficient of cobalt exception; В) current output, depending on speed of bipolar: 1– 0,75cm/min – metallic; 2 – 0,75cm/min – polypropylene; 3 –1,5 cm/min – metallic; 4 – 1,5cm/min – polypropylene.

Застосування рухомого електроду обумовлює зростання густини струму та сприяє інтенсифікації продуктивності процесу. Максимальні значення K_v та V_c з розведених розчинів їх солей становлять 74% та 76% (відповідно) при швидкості руху біполярного електроду 1,5 см/хв. Застосування такого електроду дозволяє отримати більші значення виходу за струмом та коефіцієнту вилучення ніж для подібного металевого.

Одним з основних критеріїв для вибору параметрів процесу є якість осаду. Отримані осади є порошкоподібними, мають мікротвердість від 350 до 450 кг/мм², залежно від концентрації іонів металу в електроліті. Мікротвердість покриттів кобальту визначали за допомогою мікротвердоміру ПМТ-3. Осади з максимальною мікротвердістю – суцільні, дрібнокристалічні з вузьким розподілом за розмірами 5 – 8 мкм. При аналогічних умовах на монополярному електроді осадження кобальту не відбувається.

Надзвичайно важливим показником для оцінки ефективності процесу є час електролізу, тому досліджувалась залежність коефіцієнта вилучення іонів кобальту від часу (Рис. 3).

Зі збільшенням тривалості електролізу швидкість вилучення металу падає тому економічно більш вигідно підтримувати концентрацію на фіксованому рівні, можливо нижчому, повертаючи збіднену воду в анодну камеру. Для вилучення 1 кг кобальту необхідно 20 кВт·год, процес досить ефективний і не потребує великих енергозатрат.

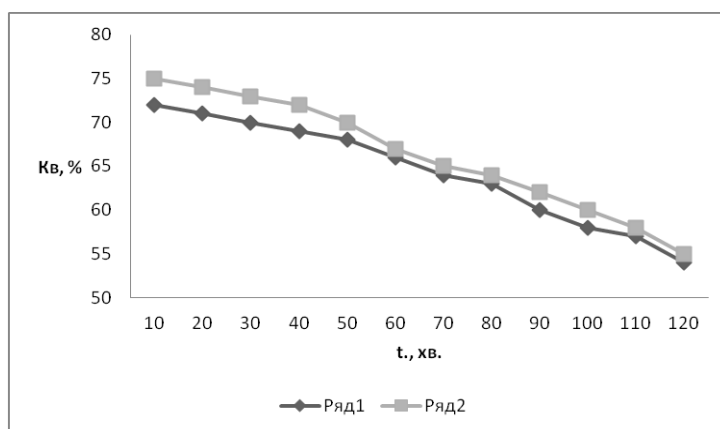


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнта вилучення кобальту від часу електролізу для біполярного електроду: 1 – металевий; 2 – поліпропіленовий.
Figure 3 – Dependence of the extraction coefficient of cobalt from the time of electrolysis for a bipolar electrode: 1 - metallic; 2 - polypropylene.

Таким чином, встановлено, що застосування біполярного електролізера для вилучення кобальту з розчинів моделюючих промивні забезпечує електроекстракцію досить високої чистоти металу. Отримані порошкоподібні осади кобальту мають мікротвердість від 350 до 450 кг/мм², залежно від концентрації іонів металу в електроліті. Для вилучення 1 кг кобальту необхідно 20 кВт·год, процес досить ефективний і не потребує великих енергозатрат. Вперше використано електропровідний поліпропіленовий біполярний електрод, який забезпечує легкість і пластичність, що не реалізується у випадку подібного металевого. Максимальні значення коефіцієнту вилучення кобальта та виходу за струмом з розведених розчинів їх солей становлять 74% та 76% (відповідно) при швидкості руху біполярного електроду 1,5 см/хв. В даній роботі показана можливість використання неметалевого електропровідного біполярного електроду для електроекстракції металів, замість металевого.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Kobya M. Treatment of Cr, Ni and Zn from galvanic rinsing wastewater by electrocoagulation process using ion electrodes / Kobya M., Erdem N., Demirbas E. // Desalination and water treatment. – 2015. – V. 56(5). – P.1191-1201.
2. Пімнева Л.А. Очистка стічних вод від токсичних важких металів/ Пімнева Л.А.// Сучасні наукоємні технології. – 2013. – №2. – С. 99-101.
3. Філатова Є.Г. Огляд технологій очистки стічних вод від іонів важких металів, які базуються на фізико – хімічних процесах./ Філатова Є.Г.// Вісник ВНЗів. Прикладна хімія та біотехнологія. – 2015. – №2 (13). – С.97-108.

4. Павлов Д.В. Очистка сточных вод различных производств с применением наилучших доступных технологий/ Павлов Д.В., Колесников В.А. // Чистая вода: проблемы и решения. – 2010. – №2-3. – С.145-153.
5. Халтурина Т.И. Гальванокоагуляционное обезреживание сточных вод содержащих ионы тяжелых металлов / Халтурина Т.И. , Курилина Т.А. // Изв. ВУЗов. Строительство. – 2009. – № 9. – С.77-83.
6. Власенко Н.Є. Вивчення процесу електровідновлення іонів цинку на біполярному електроді в слабоонцентрованих розчинах / Власенко Н.Є., Іванова Н.Д., Колбасов Г.Я., Герасимчук А.І. // Український хімічний журнал. – 2003. – Т. 69, №8. – С. 83-89.
7. Власенко Н.Є. Електрохімічний синтез оксидних сполук кобальту/ Власенко Н.Є., Потаскалов В.А., Тарасенко Н.В., Плаван В.П. // Вісник КНУТД. – 2015, №4. – С. 13–16.
8. Іванова Н.Д. Кинетика процесса электроэкстракции меди (II) из разбавленных электролитов/ Іванова Н.Д., Герасимчук А.І., Власенко Н.Е.// Журнал прикладной химии. – 2002. – Т. 75, № 7. – С.1096 – 1098.

REFERENCES

- 1.Koby, M. Treatment of Cr, Ni and Zn from galvanic rinsing wastewater by electrocoagulation process using ion electrodes / Koby, M., Erdem, N., Demirbas, E. // Desalination and water treatment. – 2015. – V. 56(5). – P.1191- 1201 [in English].
2. Рымнева, L.A (2013) Ochystka stichnykh vod vid toksychnykh vazhkykh metaliv [Purification of wastewater in toxic metal]. Suchasni naukoyemni tekhnolohiyi. – Modern science and technology, №2, 99-101 [in Ukrainian].
3. Filatova, E.G. (2015) Ohlyad tekhnolohiy ochystky stichnykh vod vid ioniv vazhkykh metaliv, yaki bazuyutsya na fizyko-khimichnykh protsesakh [An overview of wastewater treatment technologies from heavy metal ions based on physical and chemical processes]. Visnyk VNZiv. Prykladna khimiya ta biotekhnolohiya. – Journal of Higher Education. Applied Chemistry and Biotechnology. – №2 (13), 97-108 [in Ukrainian].
4. Pavlov, D.V., Kolesnikov, V.A. (2010) Ochistka stochnykh vod razlichnykh proizvodstv s primeneniym nailuchshikh dostupnykh tekhnologiy [Wastewater treatment of various industries using the best available technologies]. Chistaya voda: problemy i resheniya. – Clean water: problems and solutions, №2-3, 145 – 153 [in Russian].
5. Khalturina, T.I., Kurilina, T.A. (2009) Gal'vanokoagulyatsionnoye obezrezhivaniye stochnykh vod soderzhashchikh iony tyazhelykh metallov [Galvano-coagulation disinfection of waste water containing heavy metal ions]. Izv. VUZov. Stroitel'stvo. – Izv. Universities. Building, № 9, 77- 83 [in Russian].
6. Vlasenko, N.Ye., Ivanova, N.D., Kolbasov, H.YA., Herasymchuk, A.I. (2003) Vyvchennya protsesu elektrovodnovlennya ioniv tsynku na bipolyarnomu elektrodi v slaboontsentrovanykh rozchynakh [Study of the process of electrons recovery of zinc ions on a bipolar electrode in weakly concentrated solutions]. Ukrayins'kyi khimichnyi zhurna. – Ukrainian Chemical Magazine, V.69 (8), 83-89 [in Ukrainian].
7. Vlasenko, N.Ye., Potaskalov, V.A., Tarasenko, N.V., Plavan, V.P. (2015) Eletrokhimichnyy syntez oksydneykh spoluk kobaltu [Electrochemical synthesis of oxide compounds of cobalt]. Visnyk KNUTD. – KNUTD Bulletin, №4, 13-16 [in Ukrainian].
8. Ivanova, N.D., Gerasimchuk, A.I., Vlasenko, N.E. (2002) Kinetika protsessa eletroekstraktsii medi (II) iz razbavlennykh elektrolitov [Kinetics of the electroextraction process of copper (II) from dilute electrolytes]. Zhurnal prikladnoy khimii. – Journal of Applied Chemistry, V.75 (7), 1096-1098 [in Russian].

РЕФЕРАТ

Мельник Н.І. Поліпропіленовий біполярний електрод для електроекстракції кобальту / Н.І. Мельник, Н.Є. Власенко, І.В. Коваленко, , А.С. Шпак, А.О. Зульфигаров // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

В статті запропоновано використання поліпропіленового біполярного електроду для вилучення кобальту з низькоконцентрованих розчинів.

Об'єкт дослідження: електролізер з поліпропіленовим біполярним електродом

Мета роботи: дослідження процесу електроекстракції кобальту на поліпропіленовому біполярному електроді з низько концентрованих розчинів.

Методи дослідження: стаціонарна та нестаціонарна вольтамперометрія, метод вимірювання мікротвердості.

Встановлено, що застосування біполярного електролізера забезпечує електроекстракцію досить високої чистоти металу в процесі вилучення кобальту. Використання поліпропіленового біполярного електроду забезпечує легкість і пластичність, що не реалізується у випадку подібного металевого. Отримані осади мають мікротвердість від 350 до 450 кг/мм², залежно від концентрації іонів металу в електроліті. Осади з максимальною мікротвердістю – суцільні, дрібнокристалічні з вузьким розподілом за розмірами 5 – 8 мкм. Максимальні значення коефіцієнта вилучення та виходу за струмом з розведених розчинів їх солей становлять 74% та 76% (відповідно) при швидкості руху біполярну 1,5 см/хв. Для вилучення 1 кг кобальту необхідно 20 кВт·год, процес досить ефективний і не потребує великих енергозатрат.

Результати статті можуть бути упроваджені в технології очистки стічних вод гальванічних виробництв від іонів важких металів.

У подальшому планується вивчити можливість застосування поліпропіленового біполярного електроду для вилучення металів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПОЛІПРОПІЛЕНОВИЙ БІПОЛЯРНИЙ ЕЛЕКТРОД, ЕЛЕКТРОЕКСТРАКЦІЯ КОБАЛЬТУ, НИЗЬКОКОНЦЕНТРОВАНІ РОЗЧИНИ.

ABSTRACT

Melnik N.I., Vlasenko N.Ye., Kovalenko I.V., Shpak A.Ye., Zul'figarov A.O. The polypropylene bipolar electrode for cobalt electroextraction. Visnyk National Transport University Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

In the article the polypropylene bipolar electrode is offered for the cobalt extraction from low concentration solutions.

Research object: electrolyzer with polypropylene bipolar electrode.

Purpose of the study: research of cobalt electroextraction on the polypropylene bipolar electrode from low concentrated solutions.

Research methods: stationary and non-stationary voltamperometry, measuring method of micro hardness.

It was established that application of bipolar electrolyzer provides high purity electro-extraction of metal in the process of cobalt extraction. Using of polypropylene bipolar electrode provides lightness and plasticity that is not realized in the case of similar metallic. Received fallouts have a microhardness from 350 to 450 kg/mm², depending on ions concentration of metal in electrolyte. Fallouts with maximal microhardness – homogeneous, fine crystalline with narrow distribution after the sizes of 5 – 8 mkm. The maximal values of extraction coefficient and current output from diluted solutions of their salts set 74 and 76 % (respectively) at the rate of bipolar movement 1,5 cm/min. For an extraction 1 kg of cobalt it is necessary 20 kW·h, the process is effective and does not require high energy costs.

The results of the article can be implemented in technology of wastewater treatment from heavy metal ions at galvanic productions.

In the future it is planned to study the possibility of application polypropylene bipolar electrode for metal extraction.

KEY WORDS: POLYPROPYLENE BIPOLAR ELECTRODE, COBALT ELECTOEXTRACTION, LOW CONCENTRATION SOLUTIONS.

РЕФЕРАТ

Мельник Н.И. Полипропиленовый биполярный электрод для электроэкстракции кобальта / Н.И. Мельник, Н.Е. Власенко, И.В. Коваленко, А.Е. Шпак, А.О. Зулфигаров// Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье предложено использование полипропиленового биполярного электрода для извлечения кобальта из низкоконцентрированных растворов.

Объект исследования: электролизер с полипропиленовым биполярным электродом

Цель работы: исследование процесса электроэкстракции кобальта на полипропиленовом биполярном электроде из низкоконцентрированных растворов.

Методы исследования: стационарная и нестационарная вольтамперометрия, метод измерения микротвердости.

Установлено, что использование биполярного электролизера обеспечивает электроэкстракцию достаточно высокой чистоты металла в процессе извлечения кобальта. Применение полипропиленового биполярного электрода обеспечивает легкость и пластичность, что не реализуется в случае подобного металлического. Полученные осадки имеют микротвердость от 350 до 450 кг/мм², в зависимости от концентрации ионов металла в электролите. Осадки с максимальной микротвердостью – цельные, мелкокристаллические с узким распределением по размерам 5 – 8 мкм. Максимальные значения коэффициента извлечения и выхода по току из разведенных растворов их солей составляют 74% та 76%, соответственно, при скорости движения биполяра 1,5 см/мин. Для извлечения 1 кг кобальта необходимо 20 кВт·час, процесс достаточно эффективен и не требует больших энергозатрат.

Результаты статьи могут быть применены в технологии очистки сточных вод гальванических производств от ионов тяжелых металлов.

В дальнейшем планируется изучить возможность применения полипропиленового биполярного электрода для извлечения металлов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫЙ БИПОЛЯРНЫЙ ЭЛЕКТРОД, ЭЛЕКТРОЭКСТРАКЦИЯ КОБАЛЬТА, НИЗКОКОНЦЕНТРОВАННЫЕ РАСТВОРЫ.

АВТОРИ:

Мельник Наталія Іванівна, кандидат хімічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: kataeff@ukr.net, тел. +38-044-275-47-60, Україна, 02000 м.Київ, вул. М.Омеляновича-Павленка, 1, orcid.org/0000-0002-1149-0450.

Власенко Наталія Євгенівна, кандидат хімічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», доцент кафедри загальної та неорганічної хімії, e-mail: vlasenko05@yahoo.com, тел. +38-044-204-82-10, Україна, 03056 м.Київ, пр. Перемоги, 37, к.4, orcid.org/0000-0003-0916-0898.

Коваленко Ірина Володимирівна, кандидат хімічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», доцент кафедри загальної та неорганічної хімії, e-mail: dana_ecology@ukr.net, тел. +38-044-204-82-10, Україна, 03056 м.Київ, пр. Перемоги, 37, к.4, orcid.org/0000-0002-0087-4926.

Шпак Арсеній Євгенович, кандидат хімічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», старший викладач кафедри загальної та неорганічної хімії, e-mail: shpak_ae@ukr.net, тел. +38-044-204-82-10, Україна, 03056 м.Київ, пр. Перемоги, 37, к.4, orcid.org/0000-0001-9547-0627.

Зульф'яров Артур Олегович, кандидат хімічних наук, Національний технічний університет України, Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», асистент кафедри загальної та неорганічної хімії, e-mail: sars2007@ukr.net, тел. +38-044-204-82-10, Україна, 03056 м.Київ, пр. Перемоги, 37, к.4, orcid.org/0000-0003-2840-0607.

AUTHORS:

Melnik Nataly I., Ph.D., associated professor, National Transport University, associated professor at department of road construction materials and chemistry, e-mail: kataeff@ukr.net, тел. +38-044-275-47-60, Ukraine, 02000 Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str.1, orcid.org/0000-0002-1149-0450.

Vlasenko Nataly Ye., Ph.D., associated professor, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorskii Kyiv Polytechnic Institute», associated professor at department of general and inorganic chemistry, e-mail: vlasenko05@yahoo.com, тел. +38-044-204-82-10, Ukraine, 03056, Kyiv, Av.Peremogy, 37, of.4, orcid.org/0000-0003-0916-0898.

Kovalenko Iryna V., Ph.D., associated professor, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorskii Kyiv Polytechnic Institute», associated professor at department of general and inorganic chemistry, e-mail: dana_ecology@ukr.net, тел. +38-044-204-82-10, Ukraine, 03056, Kyiv, Av. Peremogy, 37, of.4, orcid.org/0000-0002-0087-4926.

Shpak Arseny Ye., Ph.D., National Technical University of Ukraine «Igor Sikorskii Kyiv Polytechnic Institute», senior lecturer at department of general and inorganic chemistry, e-mail: shpak_ae@ukr.net, тел. +38-044-204-82-10, Ukraine, 03056, Kyiv, Av. Peremogy, 37, of.4, orcid.org/0000-0001-9547-0627.

Zul'figarov Arthur O., Ph.D., National Technical University of Ukraine «Igor Sikorskii Kyiv Polytechnic Institute», assistant at department of general and inorganic chemistry, e-mail: sars2007@ukr.net, тел. +38-044-204-82-10, Ukraine, 03056, Kyiv, Av. Peremogy, 37, of.4, orcid.org/0000-0003-2840-0607.

АВТОРЫ:

Мельник Наталья Ивановна, кандидат химических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры дорожно-строительных материалов и химии, e-mail: kataeff@ukr.net, тел. +38-044-275-47-60, Украина, 02000 г.Киев, ул. М.Емельяновича-Павленко, 1, orcid.org/0000-0002-1149-0450.

Власенко Наталья Евгеньевна, кандидат химических наук, доцент, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», доцент кафедры общей и неорганической химии, e-mail: vlasenko05@yahoo.com, тел. +38-044-204-82-10, Украина, 03056 г.Киев, пр. Победы, 37, к.4, orcid.org/0000-0003-0916-0898.

Коваленко Ирина Владимировна, кандидат химических наук, доцент, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», доцент кафедры общей и неорганической химии, e-mail: dana_ecology@ukr.net, тел. +38-044-204-82-10, Украина, 03056 г.Киев, пр. Победы, 37, к.4, orcid.org/0000-0002-0087-4926.

Шпак Арсений Евгеньевич, кандидат химических наук, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», старший преподаватель кафедры общей и неорганической химии, e-mail: shpak_ae@ukr.net, тел. +38-044-204-82-10, Украина, 03056 г.Киев, пр. Победы, 37, к.4, orcid.org/0000-0001-9547-0627.

Зульфигаров Артур Олегович, кандидат химических наук, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», асистент кафедры общей и неорганической химии, e-mail: sars2007@ukr.net, тел. +38-044-204-82-10, Украина, 03056 г.Киев, пр. Победы, 37, к.4, orcid.org/0000-0003-2840-0607.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Андрійко О. О., доктор хімічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», зав. кафедри загальної та неорганічної хімії, Київ, Україна.

Пархоменко Н.Г., кандидат хімічних наук, професор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры дорожно-строительных материалов и химии, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Andriiko A.A., Doctor of Chemical Sciences, professor, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorskii Kyiv Polytechnic Institute», chief of department of general and inorganic chemistry, Kyiv, Ukraine.

Parhomenko N.G., Ph.D. (Chemistry), professor at department of road construction materials and chemistry, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

АСПЕКТИ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ В ПРОЕКТАХ ІНФРАСТРУКТУРИ ТРАНСПОРТУ

Мельниченко О.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, melnichenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0001-9694-9824

Кульбовський І.І., кандидат технічних наук, Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, Україна, kulbovskiy@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5329-3842

Голуб Г.М., кандидат технічних наук, Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, Україна, golub.galina@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4028-1025

Харута В.Л., Коледж інформаційних технологій та землевпорядкування Національного авіаційного університету, Київ, Україна, kharuta_val84@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2462-8604

ASPECTS OF THE METROLOGICAL PROVISION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEMS IN TRANSPORT INFRASTRUCTURE PROJECTS

Melnichenko O.I., Candidate of Science in Engineering, National Transport University, Kyiv, Ukraine, melnichenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0001-9694-9824

Kulbovskiy I.I., PhD, State University Of Infrastructure And Technologies, Kyiv, Ukraine, kulbovskiy@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5329-3842

Holub H.M., PhD, State University Of Infrastructure And Technologies, Kyiv, Ukraine, golub.galina@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4028-1025

Kharuta V.L., College of Information Technology and Land Management, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, kharuta_val84@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2462-8604

АСПЕКТЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В ПРОЕКТАХ ИНФРАСТРУКТУРЫ ТРАНСПОРТА

Мельниченко А.И., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, melnichenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0001-9694-9824

Кульбовский И.И., кандидат технических наук, Государственный университет инфраструктуры и технологий, Киев, Украина, kulbovskiy@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5329-3842

Голуб Г.М., кандидат технических наук, Государственный университет инфраструктуры и технологий, Киев, Украина, golub.galina@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4028-1025

Харута В.Л., Колледж информационных технологий и землеустройства Национального авиационного университета, Киев, Украина, kharuta_val84@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2462-8604

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Метрологічне забезпечення – це встановлення та застосування метрологічних норм і правил, а також розроблення, виготовлення та застосування технічних засобів, що забезпечують єдність та необхідну точність вимірювання. Метрологічне забезпечення складається з наукової, законодавчої, технічної та організаційної основ.

Науковою основою метрологічного забезпечення є метрологія. Законодавчою основою метрологічного забезпечення є Закон України, декрети й постанови Кабінету міністрів України, які спрямовані на забезпечення єдності вимірювань. Нормативною основою метрологічного забезпечення є Державні стандарти та інші документи Державної системи забезпечення єдності вимірювань, відповідні нормативні документи Держстандарту України, методичні вказівки та рекомендації.

Технічну основу складає система державних еталонів і зразкових засобів вимірювань, яка забезпечує їх відтворення з найвищою точністю; система робочих еталонів і зразкових засобів вимірювань, за допомогою яких здійснюється передача розмірів одиниць фізичних величин робочим засобам вимірювань. А також система стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів, що забезпечує відтворення одиниць, склад і властивостей речовин і матеріалів. Система

робочих засобів вимірювальної техніки, які використовуються під час розроблення, виробництва, випробувань і експлуатації продукції, наукових досліджень та інших видів діяльності.

Організаційною основою метрологічного забезпечення є метрологічна служба України.

Метою метрологічного забезпечення є покращення якості, підвищення ефективності виробництва, використання матеріальних цінностей та енергетичних ресурсів, а також наукових досліджень.

Постановка проблеми. Можна виділити основні завдання метрологічного забезпечення технологічного процесу, це – встановлення одиниць фізичних величин; формування системи державних еталонів одиниць фізичних величин і забезпечення їхнього функціонування; розроблення методів і засобів передавання розмірів одиниць фізичних величин від еталонів зразковим і робочим засобам вимірювання. А також розроблення науково-методичних, правових та організаційних основ, які необхідні для досягнення єдності та необхідної точності вимірювання. Розроблення та впровадження в метрологічну практику норм правил законодавчої метрології. Державний та відомчий нагляд за розробленням, виробництвом, станом, застосуванням і ремонтом засобів вимірювань. Проведення державних випробувань, повірки, калібрування та метрологічної атестації засобів вимірювань. Сертифікація засобів вимірювання. Розробка та атестація методик виконання вимірювань. Створення та атестація стандартних зразків складу і властивостей речовин і матеріалів. Проведення метрологічної експертизи, проектної, конструкторської та технологічної документації [1].

Методика проведення дослідження. Метрологічне забезпечення є досить широким поняттям. Тому коли йде мова про метрологічне забезпечення технологічного процесу (виробництва, підприємства, відомства тощо, то при цьому мають на увазі метрологічне забезпечення вимірювань даного технологічного процесу, конкретного виробництва, підприємства).

Виклад основного матеріалу. Метрологічне забезпечення технологічного процесу підприємства містить проведення аналізу стану вимірювань на підприємстві, встановлення раціональної номенклатури вимірюваних величин, номенклатури робочих і зразкових засобів вимірювань, оптимальних норм вимірювань, точності. Вибір, повірку та метрологічну атестацію необхідних засобів, розробку методик вимірювань залежно від встановлених норм точності. Створення та підтримку умов необхідних для проведення вимірювань, метрологічну експертизу технічних завдань, конструкторської і технологічної документації. За умови відсутності засобів вимірювань, що серійно випускаються промисловістю, та необхідні для контролю технологічного процесу, в метрологічне забезпечення входить створення та визнання законом так званих нестандартизованих засобів вимірювань. В метрологічне забезпечення входить також впровадження державних і відомчих нормативно-технічних документів, розробка нормативно-відомчих документів підприємств по метрологічним питанням, проведення контролю за виробництвом, станом, застосуванням та ремонтом засобів вимірювань та дотримання метрологічних правил, норм і вимог на підприємстві.

Важливим видом діяльності по метрологічному забезпеченню є створення робочих та зразкових засобів вимірювань та їх готовність до застосування.

Важливою складовою частиною процесу проектування та виготовлення різних технічних систем є випробування. У результаті випробувань отримують майже всі дані про параметри та характеристики систем на всіх етапах їх створення. Тут можна виділити такі основні моменти

Інформація, яку отримують під час випробувань, є технічною основою вдосконалення та оптимізації вирішальних схемотехнічних рішень.

Забезпечення якості систем на етапі виробництва значною мірою залежить від випробувань.

На проведення випробувань витрачається значна частина коштів, що виділяються на проведення випробувань. Перш за все це випробувальне обладнання, тобто технічні засоби для відтворення умов випробувань.

Складовою частиною засобів випробувань є пристрої вимірювання. Вони можуть бути вбудованими до випробувального обладнання або автономними. До їх функцій належить вимірювання параметрів випробувального об'єкта або контролю умов випробувань.

До засобів випробувань відносяться також допоміжні технічні пристрої для закріплення об'єктів випробувань і реєстрації та обладнання результатів. Засоби випробувань мають бути виконані у повній відповідності із вимогами єдиної конструкторської документації і своєчасно атестовані. Атестація випробувального обладнання передбачає визначення його нормованих технічних характеристик та встановлення придатності до роботи.

Метрологічне забезпечення систем та пристроїв електроспоживання на залізничному транспорті є важливим завданням керівництва. Досить складне завдання у зв'язку з специфікою процесів постачання електроенергії на тягу поїздів, процесів контролю та забезпечення безпеки руху поїздів.

Питання забезпечення надійної, економічної і якісної роботи електроенергетичних об'єктів вирішується за допомогою їх комплексної автоматизації та інформатизації, одним із стратегічних напрямків яких є впровадження на великих електроенергетичних об'єктах цифрових електровимірювальних реєструючих приладів синхронізованих вимірів [2]. Використання їх на цих об'єктах стає загальноприйнятою нормою і значно полегшує умови праці обслуговуючого персоналу і підвищує надійність обладнання за рахунок постійного контролю режимів його роботи та інформаційного забезпечення. Технічні дані цих приладів дозволяють вирішувати безліч завдань, пов'язаних з реєстрацією режимів роботи енергосистем, визначенням електричних і часових параметрів, відшукування пошкодження на лініях електропередач, діагностикою електрообладнання та багато інших.

Результати та обговорення дослідження. Відомо, що експериментальні дослідження та випробовування потребують значних коштів, частка яких у загальних витратах на проектування постійно зростає. Якщо йдеться про сучасні складні технічні системи, то кошти на творення відповідного контрольно-вимірювального та випробувального обладнання значно більші ніж затрати на розроблення самих систем. Тому автоматизація контрольно-вимірювальних та випробувальних процесів є одним із найбільш важливих напрямів підвищення ефективності проектування систем [3].

Зазвичай, підприємства, що займаються створенням складних технічних систем, мають у своєму розпорядженні випробувальне обладнання, яке дозволяє імітувати практично, всі види зовнішніх впливів, а саме підвищену та понижену температури, підвищені вологість, соляний туман, вібрацію, удари та ін. Висока трудомісткість та тривалість випробувань частково пояснюється тим, що проведення випробувань на такому обладнанні потребує значних затрат часу на підготовчі операції, у тому числі встановлювання систем на випробувальному обладнанні, підключення контрольно-вимірювальної апаратури і т ін. Застосування універсального обладнання, яке дозволяє на одній установці проводити випробування різних видів і в різній послідовності, приводить до значного підвищення ефективності випробувань.

Найбільш ефективний спосіб підвищення надійності, економічності та безпеки роботи електроенергетичного обладнання – це використання методів і засобів технічного діагностування. Завдяки застосуванню систем моніторингу контролю та діагностики електричних параметрів електроенергетичних об'єктів залізниць, мінімізується як час відновлення електропостачання (з цим пов'язано відновлення руху поїздів), так і відповідні економічні збитки, обумовлені аварійним знеструмленням, а також скорочуються витрати пов'язані з оперативним виконанням ремонтних робіт по усуненню наслідків пошкоджень [4-5].

Характеристики цифрових реєстраторів та системи моніторингу, які пропонуються на ринку електроенергетичних систем провідними виробниками регламентуються міжнародними стандартами [6-8]. Проведені порівняння точності вимірювань різних пристроїв реєстрації параметрів режимів PMUs [9] демонструють схожі показники та підтверджують можливість застосування системи моніторингу режимних параметрів (WAMS) в задачах оцінювання стану енергетичних систем. Разом з тим, тривають роботи по вдосконаленню розподілених вимірювань, зокрема оцінки та компенсації похибок пов'язаних із транспортними затримками інформаційних ліній передач.

Компанія ABB належить до лідерів галузі електротехнічного обладнання, однією з перших налагодила випуск цифрових реєстраторів типу RES 521 [10] та впровадження WAMS для ОЕС країн центральної Європи. Характеристики реєстраторів RES 521 стали основою для формування міжнародних стандартів відносно характеристик вимірювальних каналів, точності синхронізації по часу, спеціалізованих модифікацій мережесих протоколів та форматів повідомлень [11].

Компанія Arbiter Systems здійснює впровадження та обслуговування систем моніторингу на основі реєстраторів Power Sentinel 1133A. Характеристики продукції Arbiter Systems задають стандарти точності синхронізації вимірювань на основі GPS, оскільки пристрої супутникової орієнтації є однією із спеціалізацій компанії. Результати порівняння точності вимірювань потужності за допомогою PMU Power Sentinel 1133A (0.025%) та стандартного ватметра (0.1%), свідчать про можливість збільшення ефективності обліку електроенергії засобами реєстраторів Power Sentinel [12]. Особливістю каналів вимірювання аналогових сигналів є використання автокалібрування в режимі реального часу, завдяки чому усуваються ряд джерел помилок, які могли б погіршити точність.

Процес калібрування реалізовано по принципу інжекції у вимірювальний канал внутрішнього еталонного сигналу, при цьому, повний набір допоміжних вимірів виконується один раз в секунду.

Компанія General Electric, що є лідером на ринку електроенергетичного обладнання регіону Північної Америки, здійснює випуск загальних систем управління, захисту та моніторингу на основі пристроїв Multilin N-60 [13]. Розглядувані пристрої призначені для реалізації інтелектуальних систем захисту електроенергетичного об'єкту, є основою побудови автоматизованих інформаційно-керуючих мереж ЕС. Система здатна генерувати інтелектуальні рішення відносно керування режимами електроенергетичних систем.

Система моніторингу якості енергозабезпечення ОЕС Туреччини побудована на основі цифрових реєстраторів з прив'язкою до GPS, які мають назву Power Quality (PQ) analyzers (аналізатори якості живлення), чим підкреслюється використання системи, в основному, для комерційного обліку електроенергії. Для побудови інформаційної мережі використовуються GPRS-, ADSL- та оптоволоконні канали передачі даних. Система сертифікована згідно міжнародних стандартів [6-8], при цьому, канали вимірювання струмів та напруг забезпечують дискретизацію на рівні 512 значень на період основної гармоніки (50 Гц), а GPS синхронізація по часу забезпечується з похибкою яка не перевищує 100 нс.

На основі територіально розподілених високоточних реєстраторів «Регіна-Ч» створена системи моніторингу перехідних режимів (СМІР), яка призначена для постійного спостереження за параметрами режимів електроенергетичних систем, оцінкою та прогнозом розвитку поточних режимів роботи та видачею отриманої інформації в цифровому вигляді системам керування та інформаційним системам, що застосовуються в електроенергетиці.

Для моніторингу режимів об'єднаної електроенергетичної системи України на системі утворюючих електроенергетичних об'єктах впроваджено діагностичний комплекс «Регіна-Ч» [14], що є спільною розробкою провідних вітчизняних наукових установ. Характеристики вітчизняних реєстраторів не поступаються закордонним аналогам та відповідають міжнародним стандартам [15]. WAMS на базі пристроїв «Регіна-Ч» забезпечують сучасні функціональні можливості діагностики електроенергетичної системи, зокрема оцінювання стану, моніторинг перехідних режимів та низькочастотних коливань.

Багатофункціональність цифрового електровимірювального пристрою синхронізованих вимірювань (ЦПСВ), яка полягає у визначенні різних по своїй фізичній природі величин, вимагає в свою чергу комплексного підходу до його метрологічного забезпечення. Розглянемо основні методи і засоби їх реалізації для визначення метрологічних характеристик ЦПСВ, розробленого для вимірювання і моніторингу параметрів електричних мереж [16].

Основними параметрами, що підлягають визначенню в процесі моніторингу це:

- 1) діючі значення перших гармонік кожної фази;
- 2) діючі значення активної і реактивної потужності; значення кутів між фазами векторів напруг;
- 3) значення частоти напруги кожної фази;
- 4) значення точного часу переходу фазної напруги через нуль;
- 5) кут між синусоїдою напруги мережі і синусоїдою 50 Гц, прив'язаною до сигналів точного часу.

З метою визначення метрологічних характеристик електровимірювального реєструючого приладу («Регіна-Ч») була проведена державна метрологічна атестація, в ході якої були визначені похибки вимірювання наступних величин: сили змінного струму; напруги змінного струму; частоти змінного струму; активної потужності; реактивної потужності; електричних кутів між векторами напруг; електричних кутів між векторами струмів; електричних кутів між векторами напруг і струмів; коефіцієнта потужності; синхронізації приладу «Регіна-Ч» від GPS.

При проведенні державної метрологічної атестації було використано наступне обладнання: частотомер ЧЗ-63; калібратор універсальний Н4-6; вимірювач різниці фаз Ф2-34; міра опору змінного струму РТ-1; установка ED8421 з еталонним лічильником EPZ 303-5, клас точності 0,02.

Співвідношення меж допустимих значень похибок еталонних засобів вимірювальної техніки та електровимірювання реєструючого приладу «Регіна-Ч» не перевищує 1/3.

Оскільки прилади «Регіна-Ч» призначені для роботи в нормальних режимах, діапазон зміни вхідних сигналів по струму, напрузі і відповідно потужності обмежений їх номінальними значеннями. Для експериментального визначення його нормованих метрологічних характеристик, необхідно на вхід приладу «Регіна-Ч» подати калібрований сигнал струму, напруги або потужності і визначити похибка його вимірювання.

Однією з основних метрологічних характеристик приладу «Регіна-Ч» для моніторингу частоти є похибка вимірювання частоти вхідної напруги, абсолютне значення якої унормовано в межах $\pm 0,001$ Гц. Для визначення даної метрологічної характеристики запропонована електрична схема з використанням в якості джерела стабільного за частотою напруги калібратора універсального Н4-6, в якості робочого еталона для вимірювання частоти застосовується частотомір ЧЗ-63.

Вимірювання частоти з такою точністю можливо лише за умови правильного і раціонального вибору частоти дискретизації сигналу з подальшою апроксимацією переходів синусоїди через нуль, що забезпечує задану точність вимірювань.

Інформація, яка зареєстрована «Регіна-Ч» розглядається як дискрета, так як прилад є цифровим.

Для забезпечення однакової інтерпретації результатів синхронізованих вимірювань параметрів режимів роботи систем, використовується метод синхронізації вимірювальних модулів систем реєстрації параметрів розподілених електроенергетичних об'єктів. Даний метод полягає в прив'язці всіх вимірювань, в тому числі і кута вектора напруги до так званої ідеальної синусоїди. Для цього, наприклад, о 12 годині 00 хвилин 00 секунд 000 мілісекунд 000 мікросекунд на всіх реєстраторах синхронізованих вимірів, розташованих на електроенергетичних об'єктах запускається віртуальна синусоїда з частотою 50 Гц і нульовий фазою. Далі, всі виміри величин, в тому числі і кутів векторів напруги, виробляються щодо цієї синусоїди, на кожному її періоді. По суті, синхронізація вимірювальних модулів систем реєстрації, встановлених на різних об'єктах полягає в прив'язці переходів через нуль вимірюваної синусоїди напруги до шкали часу GPS вироблених через 20 мілісекунд.

Для визначення переходів через нуль основної гармоніки синусоїдальної напруги використовується апроксимація степовими поліномами. Передбачається, що після реєстрації сигнал був пропущений через фільтр, на виході якого є дискретні значення основної гармоніки синусоїдального сигналу.

Розглянемо лінійну апроксимацію. Апроксимувати значення в точці дорівнює:

$$u(t) = f_0 + f_1 \cdot (t - t_0), \quad (1)$$

$$\text{де } f_0 = u(t_0), \quad f_1 = \frac{u(t_1) - u(t_0)}{t_1 - t_0}.$$

Так як необхідно знайти перехід через нуль, прирівняємо (1) до нуля і знайдемо t .

$$t = \frac{f_1 \cdot t_0 - f_0}{f_1}. \quad (2)$$

Важливим тимчасовим параметром режиму є фази напруг різних вузлів електроенергетичних систем, виміряні в єдиному форматі астрономічного часу. Тобто вимірювання кута вектора напруги мережі контрольованих приєднань з прив'язкою до тимчасових сигналів, одержуваних від GPS приймача. Вимірювання цього параметра із заданою точністю необхідно для синхронної роботи різних частин електроенергетичних систем; контролю перетікань потужностей в системах; експертної оцінки стану мереж; контролю станів систем при підключенні до неї електроенергетичних об'єктів; контролю роботи диференційно фазних захистів на лініях електропередач; періодичний контроль стану електроенергетичних систем електроспоживаючими організаціями.

При цьому похибка синхронізації вимірювальних модулів системи реєстрації параметрів режимів мережі від GPS не повинна перевищувати ± 20 мкс, а похибка кута вектора напруги вимірюваної синусоїди щодо синусоїди, прив'язаною до астрономічного часу не повинна перевищувати $\pm 1^\circ$.

Задана похибка синхронізації вимірювальних модулів системи реєстрації, була підтверджена при їх метрологічних випробуваннях, в процесі проведення в Укрметртестстандарті державної атестації згідно з вимогами [17].

За результатами експериментальних досліджень можна розрахувати середнє значення абсолютної похибки прив'язки переходу через нуль синусоїдального сигналу до шкали часу за формулою (3):

$$\Delta_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i, \quad (3)$$

де $\Delta_i = X_p - X_q$ – абсолютна похибка i -го вимірювання;

X_q – результати вимірювань за допомогою частотоміра;

X_p – результати вимірювань за допомогою приладу «Регіна-Ч»;

n – кількість вимірювань.

Якщо значення похибки не задовольняє вимогам, нормованим в технічній документації на прилад «Регіна-Ч», то необхідно ввести в його програму відповідну поправку на величину похибки [18], розраховану за формулою (3) з протилежним знаком і повторити описану процедуру вимірів.

Державна атестація показала, що прилад «Регіна-Ч» задовольняє всім вимогам його нормативної документації і може бути використаний як засіб вимірювання для контролю параметрів і моніторингу електричних мереж.

Державна метрологічна атестація цього приладу, проведена в криметрестандарті, показала, що його характеристики по точності і швидкодії відповідають всім вимогам до вимірювання електричних параметрів в електроенергетичних системах і на її об'єктах з прив'язкою до сигналів точного часу, одержуваних від GPS джерела. Прилади пройшли державну метрологічну атестацію в ДП Укрметрестандарт, яка підтвердила їх високий технічний і метрологічний рівень. Вони успішно експлуатуються на багатьох електроенергетичних об'єктах України, Білорусі та Казахстану.

Вимірювання електричних параметрів електроенергетичних систем і об'єктів в масштабі реального астрономічного часу є актуальною та своєчасною завданням, для реалізації якої необхідні високоточні і метрологічно забезпечені прилади.

Висновки. Проаналізовані основні аспекти метрологічного забезпечення технологічного процесу і засобів в інформаційно-вимірювальних системах. Визначені основні складові їх метрологічного забезпечення. Наведені завдання метрологічного забезпечення технологічного процесу підприємств.

Проаналізовано метрологічне забезпечення цифрових електровимірювальних реєструючих приладів синхронізованих вимірів типу «Регіна-Ч» використання яких на електроенергетичних об'єктах стає загальноприйнятою нормою і значно полегшує умови праці обслуговуючого персоналу і підвищує надійність обладнання за рахунок постійного контролю режимів його роботи та інформаційного забезпечення. Розглянуто питання контролю метрологічних характеристик технічних засобів системи моніторингу перехідних режимів енергосистем.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бичківський Р.В. Основи метрологічного забезпечення: Навч. Посібник / Р.В. Бичківський, В.І. Зорій, П.Г. Столярчук // – Львів: Видавництво Держ. ун-ту «Львівська політехніка», 1999. – 180 с.
2. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» від 11 лютого 1998 року, № 113/98-ВР.
3. Кульбовський І.І. Перспективні напрями розвитку сертифікації на транспорті / І.І. Кульбовський, О.В. Бамбура // Вісник сертифікації транспорту. – Дніпро: ДП «ДОСЗТ», 2019. – №2 (54) – С. 23-26.
4. Kulbovskiy I.I. Metrological aspects of electric safety system analysis at underground enterprises / I.I. Kulbovskiy, O.L. Sorochynska, G.M. Golub, O.V. Bambura // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2017. №5. P. 14-19.
5. Kulbovskiy I.I. Information model of railway transport power supply system computer monitoring data flow / I.I. Kulbovskiy, Holub H.M., Kyiashko V.T., Snezhina Andonova // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2018. – № 2 – P. 31-36.
6. Synchrophasor Measurements for Power Systems: IEEE Std. C37.118.1-2011 (Revision of IEEE Std. C37.118-2005) / IEEE Standard. – New York, 2011. – 61 p.
7. Testing and measurement techniques – power quality measurement methods: IEC 61000-4-30 [Електронний ресурс]. – IEC, 2008. – 71 p. – Режим доступу: http://webstore.iec.ch/preview/info_iec61000-4-30%7Bed2.0%7Db.pdf.

8. Testing and measurement techniques – general guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto: IEC 61000-4-7 [Електронний ресурс]. – IEC, 2002. – 13 p. – Режим доступу: http://webstore.iec.ch/preview/info_iec61000-4-7%7Bed2.0%7Den_d.pdf.
9. Testing and measurement techniques – flickermeter – functional and design specifications: IEC 61000-4-15 [Електронний ресурс]. – IEC, 2010. – 48p. – Режим доступу: http://webstore.iec.ch/preview/info_iec61000-4-15%7Bed2.0%7Db.pdf.
10. Phasor measurement terminal RES 521 [Електронний ресурс] / ABB. – Режим доступу: <http://www.abb.com/product/db0003db004281/c12573e700330419c1256fef002c6cbf.aspx>.
11. Kirrmann H. Performance of a full-hardware PTP implementation for an IEC 621439-3 redundant IEC 61850 substation automation network / H. Kirrmann, C. Honegger, D. Ilie, I. Sotiropoulos / *International IEEE Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control and Communication*, San Francisco, 23-28 September 2012. – San Francisco, 2012. – P. 43-48.
12. Model 1133A Power Sentinel with energy Digital Signal Analysis [Електронний ресурс] / Arbiter systems. – Режим доступу: <http://www.arbiter.com/files/product-attachments/1133a.pdf>
13. N60 Network Stability and Synchrophasor Measurement System [Електронний ресурс] / GE Multilin. – Canada, 2006. – 378 p. – Режим доступу: <http://www.gedigitalenergy.com/products/manuals/n60/n60man-m2.pdf>.
14. Стогній Б. С. Інформаційне забезпечення задач керування електроенергетичними системами / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, О. Ф. Буткевич, М. Ф. Сопель // *Енергетика: економіка, технології, екологія*. – К.: НТУ КПІ. – 2012. – №1. – С. 13-22.
15. Synchrophasor Measurements for Power Systems: IEEE Std. C37.118.1-2011 (Revision of IEEE Std. C37.118-2005) / IEEE Standard. – New York, 2011. – 61 p.
16. Слынько В.М. Метрологическое обеспечение цифровых электроизмерительных регистрирующих приборов / В.М. Слынько, Ю.В. Пилипенко, С.А. Ахмадов, С.А. Трофименко // *Праці ІЕД НАНУ*. – 2006. – № 2(14). – С. 111-114.
17. Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення: ДСТУ 3215-95. – К.: 2000. – 64 с.
18. Гайденко О.С. Дослідження проблеми «комп'ютерної неточності» в автоматизованих системах транспорту / О.С. Гайденко, Г.М. Голуб, О.В. Галан // *Збірник наукових праць ДУІТ, серія «Транспортні системи і технології»*. – 2019. – №2 (33). – С. 92-98.

REFERENCES

1. Bychkivskiy, R.V., Zorii, V.I., Stoliarchuk, P.H. (1999). *Osnovy metrolohichnoho zabezpechennya: navchalnyi posibnyk* [Basics of metrological support: Tutorial]. Lviv: State Publishing House. Lviv Polytechnic University. 180 p.
2. *Pro metrolii ta metrilohichnu diialnist': zakon Ukrainy* [About metrology and metrological activity: Ukrainian law]. 1998, № 113/98-BP.
3. Kulbovskiy, I.I., Bambura, O.V. (2019) Perspektivni napriamy rozvytku sertyfikatsii na transporti [Promising directions for the development of certification in transport]. *Dnipro, Transport Certification Bulletin*. – №2 (54) – P. 23-26.
4. Kulbovskiy I.I., Sorochynska. O.L., Golub. G.M., Bambura. O.V. (2017). Metrological aspects of electric safety system analysis at underground enterprises. *Metallurgical and Mining Industry*. – №5. P. 14-19. [in English].
5. Kulbovskiy. I.I., Holub. H.M., Kyiashko. V.T., Andonova S. (2018). Information model of railway transport power supply system computer monitoring data flow. *Metallurgical and Mining Industry*. – № 2 – P. 31-36. [in English].
6. Synchrophasor Measurements for Power Systems: IEEE Std. C37.118.1-2011 (Revision of IEEE Std. C37.118-2005) / IEEE Standard. – New York, 2011. – 61 p. [in English].
7. Testing and measurement techniques – power quality measurement methods: IEC 61000-4-30 [Electronic resource]. – IEC, 2008. – 71 p. – Available at: http://webstore.iec.ch/preview/info_iec61000-4-30%7Bed2.0%7Db.pdf. [in English].
8. Testing and measurement techniques – general guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto: IEC 61000-4-7 [Electronic resource]. – IEC, 2002. – 13 p. – Available at: http://webstore.iec.ch/preview/info_iec61000-4-7%7Bed2.0%7Den_d.pdf. [in English].
9. Testing and measurement techniques – flickermeter – functional and design specifications: IEC 61000-4-15 [Electronic resource]. – IEC, 2010. – 48p. – Available at: http://webstore.iec.ch/preview/info_iec61000-4-15%7Bed2.0%7Db.pdf. [in English].

10. Phasor measurement terminal RES 521 [Electronic resource]. / ABB. – Available at: <http://www.abb.com/product/db0003db004281/c12573e700330419c1256fef002c6cbf.aspx>. [in English].
11. Kirrmann H. Performance of a full-hardware PTP implementation for an IEC 621439-3 redundant IEC 61850 substation automation network / H. Kirrmann, C. Honegger, D. Ilie, I. Sotiropoulos / International IEEE Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control and Communication, San Francisco, 23-28 September 2012. – San Francisco, 2012. – P. 43-48. [in English].
12. Model 1133A Power Sentinel with energy Digital Signal Analysis [Electronic resource]. / Arbiter systems. – Available at: <http://www.arbiter.com/files/product-attachments/1133a.pdf> [in English].
13. N60 Network Stability and Synchrophasor Measurement System [Electronic resource]. / GE Multilin. – Canada, 2006. – 378 p. – Available at: <http://www.gedigitalenergy.com/products/manuals/n60/n60man-m2.pdf>. [in English].
14. Stohnii. B.S., Kyrylenko. O.V., Butkevych. O.F., Sopel. M.F. (2012) Informatsiine zabezpechennia zadach keruvannia elektroenerhetychnymy systemamy [Information support of problems of control of power systems]. *Kyiv. NTU KPI*. – №1. – P. 13-22.
15. Synchrophasor Measurements for Power Systems: IEEE Std. C37.118.1-2011 (Revision of IEEE Std. C37.118-2005) / IEEE Standard. – New York, 2011. – 61 p. [in English].
16. Slynko. V.M., Pylypenko. Yu.V., Akhmadov. S.A., Trofymenko. S.A. (2006) Metrologicheskoe obespechenie tsifrovyykh elektroizmeritelnykh registriruyushchih priborov [Metrological support of digital electrical measuring recorders]. *Praci IED NASU*. – № 2 (14). – P. 111-114.
17. DSTU 3215-95. Metrolohichna atestatsiia zasobiv vymiriuvai'noi tekhnika. Orhanizatsiia ta poriadok provedennia [Metrological attestation of the interests of measurement technology. Organizations and procedures]. Kyiv, 2000. 64 p.
18. Haidenko. O.S., Holub. H.M., Halan. O.V. (2019) Doslidzhennia problem “kompiuternoi netochnosti” v avtomatyzovanykh systemekh transportu [Research on the problem of “computer inaccuracy” in automated transport systems]. *Zbirnyk naukovykh prats' DUIT, seriia “Transportni systemy i tekhnologii”* [Collection of scientific works of DUIT, series “Transport systems and technologies”]. №2 (33). – P. 92-98.

РЕФЕРАТ

Мельниченко О.І. Аспекти метрологічного забезпечення технологічних процесів інформаційно-вимірювальних систем в проектах інфраструктури транспорту / О.І. Мельниченко, І.І. Кульбовський, Г.М. Голуб, В.Л. Харута // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. К.: НТУ, 2020 – Вип. 1 (46).

В статті розглянуті основні методологічні аспекти метрологічного забезпечення засобів інформаційно-вимірювальних систем в проектах інфраструктури транспорту.

Об'єкт дослідження – засоби інформаційно-вимірювальних систем електроенергетичних об'єктів транспорту України.

Мета роботи – дослідження метрологічного забезпечення засобів інформаційно-вимірювальних систем на електроенергетичних об'єктах, зокрема транспорту, які дозволяють вирішувати безліч завдань, пов'язаних з реєстрацією режимів роботи енергосистем, визначенням електричних і часових параметрів, відшукування пошкодження на лініях електропередач, діагностикою електрообладнання та багато інших.

Метод дослідження – системний аналіз метрологічного забезпечення надійної, економічної і якісної роботи електроенергетичних об'єктів завдяки впровадження на великих електроенергетичних об'єктах цифрових електровимірювальних реєструючих приладів синхронізованих вимірів.

Нормативною основою метрологічного забезпечення є Державні стандарти та інші документи Державної системи забезпечення єдності вимірювань, відповідні нормативні документи Держстандарту України, методичні вказівки та рекомендації.

Технічну основу складає система державних еталонів і зразкових засобів вимірювань, яка забезпечує їх відтворення з найвищою точністю; система робочих еталонів і зразкових засобів вимірювань, за допомогою яких здійснюється передача розмірів одиниць фізичних величин робочим засобам вимірювань. А також система стандартних зразків складу та властивостей речовин і матеріалів, що забезпечує відтворення одиниць, склад і властивостей речовин і матеріалів. Метою метрологічного забезпечення є покращення якості, підвищення ефективності виробництва, використання матеріальних цінностей та енергетичних ресурсів, а також наукових досліджень.

Найбільш ефективний спосіб підвищення надійності, економічності та безпеки роботи електроенергетичного обладнання – це використання методів і засобів технічного діагностування. Завдяки застосуванню систем моніторингу контролю та діагностики електричних параметрів електроенергетичних об'єктів залізниць, мінімізується як час відновлення електропостачання (з цим пов'язано відновлення руху поїздів), так і відповідні економічні збитки, обумовлені аварійним

знеструмленням, а також скорочуються витрати пов'язані з оперативним виконанням ремонтних робіт по усуненню наслідків пошкоджень.

Характеристики цифрових реєстраторів та системи моніторингу, які пропонуються на ринку електроенергетичних систем провідними виробниками регламентуються міжнародними стандартами. Проведені порівняння точності вимірювань різних пристроїв реєстрації параметрів режимів демонструють схожі показники та підтверджують можливість застосування системи моніторингу режимних параметрів в задачах оцінювання стану енергетичних систем.

Результати дослідження можуть бути використані в технологічних процесах в проектах інфраструктури транспорту при застосування цифрових пристроїв, як засобу вимірювання для контролю параметрів і моніторингу електричних мереж як в Україні, так і за її межами.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МЕТРОЛОГІЯ, АНАЛІЗ, СТАНДАРТ, ІНФОРМАЦІЯ, ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА СИСТЕМА, ПРОЕКТ, УПРАВЛІННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

ABSTRACT

Melnichenko A.I., Kulbovskiy I.I., Holub H.M., Kharuta V.L. Aspects of metrological support of technological processes of information-measuring systems in projects of transport infrastructure. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article deals with the main methodological aspects of the metrological provision of information and measurement systems in transport infrastructure projects.

The object of study is the means of information-measuring systems of electric power objects of transport of Ukraine.

The purpose of the work is to study the metrological provision of information and measurement systems at electric power facilities, in particular transport, which allow to solve many problems related to registration of operating modes of power systems, determination of electrical and time parameters, finding damage on power lines, diagnostics of electrical equipment and others.

The research method is a systematic analysis of the metrological assurance of reliable, economical and high-quality operation of electric power objects due to the introduction of synchronized measurements on large electric power objects at large electric power objects.

The regulatory framework for metrological support is the State Standards and other documents of the State System for Ensuring Unity of Measurements, the relevant normative documents of the State Standard of Ukraine, methodical instructions and recommendations.

The technical basis is the system of state standards and standard measuring instruments, which ensures their reproduction with the highest accuracy; a system of working standards and exemplary measuring instruments by means of which the sizes of units of physical quantities are transferred to the working measuring instruments. As well as a system of standard samples of the composition and properties of substances and materials, which ensures the reproduction of units, composition and properties of substances and materials. The purpose of metrological support is to improve quality, increase production efficiency, use of material values and energy resources, as well as scientific research.

The most effective way to improve the reliability, economy and safety of power equipment is to use methods and techniques for technical diagnostics. Due to the use of monitoring systems for monitoring and diagnostics of the electrical parameters of the electric power objects of the railways, both the renewal time of the power supply (associated with the restoration of train traffic) and the corresponding economic losses caused by emergency shutdown are minimized, as well as the costs associated with the operational repair works to eliminate the effects of damage.

The characteristics of digital registrars and monitoring systems offered by the leading manufacturers in the electricity market are regulated by international standards. The made comparisons of the accuracy of measurements of different devices for recording the parameters of the modes show similar indicators and confirm the possibility of using the system of monitoring the mode parameters in the problems of estimating the state of power systems.

The results of the study can be used in technological processes in transport infrastructure projects when using digital devices as a measurement tool for parameter control and monitoring of electric networks both in Ukraine and abroad.

KEYWORDS: METROLOGY, ANALYSIS, STANDARD, INFORMATION, INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM, PROJECT, MANAGEMENT, TECHNOLOGICAL PROCESS.

РЕФЕРАТ

Мельниченко А.И. Аспекты метрологического обеспечения технологических процессов информационно-измерительных систем в проектах инфраструктуры транспорта / А.И. Мельниченко, И.И. Кульбовський, Г.М. Голуб, В.Л. Харута // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2020 – Вып. 1 (46).

В статье рассмотрены основные методологические аспекты метрологического обеспечения средств информационно-измерительных систем в проектах инфраструктуры транспорта.

Объект исследования – средства информационно-измерительных систем электроэнергетических объектов транспорта Украины.

Цель работы – исследование метрологического обеспечения средств информационно-измерительных систем на электроэнергетических объектах, в частности транспорта, которые позволяют решать множество задач, связанных с регистрацией режимов работы энергосистем, определением электрических и временных параметров, отыскания повреждения на линиях электропередач, диагностикой электрооборудования и много других.

Метод исследования – системный анализ метрологического обеспечения надежной, экономичной и качественной работы электроэнергетических объектов благодаря внедрению на крупных электроэнергетических объектах цифровых электроизмерительных регистрирующих приборов синхронизированных измерений.

Нормативной основой метрологического обеспечения является Государственные стандарты и другие документы Государственной системы обеспечения единства измерений, соответствующие нормативные документы Госстандарта Украины, методические указания и рекомендации.

Техническую основу составляет система государственных эталонов и образцовых средств измерений, которая обеспечивает их воспроизведения с высочайшей точностью; система рабочих эталонов и образцовых средств измерений, с помощью которых осуществляется передача размеров единиц физических величин рабочим средствам измерений. А также система стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов, обеспечивает воспроизведение единиц, состав и свойств веществ и материалов. Целью метрологического обеспечения является улучшение качества, повышение эффективности производства, использования материальных ценностей и энергетических ресурсов, а также научных исследований.

Наиболее эффективный способ повышения надежности, экономичности и безопасности работы электроэнергетического оборудования - это использование методов и средств технического диагностирования. Благодаря применению систем мониторинга контроля и диагностики электрических параметров электроэнергетических объектов железных дорог, минимизируется как время восстановления электроснабжения (с этим связано восстановление движения поездов), так и соответствующие экономические убытки, обусловленные аварийным обесточиванием, а также сокращаются затраты связанные с оперативным выполнением ремонтных работ по устранению последствий повреждений.

Характеристики цифровых регистраторов и системы мониторинга, которые предлагаются на рынке электроэнергетических систем ведущими производителями регламентируются международными стандартами. Проведенные сравнения точности измерений различных устройства регистрации параметров режимов демонстрируют схожие показатели и подтверждают возможность применения системы мониторинга режимных параметров в задачах оценки состояния энергетических систем.

Результаты исследования могут быть использованы в технологических процессах в проектах инфраструктуры транспорта при применении цифровых устройств, как средства измерения для контроля параметров и мониторинга электрических сетей как в Украине, так и за ее пределами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МЕТРОЛОГИЯ, АНАЛИЗ, СТАНДАРТ, ИНФОРМАЦИЯ, ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ, ПРОЕКТ, УПРАВЛЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС.

АВТОРИ:

Мельниченко О.І., кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри “Виробництво, ремонт та матеріалознавство”, e-mail: melnichenko@ntu.edu.ua, тел. +380506562446, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, orcid.org/0000-0001-9694-9824

Кульбовський І.І., кандидат технічних наук, доцент, Державний університет інфраструктури та технологій, доцент кафедри «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології транспорту», e-

mail: kulbovskiy@ukr.net, тел. +38(050)832-21-81, Україна, 04071, м. Київ, вул. Кирилівська, 9, 0000-0002-5329-3842

Голуб Г.М., кандидат технічних наук, доцент, Державний університет інфраструктури та технологій, доцент кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології транспорту», e-mail: golub.galina@ukr.net, тел. +38(097)822-76-13, Україна, 04071, м. Київ, вул. Кирилівська, 9, orcid.org/0000-0002-4028-1025

Харута В.Л. Коледж інформаційних технологій та землепорядкування Національного авіаційного університету, e-mail: kharuta_val84@ukr.net, тел.: +38 (097) 465-68-89, Україна, 02000, м. Київ, вул. Дружківська 6, orcid.org/0000-0003-2462-8604

AUTHOR:

Melnichenko Olexander I., Candidate of Science in Engineering, professor, National Transport University, the head of the department «Manufacturing, Repair and Materials Engineering», e-mail: melnichenko@ntu.edu.ua, tel. +380506562446, Ukraine, 01010, Kyiv, Omeljanovicha-Pavlenka str. 1, orcid.org/0000-0001-9694-9824

Kulbovskiy Ivan I., PhD, associate professor, State University Of Infrastructure And Technologies, associate professor of the department «Automation and computer-integrated technologies of transport», e-mail: kulbovskiy@ukr.net, tel. +38 (050) 832-21-81, Ukraine, 04071, Kyiv, str. Kyrylivska, 9, 0000-0002-5329-3842

Holub Halyna M., PhD, associate professor, State University Of Infrastructure And Technologies, associate professor of the department «Automation and computer-integrated technologies of transport», e-mail: golub.galina@ukr.net, tel. +38 (097) 822-76-13, Ukraine, 04071, Kyiv, str. Kyrylivska, 9, orcid.org/0000-0002-4028-1025

Kharuta Valentina L., College of Information Technology and Land Management, National Aviation University, e-mail: kharuta_val84@ukr.net, tel: +38 (097) 465-68-89, Ukraine, 02000, Kyiv, str. Druzhkovskaya 6, orcid.org/0000-0003-2462-8604

АВТОРЫ:

Мельниченко А.И., кандидат технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, заведующий кафедрой «Производство, ремонт и материаловедение, e-mail: melnichenko@ntu.edu.ua, тел. +380506562446, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омелянович-Павленко, 1, orcid.org/0000-0001-9694-9824

Кульбовський І.І., кандидат технических наук, доцент, Государственный университет инфраструктуры и технологий, доцент кафедры «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии транспорта», e-mail: kulbovskiy@ukr.net, тел. +38 (050) 832-21-81, Украина, 04071, г. Киев, ул. Кирилловская, 9, 0000-0002-5329-3842

Голуб Г.М., кандидат технических наук, доцент, Государственный университет инфраструктуры и технологий, доцент кафедры «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии транспорта», e-mail: golub.galina@ukr.net, тел. +38 (097) 822-76-13, Украина, 04071, г. Киев, ул. Кирилловская, 9, orcid.org/0000-0002-4028-1025

Харута В.Л. Колледж информационных технологий и землеустройства Национального авиационного университета, e-mail: kharuta_val84@ukr.net, тел.: +38 (097) 465-68-89, Украина, 02000, г. Киев, ул. Дружковская 6, orcid.org/0000-0003-2462-8604.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Прокудин Г.С., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Міжнародних перевезень та митного контролю” Національного транспортного університету, Київ, Україна.

Стасюк О.І., доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, Київ, Україна.

REVIEWER:

Prokudin G.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department for International Transportation and Customs Control, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Stasiuk O.I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automation and Computer Integrated Transport Technologies, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine.

ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ РОЗТАШУВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ЦЕМЕНТОБЕТОННЕ ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Онищенко А.М., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, artur_onish@bigmir.net, orcid.org/0000-0002-1040-4530

Худолій С.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, s_hoodoliy@i.ua, orcid.org/0000-0001-6054-6708

Чиженко Н.П., Національний транспортний університет, Київ, Україна, chyzhenko_np@ukr.net, orcid.org/0000-0002-9152-2474

NUMERICAL MODELLING OF INFLUENCE THE LOCATION OF THE TRANSPORT LOAD ON THE CEMENT-CONCRETE COVERING OF ROADS

Onyshchenko A.M., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, professor, e-mail: artur_onish@bigmir.net, orcid.org/0000-0002-1040-4530

Khudolii S.N., Ph D, National Transport University, Kyiv, Ukraine, s_hoodoliy@i.ua, orcid.org/0000-0001-6054-6708

Chyzhenko N.P., National Transport University, Kyiv, Ukraine, chyzhenko_np@ukr.net, orcid.org/0000-0002-9152-2474

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ НАГРУЗКИ НА ЦЕМЕНТОБЕТОННОЕ ПОКРЫТИЕ АВТОМОБильНЫХ ДОРОГ

Онищенко А.Н., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, artur_onish@bigmir.net, orcid.org/0000-0002-1040-4530

Худолій С.Н., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, s_hoodoliy@i.ua, orcid.org/0000-0001-6054-6708

Чиженко Н.П., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, chyzhenko_np@ukr.net, orcid.org/0000-0002-9152-2474

Вступ. В останні роки в усьому світі на автомобільних дорогах спостерігається тенденція збільшення інтенсивності руху транспортних засобів і зростання частки великовантажних автомобілів та багатовісних автопоїздів з підвищеним тиском в пневматиках. Це викликає передчасні руйнування і недопустимі деформації на дорогах, швидкий вихід їх із ладу, суттєве підвищення собівартості перевезень. Вимушені і незаплановані ремонти призводять до погіршення умов проїзду та безпеки руху, утворенню заторів, значного зменшення фактичної пропускної здатності доріг, зменшенню продуктивності роботи автотранспорту. Все це веде до значної втрати матеріальних і фінансових ресурсів та суттєвого погіршення соціального забезпечення населення. У розвинутих країнах світу постійно піклуються про підвищення довговічності дорожнього покриття, удосконалюють методи його розрахунку, здійснюють натурні обстеження та моніторинг його стану, застосовують новітні матеріали та технології. Частковим рішенням цієї проблеми може стати використання цементобетону для покриття автомобільних доріг.

Лідером за кількістю цементобетонних доріг є США, де вони складають близько 60% від загальної протяжності. У Німеччині 38%, а в Австрії 50 % доріг влаштовані із цементобетону. В Чеській Республіці в останні 15 років близько 65 % нових доріг були збудовані з цементобетонним покриттям. У Бельгії, цементобетонні шосе складають 40 %.

Область раціонального використання цементобетонних покриттів: згідно п.4.3.4. ДБН В.2.3 – 4:2015 у випадку, коли очікувана інтенсивність великовантажних транспортних засобів більше 15% від загального потоку, то проектується лише жорсткий дорожній одяг, також раціональним використанням є під'їзди до морських портів, митниці, стоянки великовагових транспортних засобів, логістичні центри, об'їзні дороги крупних населених пунктів, дороги промислових підприємств, маршрути руху контейнерів та зерновозів.

Постановка проблеми. Багаторічні спостереження за експлуатацією цементобетонних покриттів, а також аналіз зарубіжного досвіду дозволяє об'єктивно оцінити недоліки покриттів даного типу, головними з яких є тріщиноутворення в результаті дії: усадки, коливання температури добової та річної, перемінного заморожування – відтавання води в порах і ушкоджених місцях,

динамічного навантаження від коліс транспортних засобів, руйнування кромek деформаційних швів цементобетонного покриття та його здиблення.

Як відомо, умови роботи цементобетонного покриття в різних його зонах (в центрі плити, по краях, торцях, кутах плити, полосі накату тощо) значно різняться. Це спричиняє можливість накопичення залишкових деформацій основи та часткового порушення контакту із основою, особливо це проявляється по краях та в зонах поперечних швів. Неоднорідність цементобетону, згідно із даними американських дорожників, є головною причиною утворення різних дефектів у вигляді тріщин. Дані Техаського університету по міцності цементобетону свідчать про значний розкид показників (міцність цементобетону у кутах плити – 1,34 МПа, в центрі – 1,70 МПа).

Утворення тріщин в цементобетонному покритті порушують цілісність та монолітність дорожньої конструкції, розділяючи її на окремі блоки, не пов'язані між собою, кількість і протяжність утворених тріщин, що утворилися на покритті, майже не впливають на рух автомобілів до тих пір, поки не утворилися вибоїни та викришування, що призводить до погіршення рівності покриття, зниження рівня безпеки руху та створення аварійно – небезпечних ситуацій (рис. 1).



Рисунок 1 – Пошкодження поверхні покриття автомобільної дороги після 25 років експлуатації

Figure 1 – Damage to the surface of the vehicle road after 25 years

Як наслідок, збільшуються витрати на утримання та ремонт цементобетонного покриття автомобільних доріг, які зазнають передчасних руйнувань. У зв'язку з цим досить актуальною є проблема розробки більш точних математичних моделей деформування дорожніх одягів жорсткого типу в залежності від різного варіанту розташування навантаження та конструктивних особливостей плити.

Мета роботи. Мета роботи полягає в проведенні моделювання методом скінченних елементів напружено – деформованого стану цементобетонного покриття автомобільних доріг в залежності від різного варіанту розташування навантаження та конструктивних особливостей плити.

Об'єктом дослідження є цементобетонне покриття автомобільних доріг.

Основна частина. Враховуючи те, що на цементобетонне покриття автомобільної дороги діє складне просторове навантаження, тому доцільно використати числовий метод визначення напружено-деформованого стану покриття, що базується на розв'язанні рівнянь теорії пружності – методу скінченних елементів як найбільш універсального і ефективного. Його особливістю є безпосередній перехід від континуального об'єкту до дискретного аналізу шляхом ділення області об'єкту, який досліджується на ряд під-областей та апроксимації полів переміщень, зусиль, напружень, наприклад, з використанням інженерно-розрахункового комплексу.

Тому розглянемо чотиришарову конструкцію жорсткого дорожнього одягу, що складається з цементобетонної плити, трьох шарів, які влаштовані на ґрунтовій основі (табл. 1).

Розмір плит вздовж напрямку руху транспорту складає 5 м та в поперечному напрямку 3 м. Між плитами влаштовані шви розширення, шви стиснення та повздовжні шви (рис. 2). Прийнемо припущення, що шви влаштовані на всю товщину плити та не укріплені штирями. Товщини та механічні властивості шарів основи та цементобетонної плити наведено в таблиці 1. В чисельних розрахунках товщина бетонної плити h_1 варіювалася від 18 см до 26 см з кроком 2 см.

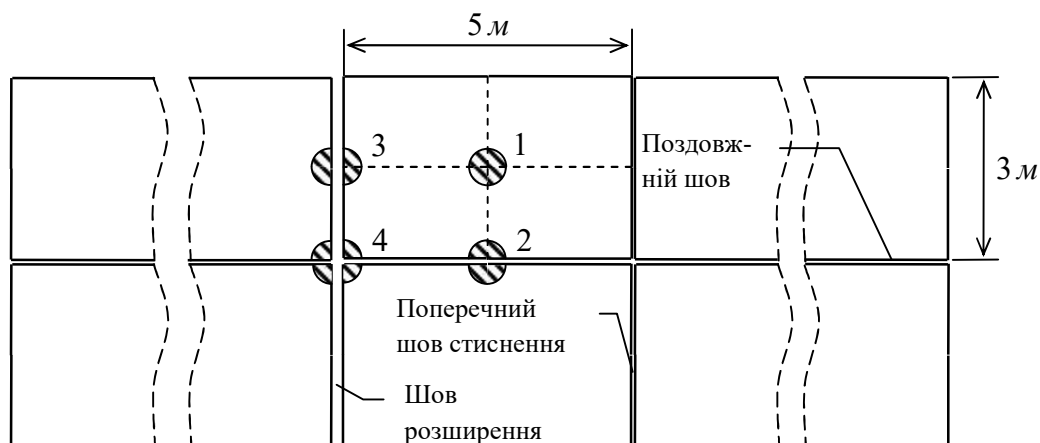


Рисунок 2 – Геометрична схема цементобетонного покриття
Figure 2 – The geometric scheme of cement-concrete covering

Таблиця 1 – Механічні властивості та товщини шарів конструкції жорсткого дорожнього одягу
Table 1 – Mechanical properties and thickness layers of hard road clothing

№	шар	h_i , см	Модуль пружності (Мпа)	Коефіцієнт Пуасона	Щільність кг/м^3
1	Важкий бетон класу В35П1F200W8	18 -26	30000	0,18	2350
2	Щебенево-піщана суміш С7	17,5	400	0,3	2000
3	Щебенево-піщана суміш С5	15	320	0,3	2000
4	Пісок середньої крупності	10	120	0,28	2000
5	Існуюче земляне полотно (супісок пілуватий)	80	48	0,3	2000

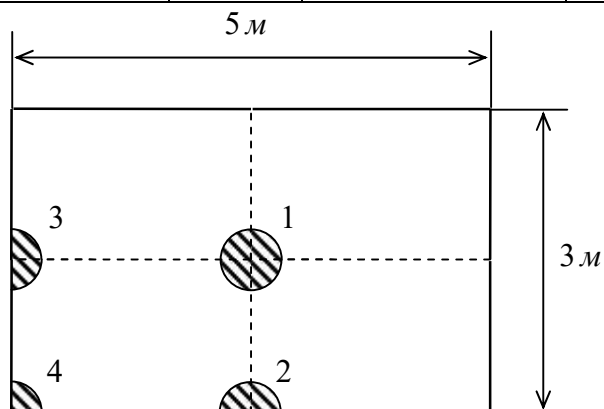


Рисунок 3 – Варіанти розташування транспортного навантаження на цементобетонній плиті
Figure 3 – Variants of transport load on cement concrete plate

Виділимо для розгляду одну плиту (рис. 3). Вважаємо, що транспортне навантаження на конструкцію – це тиск p , що передається від гумового колеса транспортного засобу на круглий відбиток діаметру D . В розрахунках приймалося що $p = 1,0$ МПа, $D = 34,5$ см. Крім транспортного навантаження на конструкцію діє гравітаційне навантаження від її власної ваги в вертикальному напрямку (вздовж осі Oz (рис. 6)).

Розглянемо чотири варіанти розташування транспортного навантаження (рис. 3, 5):

Варіант №1 – відбиток колеса знаходиться в центрі бетонної плити;

Варіант №2 – відбиток колеса знаходиться посередині повздовжнього шва;

Варіант №3 – відбиток колеса знаходиться посередині поперечного шва;

Варіант №4 – відбиток колеса знаходиться в куті плити на перетині повздовжнього та поперечного швів.

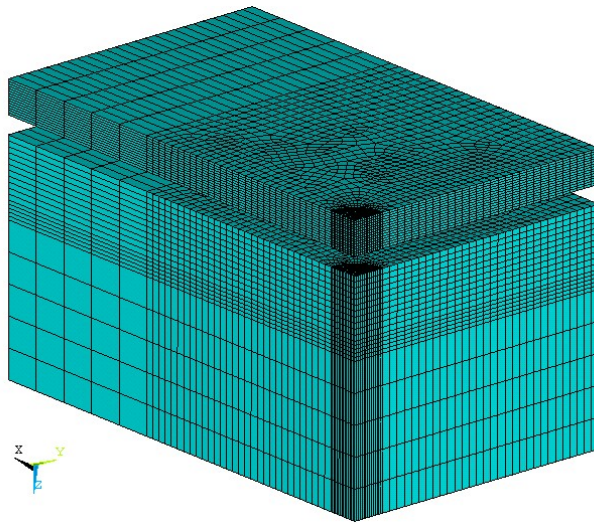


Рисунок 4 – Скінченно-елементна модель виділеного фрагменту конструкції жорсткого дорожнього одягу
Figure 4 – Finite element model of selected slice construction of hard road clothes

Розглянемо скінченно-елементну модель даної конструкції. Осі Ox та Oy розташовані в горизонтальній площині (верхня грань бетонної плити), початок координат знаходиться в центрі кругового відбитку колеса, вісь Oz направлена вертикально вниз. Між плитою та основою влаштовано контакт з коефіцієнтом тертя 0,5.

На найнижчу грань багатшарової основи що знаходиться в площині $z = \sum h_i$ накладено умову заборони переміщень. На вертикальні грані багатшарової основи накладено умови заборони преміщень у перпендикулярному до них напрямку [3]. На найвищу горизонтальну грань основи та на нижню горизонтальну грань плити накладено умови контакту. Всі інші грані цементобетонної плити вільні від обмежень.

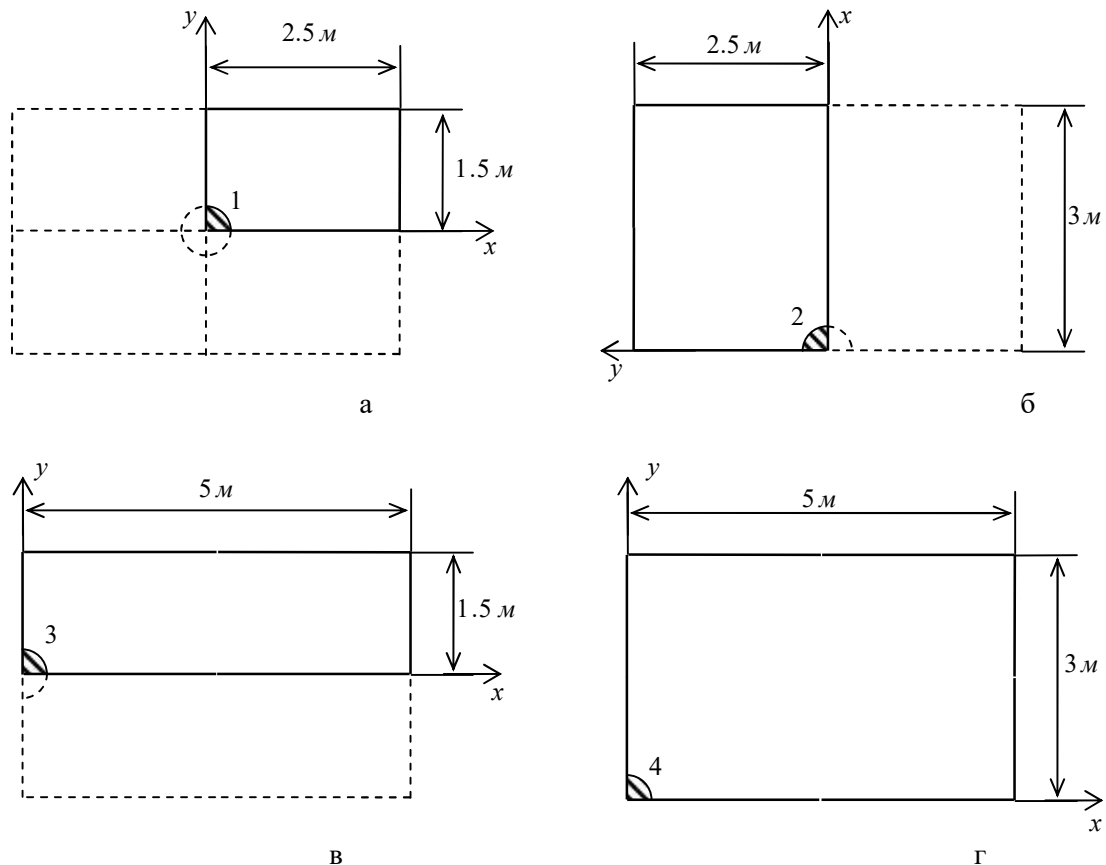


Рисунок 5 – Розрахункові схеми конструкції для різних варіантів транспортного навантаження
Figure 5 – Calculated design schemes for various options of transport load

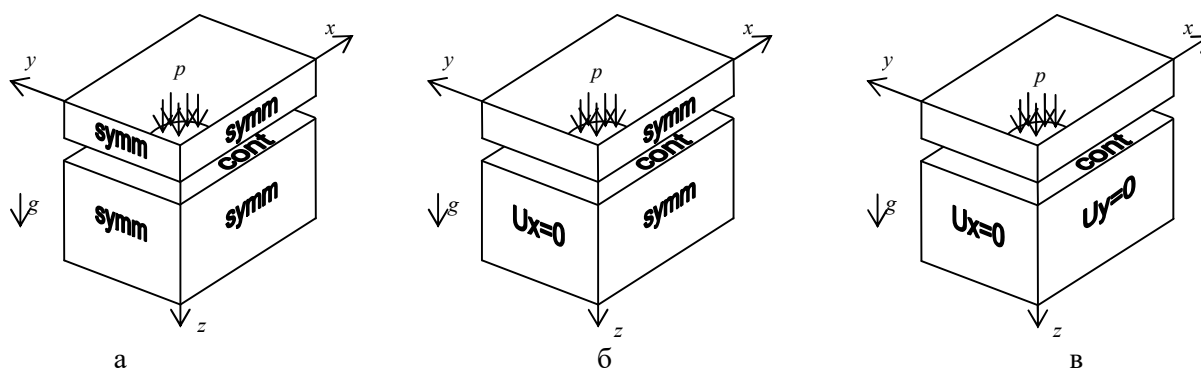


Рисунок 6 – Варіанти граничних умов
Figure 6 – Variants of limiting conditions

Оскільки для варіанту транспортного навантаження № 1 має місце повздовжня та поперечна симетрії, то є можливість розгляду чверті конструкції (рис. 6, а), яку отримуємо в результаті відтинання частини від цілої конструкції площинами симетрії $x = 0$ та $y = 0$ з накладанням додаткових граничних умов симетрії на вказані площини симетрії (рис. 6, а).

Для варіанту транспортного навантаження № 2 має місце поперечна симетрія, тому можна розглянути половину конструкції (рис. 6, б), яку отримуємо в результаті відтинання від цілої конструкції половини площиною симетрії з накладанням додаткової граничної умови симетрії на вказану площину симетрії (рис. 6, б).

Варіант транспортного навантаження № 3 має повздовжню симетрію, тому розглядається половина конструкції (рис. 6, в) яку отримуємо відтинанням від цілої конструкції половини площиною симетрії з накладанням додаткової граничної умови симетрії на вказану площину (рис. 6, б).

Варіант транспортного навантаження № 4 не має симетрії, тому розглядається повна конструкція (рис. 6, г). Граничні умови для цього варіанту зображені на рис. 6, в.

Слід зауважити, що геометрична модель конструкції є параметричною, тобто такою, що будується за певним алгоритмом, в якому приймається, що вісь Ox направлена вздовж найбільшого розміру плити або частини плити, що розглядається. Отже, напрямки Ox для варіантів транспортного навантаження № 1, 3, 4 та варіанту № 2 перпендикулярні. В табл. 2 наведено максимальні та мінімальні значення складових переміщень вузлів скінченоелементної моделі конструкції в залежності від товщини плити і варіантів розташування навантаження. В табл. 3 максимальні значення складових тензора напружень та максимальні еквівалентні напруження за Мізесом в елементах скінченно-елементної моделі конструкції цементобетонного покриття в залежності від товщини плити і варіантів розташування навантаження. На основі проведеного числового моделювання наведено поля повних переміщень вузлів моделі для різних варіантів розміщення транспортного навантаження (рис. 7), зони розтягуючих напружень σ_x та σ_y (рис. 8) та характер розподілу еквівалентних напружень за Мізесом в елементах моделі для різних варіантів розміщення транспортного навантаження (рис. 9).

Таблиця 2 – Максимальні та мінімальні значення складових переміщень вузлів скінченоелементної моделі конструкції

Table 2 – Maximal and minimum values of components of displacements nodes of finite element design model

Варіант транспортного навантаження	Товщина бетонної плити, см	Переміщення вузлів моделі конструкції				
		u_x , мм		u_y , мм		u_z , мм
		min	max	min	max	max
№1	18	-0,0191	0,0513	-0,017	0,0354	0,687
	20	-0,0176	0,0459	-0,015	0,0294	0,66
	22	-0,0164	0,0415	-0,0132	0,0245	0,64
	24	-0,0154	0,0378	-0,0117	0,0205	0,624
	26	-0,0145	0,0345	-0,0105	0,0173	0,613

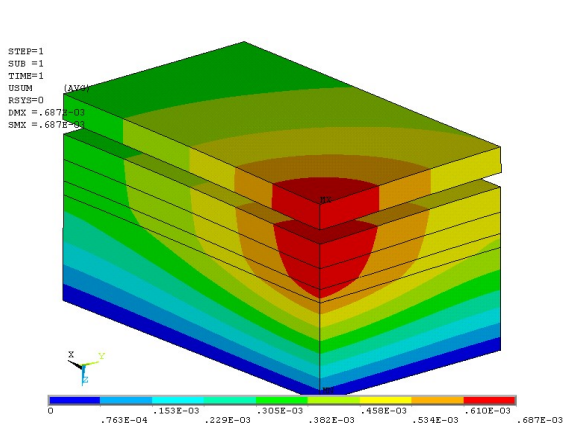
Варіант транспортного навантаження	Товщина бетонної плити, см	Переміщення вузлів моделі конструкції				
		u _x , мм		u _y , мм		u _z , мм
		min	max	min	max	max
№2	18	-0,0613	0,0626	-0,0237	0,0549	0,835
	20	-0,0595	0,0556	-0,0214	0,0481	0,794
	22	-0,058	0,0498	-0,0196	0,0424	0,763
	24	-0,0565	0,0454	-0,018	0,0375	0,739
	26	-0,0555	0,0421	-0,0166	0,0334	0,72
№3	18	-0,0621	0,0688	-0,0224	0,0428	0,861
	20	-0,0599	0,0624	-0,0199	0,0356	0,823
	22	-0,0574	0,0573	-0,0177	0,03	0,795
	24	-0,0557	0,0528	-0,0158	0,0253	0,772
	26	-0,0541	0,0493	-0,0143	0,0216	0,754
№4	18	-0,0446	0,0724	-0,0584	0,0692	0,978
	20	-0,0419	0,0647	-0,0567	0,0611	0,923
	22	-0,0395	0,058	-0,055	0,0542	0,878
	24	-0,0373	0,0524	-0,0533	0,0483	0,841
	26	-0,0355	0,0476	-0,0517	0,436	0,811

Таблиця 3 – Максимальні значення складових тензора напружень та максимальні еквівалентні напруження за Мізесом в елементах скінченно-елементної моделі конструкції цементобетонного покриття

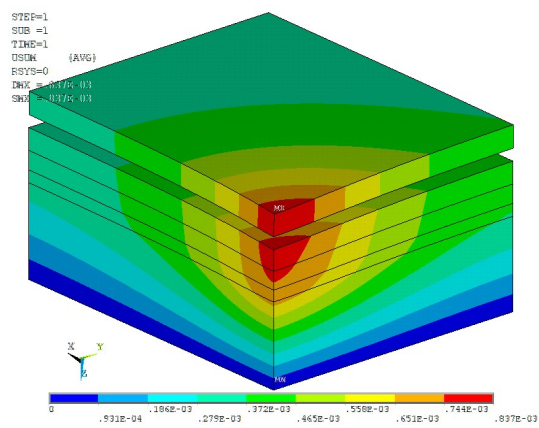
Table 3 – Maximum values of stress tensor components and maximum voltage equivalent by Mises elements in finite element design model of cement concrete covering

Варіант транспортного навантаження	Товщина бетонної плити, см	Максимальні значення складових тензора напружень в елементах скінченно-елементної моделі									Еквівалентні напруження за Мізесом
		σ _x , МПа		σ _y , МПа		σ _z , МПа		τ _{xy} , МПа	τ _{yz} , МПа	τ _{xz} , МПа	σ _{Miz} , МПа
		стиск.	розтяг.	стиск.	розтяг.	стиск.	розтяг.	max	max	max	
№1	18	-3,19	2,94	-3,08	2,85	-1,04	0,0739	0,451	0,578	0,57	2,98
	20	-2,79	2,53	-2,67	2,43	-1,03	0,0644	0,374	0,523	0,516	2,55
	22	-2,48	2,21	-2,35	2,09	-1,02	0,0552	0,334	0,476	0,47	2,21
	24	-2,23	1,94	-2,09	1,81	-1,01	0,0464	0,306	0,436	0,432	1,93
	26	-2,03	1,71	-1,88	1,58	-1,01	0,0379	0,284	0,405	0,401	1,73
№2	18	-0,598	0,645	-3,13	3	-1,05	0,0585	0,78	1,04	0,5	3,05
	20	-0,521	0,562	-2,73	2,57	-1,03	0,0536	0,675	0,908	0,457	2,63
	22	-0,457	0,493	-2,41	2,22	-1,03	0,0507	0,594	0,805	0,424	2,26
	24	-0,407	0,445	-2,16	1,94	-1,01	0,0476	0,531	0,722	0,403	1,97
	26	-0,365	0,432	-1,95	1,7	-1	0,0444	0,481	0,652	0,386	1,8
№3	18	-0,635	0,689	-3,06	2,92	-1,04	0,0727	0,782	1,06	0,426	2,98
	20	-0,562	0,612	-2,65	2,48	-1,03	0,0633	0,678	0,926	0,39	2,53
	22	-0,509	0,554	-2,32	2,13	-1,03	0,0543	0,599	0,819	0,359	2,17
	24	-0,457	0,501	-2,06	1,84	-1	0,0456	0,538	0,731	0,337	1,88
	26	-419	0,459	-1,85	1,6	-1	0,0373	0,489	0,659	0,318	1,63

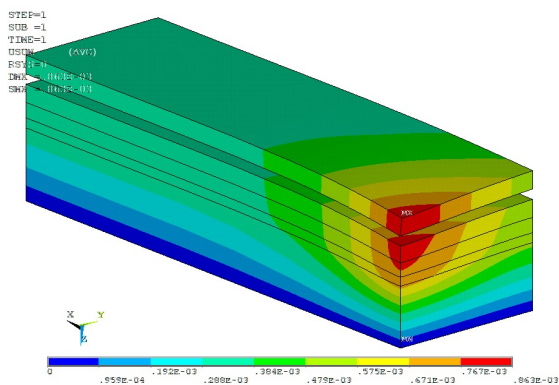
Варіант транспор- тного наванта- ження	Товщина бетонної плити, см	Максимальні значення складових тензора напружень в елементах скінченно- елементної моделі									Еквівалент- ні напружен- ня за Мізом
		σ_x , МПа		σ_y , МПа		σ_z , МПа		τ_{xy} , МПа	τ_{yz} , МПа	τ_{xz} , МПа	
		стиск.	розтяг.	стиск.	розтяг.	стиск.	розтяг.	max	max	max	max
№4	18	-0,716	0,749	-0,729	0,75	-1,05	0,0842	1,05	0,91	0,992	1,83
	20	-0,614	0,646	-0,627	0,648	-1,04	0,0671	0,92	0,794	0,861	1,6
	22	-0,531	0,562	-0,544	0,562	-1,05	0,0609	0,811	0,702	0,76	1,42
	24	-0,463	0,494	-0,473	0,489	-1,06	0,0548	0,725	0,629	0,683	1,32
	26	-0,408	0,437	-0,414	0,427	-1,07	0,0488	0,654	0,571	0,624	1,24



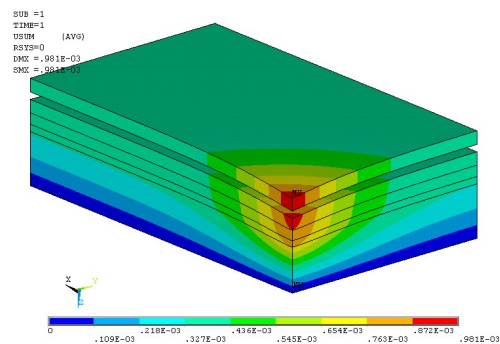
а



б



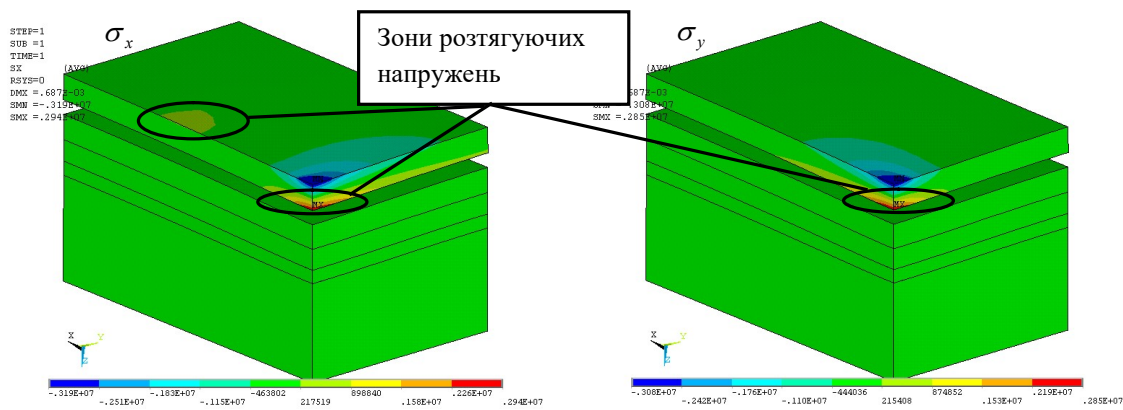
в



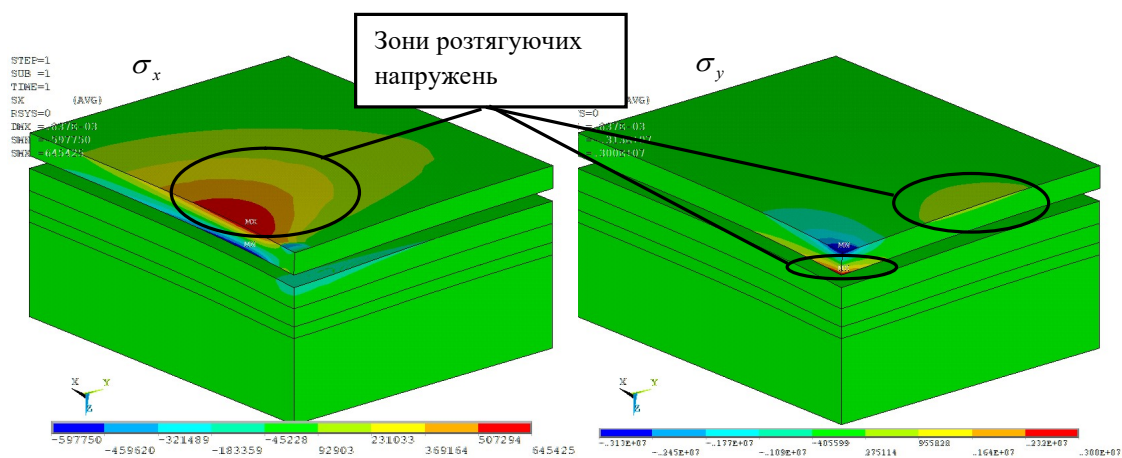
г

Рисунок 7 – Поле повних переміщень вузлів моделі для різних варіантів розміщення транспортного навантаження (Варіант №1 (а), варіант № 2 (б), варіант №3 (в), варіант № 4 (г))

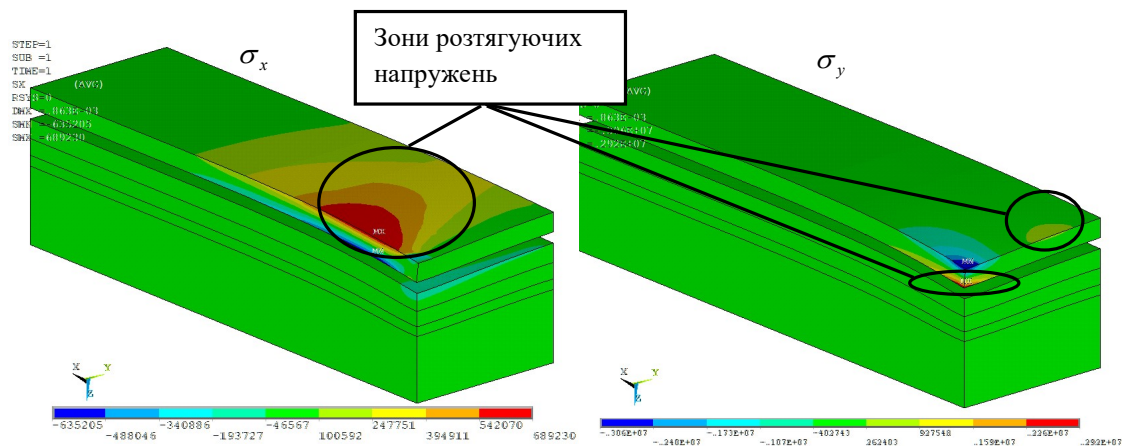
Figure 7 – The field of the complete displacements nodes model for various variants of placing the transport load (Variant 1 (a), Variant 2 (b), Variant 3 (v), Variant 4 (g))



а



б



в

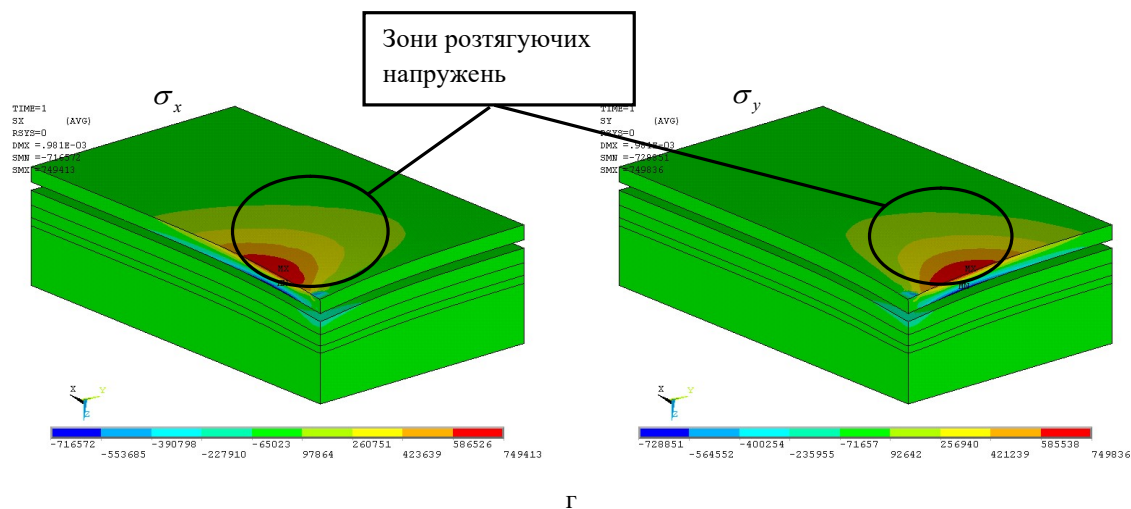


Рисунок 8 – Зони розтягуючих напружень σ_x та σ_y в елементах моделі для різних варіантів розміщення транспортного навантаження (Варіант №1 (а), варіант №2 (б), варіант №3 (в), варіант №4 (г))

Figure 8 – Zones of tensile stress σ_x and σ_y in model elements for various location transport load variants (Variant 1 (a), Variant 2 (b), Variant 3 (v), Variant 4 (g))

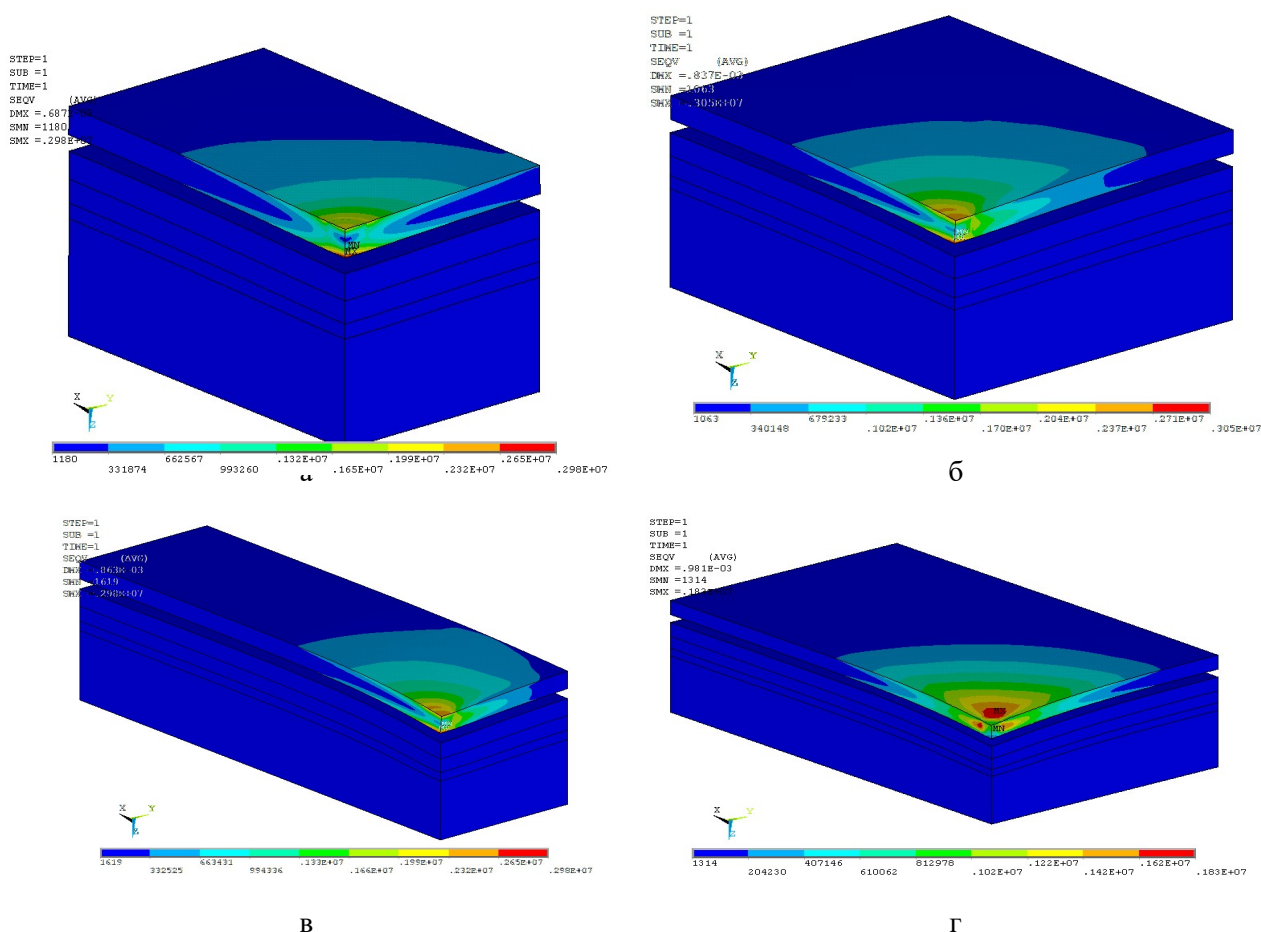


Рисунок 9 – Характер розподілу еквівалентних напружень за Мізесом в елементах моделі для різних варіантів розміщення транспортного навантаження (Варіант №1 (а), варіант №2 (б), варіант №3 (в), варіант №4 (г))

Figure 9 – The nature of the distribution of equivalent stresses by Mises in model elements for different transport load variants (Variant 1 (a), Variant 2 (b), Variant 3 (a), Variant 4 (g))

В табл. 4 наведено максимальні та мінімальні значення складових переміщень вузлів скінченно-елементної моделі конструкції для варіанту транспортного навантаження, коли відбиток колеса знаходиться в центрі цементобетонної плити при різних значеннях модуля пружності та товщинах цементобетонної плити.

Таблиця 4 – Максимальні та мінімальні значення складових переміщень вузлів скінченно-елементної моделі конструкції для варіанту транспортного навантаження № 1 при різних значеннях модуля пружності та товщини цементобетонної плити

Table 4 – Maximal and minimum values of components of displacements nodes of finite element model of design for variant of transport load No 1 at different values of elasticity module and thickness of cement concrete slab

Модуль пружності цементобетонної плити (МПа)	Товщина бетонної плити, см	Переміщення вузлів моделі конструкції				
		u_x , мм		u_y , мм		u_z , мм
		min	max	min	max	max
25000	18	-0,0213	0,0546	-0,0192	0,0394	0,709
	22	-0,0182	0,0443	-0,0151	0,0276	0,658
	26	-0,016	0,0371	-0,0121	0,0198	0,628
30000	18	-0,0191	0,0513	-0,017	0,0354	0,687
	22	-0,0164	0,0415	-0,0132	0,0245	0,64
	26	-0,0145	0,0345	-0,0105	0,0173	0,613
35000	18	-0,0175	0,0485	-0,0152	0,0324	0,669
	22	-0,015	0,0392	-0,0118	0,022	0,625
	26	-0,0133	0,0325	-0,0092	0,0154	0,601
40000	18	-0,0162	0,0462	-0,0138	0,0299	0,654
	22	-0,0139	0,0374	-0,0106	0,0201	0,613
	26	-0,0124	0,0308	-0,0082	0,0139	0,591

В табл. 5 наведено значення складових тензора напружень та максимальні еквівалентні напруження за Мізесом в елементах скінченно-елементної моделі конструкції цементобетонного покриття для варіанту транспортного навантаження при змінних значеннях модуля пружності та різних товщинах.

Таблиця 5 – Максимальні значення складових тензора напружень та максимальні еквівалентні напруження за Мізесом в елементах скінченно-елементної моделі конструкції цементобетонного покриття для варіанту транспортного навантаження № 1 при різних значеннях модуля пружності та товщини плити

Table 5 – The maximum values of stress tensor components and the maximum voltage equivalent in Mises in the elements of a finite element model of cement concrete coating for the option of transport load No 1 for different values elasticity module and plate thickness

Модуль пружності бетонної плити (МПа)	Товщина бетонної плити, см	Максимальні значення складових тензора напружень в елементах скінченно-елементної моделі									Еквівалентні напруження за Мізесом
		σ_x , МПа		σ_y , МПа		σ_z , МПа		τ_{xy} , МПа	τ_{yz} , МПа	τ_{xz} , МПа	σ_{Mis} , МПа
		стиск.	розтяг.	стиск.	розтяг.	стиск.	розтяг.	max	max	max	
25000	18	-3,07	2,82	-2,99	2,75	-1,04	0,0737	0,444	0,573	0,565	2,87
	22	-2,4	2,12	-2,29	2,03	-1,02	0,0551	0,333	0,473	0,468	2,14
	26	-1,98	1,65	-1,85	1,54	-1,01	0,0378	0,284	0,403	0,4	1,65

Модуль пружності бетонної плити (МПа)	Товщина бетонної плити, см	Максимальні значення складових тензора напружень в елементах скінченно-елементної моделі									Еквівалентні напруження за Мізесом
		σ_x , МПа		σ_{Miz} , МПа		σ_z , МПа		τ_{xy} , МПа	τ_{yz} , МПа	τ_{xz} , МПа	
		стиск.	max	стиск.	max	max	max	max	max	max	max
30000	18	-3,19	2,94	-3,08	2,85	-1,04	0,0739	0,451	0,578	0,57	2,98
	22	-2,48	2,21	-2,35	2,09	-1,02	0,0552	0,334	0,476	0,47	2,21
	26	-2,03	1,71	-1,88	1,58	-1,01	0,0379	0,284	0,405	0,401	1,73
35000	18	-3,28	3,04	-3,16	2,94	-1,04	0,0742	0,457	0,582	0,574	3,06
	22	-2,55	2,28	-2,39	2,15	-1,02	0,0554	0,335	0,478	0,473	2,27
	26	-2,08	1,77	-1,91	1,62	-1,01	0,038	0,285	0,406	0,402	1,74
40000	18	-3,37	3,13	-3,23	3,01	-1,04	0,0743	0,461	0,585	0,577	3,14
	22	-2,61	2,34	-2,43	2,19	-1,02	0,0555	0,336	0,48	0,475	2,32
	26	-2,13	1,81	-1,93	1,64	-1,01	0,0381	0,285	0,407	0,403	1,78

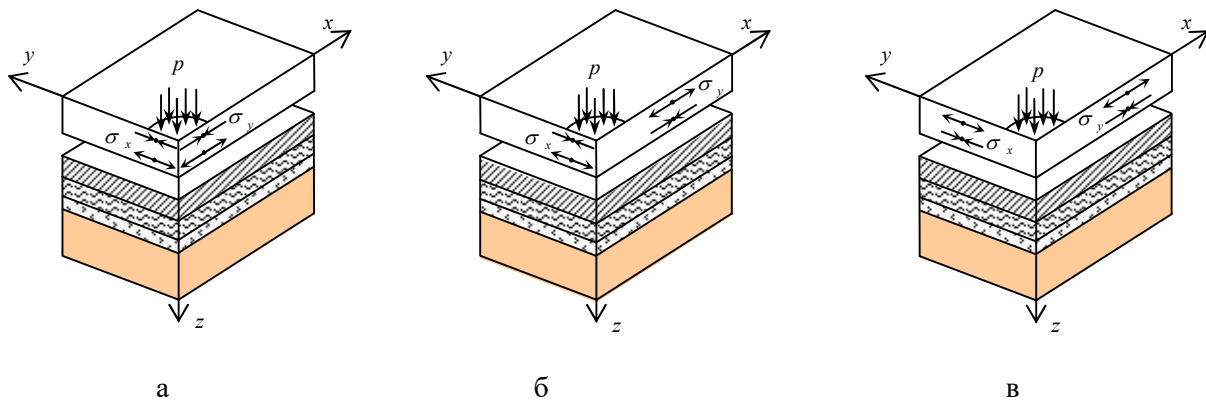


Рисунок 10 – Схема розташування розтягуючих напружень при різних положеннях транспортного навантаження
Figure 10 – The circuit location of tension at different positions of transport load

На рис. 10 зображено схематичне розташування максимальних розтягуючих напружень σ_x та σ_y при різних варіантах транспортного навантаження. При дії варіанту транспортного навантаження № 1 напруження в цементобетонній плиті під штампом розподіляються наступним чином – верхні шари стиснуті, а нижні розтягнуті (рис. 10, а). При дії варіантів № 2 та № 3 характер розподілу напружень в цементобетонній плиті схожий. У верхніх шарах під штампом σ_x стискаючі, а в нижніх – розтягуючі, зовні штамп у верхніх шарах σ_y – розтягуючі, а в нижніх – стискаючі (рис. 10, б). При дії варіанту № 4 максимальні розтягуючі напруження розташовані зовні штамп у верхніх шарах цементобетонної плити (рис. 10, в).

На основі результатів чисельного моделювання отримано аналітичну залежність (1) та номограму для визначення розтягуючих напружень (рис. 11) $\sigma_{cy} = \sigma_{pt}$ при згині, що виникають в цементобетонному покритті автомобільних доріг від дії навантаження:

$$\sigma_{cy} = \frac{p}{p_0} \cdot (a_{cy} \cdot E + 2,2804) \cdot K_M \cdot K_{y_{me}} \cdot K_{шт} \cdot \ln\left(\frac{h \cdot K_t}{D}\right) - (b_{cy} \cdot E + 1,0563), \quad (1)$$

де: p – розрахунковий тиск, що приймається згідно з табл. Б ДБН В.2.3-4, МПа;

E – модуль пружності цементобетону, МПа;

h – товщина цементобетонної плити, см; D – діаметр кола, рівновеликого за площею відбитку колеса, см;

a_{cy}, b_{cy}, p_0 – параметри рівняння ($a_{cy}=0,00003$; $b_{cy}=0,000003$; $p_0=1,0$ МПа).

K_M – коефіцієнт, що враховує вплив місця розташування навантаження: для неармованих покриттів $K_M=1,5$ для покриттів із крайовим армуванням або майданчиків з розташуванням смуг накату не ближче ніж 0,8 м зовнішнього поздовжнього краю покриття – $K_M=1,0$ для поздовжнього напрямку і $K_M=1,5$ для поперечного;

$K_{умв}$ – коефіцієнт, що враховує умови роботи, рівний 0,6;

$K_{шт}$ – коефіцієнт, що враховує вплив штирьових з'єднань на умови контакту плит з основою: при наявності поперечних швах штирів $K_{шт}=1$, при відсутності штирів $K_{шт}=1,05$;

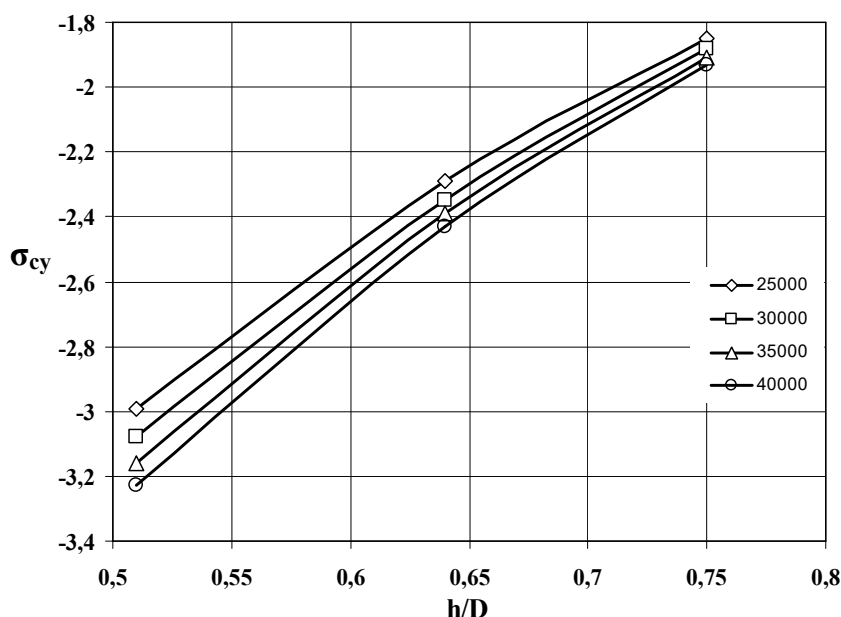


Рисунок 11 – Номограма для визначення розтягуючих напружень σ_{cy} при згині, що виникають в цементобетонному покритті автомобільних доріг від дії навантаження

Figure 11 – Nomogram for determination of stretching stresses of the concrete coating of highways from the action of loading

Оцінку міцності цементобетонного покриття автомобільної дороги пропонується оцінювати з урахуванням отриманої аналітичної залежності (1), яка буде використана для визначення коефіцієнта міцності $K_{мц}$ в залежності від категорій. З урахуванням відомих будівельних норм [3,4], який полягає у порівнянні розрахункової міцності цементобетону на розтяг при згині з максимальним напруженням, що виникає в цементобетонній плиті на пружній основі від дії навантаження і перепаду температур по товщині плити.

Розрахункова міцність цементобетонного покриття дорівнює значенню класу міцності цементобетону на розтяг при згині (B_{tb}) із урахуванням двох емпіричних коефіцієнтів – втоми цементобетону (K_v) і умов набору міцності (K_M). Розрахунок монолітних цементобетонних покриттів проводять шляхом перевірки міцності покриття за формулою [4]:

$$K_{мц} \leq \frac{R_i^p}{\sigma_{cy}}, \quad (2)$$

R_i^p – розрахункова міцність цементобетону на розтяг при згині, МПа;

$\sigma_{cy} = \sigma_{pt}$ – напруження розтягу при згині, що виникають у цементобетонному покритті від дії навантаження, з урахуванням перепаду температури по товщині плити приймається за залежністю (1)

Розрахункову міцність на розтяг при згині цементобетонного покриття з урахуванням коефіцієнту морозостійкості пропонується визначати за формулою [3]:

$$R_i^p = B_{tb} \cdot K_m \cdot K_y \cdot K_{морз}, \quad (3)$$

де K_y – коефіцієнт втоми цементобетону при повторному навантаженні, який визначається за формулою [4];

K_m – коефіцієнт набору міцності [3];

$K_{морз}$ – коефіцієнт морозостійкості.

Коефіцієнт морозостійкості цементобетону визначається за формулою [4]:

$$K_{морз} = \frac{R_p^n}{R_p}, \quad (4)$$

де: R_p^n – середнє значення границі міцності цементобетону на розтяг при згині після відповідної кількості циклів поперемінного заморожування і відтавання у 5 % водяному розчині хлористого натрію згідно ДСТУ Б В.2.7-47 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення морозостійкості. Загальні вимоги.

R_p – середнє значення границі міцності цементобетону на розтяг при згині до впливу відповідної кількості циклів поперемінного заморожування і відтавання у 5 % водяному розчині хлористого натрію.

Границю міцності на розтяг при згині цементобетонних зразків визначають при швидкості навантаження 0,04 МПа/с і обчислюють в МПа за формулою [5]:

$$R_p = \frac{3 \cdot F \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \cdot 10^{-2}, \quad (5)$$

де: F – руйнівне навантаження, Н; l – відстань між опорами, см; b – ширина зразка, см; h – висота зразка, см; 10^{-2} – коефіцієнт перерахунку у МПа.

Висновок. В результаті виконаного числового моделювання напружено – деформованого стану цементобетонного покриття отримано номограму для визначення розтягуючих напружень σ_{cy} при згині, що виникають у цементобетонному покритті автомобільних доріг від дії навантаження.

Уточнена формула (3) з розрахунку міцності на розтяг при згині цементобетону за рахунок введення коефіцієнту морозостійкості (4).

Вперше отримано на основі чисельного моделювання аналітичну залежність для визначення розтягуючих напружень при згині, що виникають в цементобетонному покритті автомобільних доріг від дії навантаження з урахуванням різних розрахункових параметрів, а саме: модуля пружності (E), товщини плити (h), розрахункового тиску (p), діаметру кола, рівновеликого за площею відбитку колеса (D), що дозволяє уточнити загальний вираз умови міцності при розрахунку цементобетонного покриття [4] з урахуванням коефіцієнту морозостійкості. Даний метод дозволяє оцінювати міцність цементобетонного покриття автомобільних доріг різних категорій із заданою надійністю та довговічністю.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Радовский Б. С., Цементобетонные покрытия в США. «Дорожная Техника», 2009, с. 124 – 132.
2. Радовский Б. С., Строительство дорог с цементобетонными покрытиями в США: новые тенденции (Организация и направления исследований в области цементобетонных покрытий). «Дорожная Техника», 2010, с. 62 – 70.
3. Методические рекомендации по проектированию жестких дорожных одежд (взамен ВСН 197-91)/Минтранс России, Гос. служба дор. хоз-ва (Росавтодор).- М.: ФГПУ «Информавтодор», 2004. – 135 с.
4. ГБН В.2.3-37641918-557:2016 Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування.

5. Онищенко А.М. Метод визначення коефіцієнту температурної тріщиностійкості для уточнення розрахунку монолітного цементобетонного покриття автомобільних доріг / А.М. Онищенко, С.П. Возний // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Київ. – 2016 – № 98. С. 179-181

REFERENCES

1. Radovskij, B. S. (2009) Cement concrete in the United States. «Expensive Tehnika», p. 124 –132 [in Ukrainian].
2. Radovskij, B. S. (2010) Cement concrete in the United States: Novoye Tendencii (Organizatsiya and directory on mining in the areas of cement concrete potyatnyh). «Expensive Tehnika», p. 62 – 70 [in Ukrainian].
3. Guidelines for the design of hard road pavement (instead of VSN 197 – 91) / Ministry of Transport of Russia, State service dor. households (Rosavtodor) .- M.: FGPU "Informavtodor", 2004, 135 p. [in Russia].
4. GBN V. 2.3-37641918-557:2016 Motorways. Hard road clothes. Design [in Ukrainian].
5. Onyshchenko A. M. (2016) Method of determination of coefficient of temperature trishnostyikosti to clarify calculation of monolithic cement-concrete covering of motor roads // Highways and road construction. -no 98, p. 179 – 181 [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Онищенко А.М. Числове моделювання впливу розташування транспортного навантаження на цементобетонне покриття автомобільних доріг / А.М. Онищенко, С.М. Худолій, Н.П. Чиженко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

Стаття присвячена проблемі розробки більш точних математичних моделей деформування дорожніх одягів жорсткого типу в залежності від різного варіанту розташування навантаження та конструктивних особливостей плити.

Мета роботи – проведення моделювання методом скінчених елементів напружено-деформованого стану цементобетонного покриття автомобільних доріг в залежності від різного варіанту розташування навантаження та конструктивних особливостей плити.

Об'єкт дослідження – цементобетон для покриття автомобільних доріг.

Метод дослідження: статистичний аналіз наукових видань, технічної та нормативної літератури, метод скінчених елементів.

Враховуючи те, що на цементобетонне покриття автомобільної дороги діє складне просторове навантаження, тому для цього доцільно використати числовий метод визначення напружено-деформованого стану покриття, що базується на розв'язанні рівнянь теорії пружності – методу скінчених елементів як найбільш універсального і ефективного. Його особливістю є безпосередній перехід від континуального об'єкту до дискретного аналізу шляхом ділення області об'єкту, який досліджується на ряд під-областей та апроксимації полів переміщень, зусиль, напружень, наприклад, з використанням інженерно-розрахункового комплексу. Розглянуто чотири варіанти розташування транспортного навантаження. В результаті виконаного числового моделювання напружено-деформованого стану цементобетонного покриття вперше отримано аналітичну залежність для визначення розтягуючих напружень при згині, що виникають в цементобетонному покритті автомобільних доріг від дії навантаження з урахуванням різних розрахункових параметрів, що дозволяє уточнити загальний вираз умови міцності при розрахунку цементобетонного покриття з урахуванням коефіцієнту морозостійкості. Даний метод дозволяє оцінювати міцність цементобетонного покриття автомобільних доріг різних категорій із заданою надійністю та довговічністю.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЦЕМЕНТОБЕТОННЕ ПОКРИТТЯ, НАПРУЖЕННЯ, МІЦНІСТЬ, МОРОЗОСТІЙКІСТЬ, ДОВГОВІЧНІСТЬ.

ABSTRACT

Onyshchenko A. M., Khudolii S. N., Chyzenko N.P. Numerical modelling of influence location of transport load on cementobetonno covering of highways. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article is devoted to the problem of developing more precise mathematical models of deformation of road of hard type, depending on various options of loading location and design features of the plate.

The purpose of the work is to simulate the method of the finite elements of stressed-deformed state of cement concrete covering roads depending on various load location and design features of the plate.

Object of study – cement-concrete to cover roads.

Method of research: statistical analysis of scientific publications, technical and normative literature, finite element method.

Taking into account that cement concrete coating of the road operates complex spatial load so it is advisable to use numerical method for determination of stressed-strained state of coating based on solving the theory equations Elasticity – Finite element method as the most versatile and efficient.

Its peculiarity is a direct transition from the continuum to discrete analysis by dividing the area of an object that is investigated by a number of sub-areas and approximation of displacements fields, efforts, stresses, for example, using Engineering and settlement complex. Four variants of transport load are considered. As a result of the numerical modelling of the stressed-strained state of cement concrete covering for the first time obtained an analytical dependence for determination of tensile stresses at bending, arising of cement concrete coating of highways from Load actions taking into account the different settlement parameters, which allows to specify the general expression of the conditions of strength in calculating the cement-concrete coating taking into account the coefficient of frost resistance. This method allows assessing the strength of cement concrete covering of various categories with a given reliability and durability.

KEY WORDS: CEMENT CONCRETE COATING, TENSION, DURABILITY, FROST RESISTANCE, DURABILITY.

РЕФЕРАТ

Онищенко А.М. Численное моделирование влияния местонахождения транспортной нагрузки на цементобетонное покрытие автомобильных дорог / А.М. Онищенко, С.Н. Худолий, Н.П. Чиженко // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

Статья посвящена проблеме разработки более точных математических моделей деформации дороги жесткого типа, в зависимости от различных вариантов расположения и конструктивных особенностей пластины.

Целью работ является имитация метода конечного состояния напряженно-деформированного состояния цементобетонного покрытия дорог в зависимости от различного расположения нагрузки и конструктивных особенностей плиты.

Объект исследования – цементобетон для покрытия дорог.

Метод исследования: статистический анализ научных публикаций, технической и нормативной литературы, метод конечных элементов.

Принимая во внимание, что цементобетонное покрытие дороги работает под сложной нагрузкой, поэтому целесообразно использовать численный метод для определения напряженно-деформированного состояния покрытия на основе решения уравнений теории упругости – методом конечных элементов как наиболее универсального и эффективного.

Его особенность заключается в прямом переходе от континуума к дискретному анализу путем деления области объекта, исследуемого рядом подобластей и приближения полей смещений, усилий, напряжений, например, с использованием инженерно-расчетного комплекса. Рассматриваются четыре варианта транспортной нагрузки. В результате численного моделирования напряженно-деформированного состояния цементобетонного покрытия впервые получена аналитическая зависимость для определения напряжений при изгибе, возникающих в цементобетонном покрытии от нагрузки с учетом различных параметров расчета, что позволяет определить общее выражение условий прочности при расчете цементобетонного покрытия с учетом коэффициента морозостойкости. Этот метод позволяет оценить прочность цементного бетонного покрытия автомобильных дорог различных категорий с заданной надежностью и долговечностью.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЦЕМЕНТОБЕТОННОЕ ПОКРЫТИЕ, НАПРЯЖЕНИЕ, ПРОЧНОСТЬ, МОРОЗОСТОЙКОСТЬ, ДОЛГОВЕЧНОСТЬ.

АВТОРИ:

Онищенко Артур Миколайович, доктор технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, завідувач кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, e-mail: art.onish.1002@gmail.com, тел. +380687771899, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 229, orcid.org/0000-0002-1040-4530.

Худолій Сергій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри вищої математики, e-mail: s_hoodoliy@i.ua, тел. 0442847109, м. Київ, вул. Бойчука, 42, к. 510, orcid.org/0000-0001-6054-6708.

Чиженко Наталія Петрівна, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд, e-mail: chyzhenko_np@ukr.net, тел. +380507355080, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 229, orcid.org/0000-0002-9152-2474.

AUTHOR:

Onyshchenko Artur Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Professor, Head of Department of Bridges, Tunnels and waterworks, e-mail: artur_onish@bigmir.net, tel. +380687771899, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omylanovicha-Pavlenko Str., 1, K. 229, orcid.org/0000-0002-1040-4530.

Hudolij Serhii Mykolaiovych, Ph.D., associate Professor, National Transport University, assistant professor at Department of Higher Mathematics, e-mail: s_hoodoliy@i.ua, tel. 0442847109, Kyiv, Boychuk str., 42, K. 510, orcid.org/0000-0001-6054-6708.

Chyzhenko Natalia Petrivna, National Transport University, Senior lecturer of the Department of Bridges, tunnels and hydraulic structures, e-mail: chyzhenko_np@ukr.net, tel. +380507355080, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Omylanovicha-Pavlenko Str., 1, K. 229, orcid.org/0000-0002-9152-2474.

АВТОРЫ:

Артур Онищенко, доктор технических наук, доцент Национального транспортного университета, заведующий кафедрой мостов, тоннелей и гидротехнических сооружений, artur_onish@bigmir.net, тел. +380687771899, Украина, 01010, Киев, ул. М. Омелянович-Павленко, 1, к. 229, orcid.org/0000-0002-1040-4530.

Худолій Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент Национальный транспортный университет, доцент кафедры высшей математики, e-mail: s_hoodoliy@i.ua, тел. 0442803942, Украина, 01010, г. Киев, ул. Бойчука, 42, к. 510, orcid.org/0000-0001-6054-6708.

Чиженко Наталия Петровна, Национальный транспортный университет, старший преподаватель кафедры мостов, тоннелей и гидротехнических сооружений, e-mail: chyzhenko_np@ukr.net, тел. +380507355080, Украина, 01010, м. Київ, ул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 229, orcid.org/0000-0002-9152-2474.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Славінська О.С., доктор технічних наук, професор, декан факультету транспортного будівництва Національного транспортного університету, Київ, Україна

Каськів В.І., кандидат технічних наук, доцент, заступник директора з наукової роботи ДП «ДерждорНД», Київ, Україна

REVIEWER:

Slavinska O. S, Doctor of Technical Science, Professor, dean of the Faculty of Transport Construction of national Transport University, Kyiv, Ukraine

Kaskiv V. I., Ph.D., Associate professor, deputy Director on Scientific work of State enterprise «DerzhdorNii», Kyiv, Ukraine

ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ НОВИХ СВІТЛОПОВЕРТАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Осипов В.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, osipov.valentin100@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9284-7919

SPEED REDUCTION QUESTIONS: THE ORETICAL BASIS AND ENGINEERING DECISIONS QUESTIONS ON GROWTH OF SAFETTY OF MOVEMENT ACCORDING TO THE USE OF LIGHT-SCENARIOUS ELEMENTS

Osypov V.O., Ph.D in Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, osipov.valentin100@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9284-7919

ВОПРОС ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ НОВЫХ СВЕТОВОЗВРАЩАЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Осипов В.А., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, osipov.valentin100@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9284-7919

Вступ.

Станом на сьогодні в Україні в різних галузях господарства широко використовуються високі технології. Одним з таких напрямків є створення високоефективних мікропризмових світлоповертальних елементів. Вказані елементи знаходять все більше використання, зокрема, в галузі транспорту, дорожньому господарстві тощо.

Використання різних оптичних світлоповертальних пристроїв, до яких відносяться орієнтуючі дорожні знаки, стовпчики, роздільні смуги та інше інженерне обладнання автодоріг зі світлоповертальними елементами, дозволяє значно поліпшити умови керування автотранспортом та безпеку руху у нічний час, оскільки при цьому всі дорожні знаки з сучасними високоефективними світлоповертальними елементами стають добре помітними з досить великої відстані. Однак, використання сучасних світлоповертальних матеріалів у нашій країні поки не досить розповсюджено, це пов'язано з чималою вартістю матеріалів які в основному закуповуються за кордоном. Власне ж виробництво світлоповертальних матеріалів в Україні відсутнє, хоча сьогодні на транспортному ринку країни активно працюють кілька вітчизняних компаній, які виробляють дорожні знаки з використанням оригінальних матеріалів компанії «ЗМ» та інших іноземних виробників, зокрема з Китаю та Польщі. Тому стає задача організації промислового виробництва власних світлоповертальних матеріалів і елементів. Для цього необхідно виконати комплекс наукових і прикладних досліджень зі створення сучасних світлоповертальних матеріалів, розробити технологію створення таких матеріалів, спроектувати і виготовити спеціальне устаткування і інструмент для випуску готової продукції.

Пропонується розробити оптимальну конструкцію кругового світлоповертача, модернізувати обладнання для виготовлення спеціального ріжучого інструменту та відпрацювати технологію формування з його використанням матриць-оригіналів світлоповертальних елементів, і технологію гальванічного вирощування прецизійних робочих матриць-штампів.

Аналіз останніх досліджень.

Окрім горизонтальної та вертикальної дорожньої розмітки – традиційних технічних засобів регулювання дорожнього руху, які мають вплив на безпеку руху при несприятливих погодних умовах та вночі, існують так звані «допоміжні інструменти» – вставки розмічальні дорожні (ВРД). Вставки розмічальні дорожні (ВРД) – вироби, які призначені для поліпшення зорового орієнтування водія на проїзній частині і можуть застосовуватися самостійно або разом із горизонтальною дорожньою розміткою, що буває частіше. Функціонування ВРД регламентується Державним стандартом України ДСТУ 4036-2001 «Вставки розмічальні дорожні. Загальні технічні вимоги».

Проте існуюча номенклатура ВРД на сьогодні не повністю задовольняє потребам оснащення автодоріг засобами підвищення безпеки руху. Невирішеним залишається питання обладнання вказаними засобами кільцевих пересічень автомобільних доріг та вулиць в одному рівні. Завдяки

особливим геометричним параметрам такого виду пересічень виникає потреба у використанні ВРД особливої форми – кільцевої, що у свою чергу повинно сприяти видимості всього об'єкту одночасно, та заздалегідь надати інформацію водію про форму перешкоди, що очікує його попереду. Завдяки тому, що зазвичай, дорожнє кільце влаштовується з використанням бордюрного каменю, слід розглянути можливість встановлення нового типу ВРД безпосередньо на бордюрі, що у свою чергу вирішить такі питання, як унеможливлення деформації останніх при випадковому наїзді на них великогазового транспорту та деформація ВРД при зимовому очищенні проїзної частини від снігу спеціалізованою технікою. Відомо, що збільшення за допомогою використання світлоповертальних елементів відстані, на якій для водія під час руху автомобіля стає помітною перешкода, з 25-40 м до відстані 300-400 м, знижує потенційний ризик наїзду автомобіля на неї в темний час доби в 7 разів.

Постановка завдання.

Метою роботи є розробка, виготовлення та впровадження конкурентно-спроможних сучасних високотехнологічних виробів – мікропризмових світлоповертальних елементів для оснащення автомагістралей, транспортних мереж та розв'язок з метою підвищення безпеки руху в темну пору доби. Для реалізації проекту необхідно розробити та впровадити технологічні процеси та прецизійне обладнання для виготовлення бордюрних кругових мікропризмових світлоповертальних елементів:

- розробити та впровадити технологічні процеси та прецизійне обладнання для виготовлення високоефективних полімерних мікропризмових світлоповертальних елементів круглої форми;
- розробити та впровадити технологічні процеси та обладнання для виготовлення корпусів світлоповертальних структур з конструкційних пластмас;
- розробити та впровадити технологічні процеси та обладнання для збирання елементів та герметизації світлоповертальних мікропризмових структур.

Результати досліджень.

При розробці сучасних світлоповертальних елементів основною проблемою є підвищення ефективності світлоповертання. Найбільш досконалими з наявних сьогодні світлоповертаючих матеріалів є структури, в яких світловідбиваюча поверхня складається з системи кутових відбивачів – мікропризм, сформованих тим чи іншим способом на утворюючій поверхні. Світлова ефективність такого світлоповертального елемента з мікропризмами безпосередньо пов'язана з явищем «повного внутрішнього відбиття світла» [1], добре відомого фізикам. Процес світлоповертання відбувається за рахунок триразового відбиття пучка світла від трьох взаємно-перпендикулярних граней цих кутових відбивачів. На сьогодні звичайними на ринку мікропризмових катафотів є елементи з коефіцієнтом світлоповертання для деяких відстаней до $R(\varphi_0)=800-900$ кд/(лк·м²), тому також звичайними є надвисокі вимоги до обладнання та інструменту для виготовлення матриць-оригіналів таких пристроїв. Для отримання таких максимально можливих коефіцієнтів світлоповертання $R(\varphi_0)$ допуски на кути між відбиваючими гранями мікрокубів не повинні перевищувати декількох кутових секунд, а шорсткість світловідбивних граней не повинна бути гіршою ніж 0,05 мкм.

Вказані параметри, перш за все, забезпечуються високою якістю ріжучого алмазного інструменту, за допомогою якого виготовляються матриці-оригінали світлоповертальних елементів. Грані застосованого для нарізування мікрорельєфу алмазного різця повинні відповідати 14 класу чистоти поверхні, тобто на них відсутні відколи, глибші за 25-50 нм на базовій довжині $L_B=0,08$ мм. Розраховані оптимальним чином та ретельно виготовлені елементи здатні відбивати падаючий промінь світла на відстань до декількох сотень метрів. Наприклад, діючи сьогодні в США технічні стандарти на світлові характеристики елементів нормують величину коефіцієнта світлоповертання $R(\varphi_0)=700$ кд/(лк·м²) для відстані спостереження $L_H=800$ м. Саме такі за своїми параметрами елементи і передбачалося розробити та виготовити в процесі виконання зазначеної роботи.

Для реалізації задач даної роботи найбільш придатними виявляються так звані «симетричні» мікропризмові світлоповертальні елементи, для яких кутлова діаграма світлоповертання є симетричною відносно нормалі до утворюючої поверхні. Для традиційних симетричних світлоповертальних елементів, групи мікрокубів розташовані на плоскій утворюючій поверхні у формі тетраедрів з кутами в основі (60°- 60°- 60°). Кут нахилу кожної з трьох бічних граней кожного мікротетраедра до його осі становить $\theta_0=35^\circ15'52''$. Ефективна поверхня $S_e(\varphi_0)$ симетричного світлоповертального елемента, тобто відношення світлоповертальної поверхні до повної поверхні такого світлоповертача, для кута падіння променя $\varphi_0=0$ становить 67%. Діаграма світлоповертання симетрична щодо нульового кута освітлення $\varphi_0=0$, тобто перпендикулярна до утворюючої поверхні.

Відповідно до ДСТУ 4036-2001 коефіцієнт світлоповертання мікропризмових світлоповертальних елементів білого кольору повинен становити не менш 250 кд/(лк·м²), при цьому кут спостереження повинен становити $\varphi_C=0,2^\circ$, а кут освітлення $\varphi_0=4,0^\circ$.

На величину цього коефіцієнта впливає, перш за все, якість поверхонь мікрокубів на утворюючій поверхні елемента. Тому при виготовленні матриць-оригіналів світлоповертальних елементів методом алмазного різання [2] висуваються надзвичайно високі вимоги до алмазного ріжучого інструменту, який використовується для виготовлення матриць-оригіналів, та до системи позиціонування різця на станції формування мікрорельєфу, яка керує рухом алмазного різця під час нарізування мікрорельєфу. Однак важливим фактором є також дифракція світла на регулярній структурі, якою і є мікрорельєфна поверхня світлоповертача. Вперше роль дифракції світла на періодичній мікрокубичній відбивальній структурі в формуванні енергетичної діаграми світлоповертання, була розглянута в роботі [3].

При зменшенні характерного масштабу рельєфу через зростання ефекту дифракції спостерігається тенденція до кутового розширення відбитого пучка світла. При створенні світлоповертачів для великих відстаней спостереження цей ефект є небажаним, але для малих відстаней він є корисним і його обов'язково необхідно використовувати. Схема дифракції на мікрорельєфі показана на рис. 1, а рис. 2 ілюструє типову дифракційну картину, що виникає для відбитого світла. На рис. 1, що наведений в роботі [3], зображена металізована частина поверхні 24 з адгезивним шаром 20 і ізолювана повітряним зазором частина мікрорельєфної поверхні 12. Падаючий на утворюючу поверхню 10 під кутом φ_0 пучок світла 26 частково відбивається від металевого шару 24 і після трьох відбиттів від трьох поверхонь і повороту на кут 180° виходить з поверхні 10 паралельно напрямку падаючого променя 26. Внаслідок ефекту дифракції формується шість круглих зон діаграми світлоповертання симетричного відбивача, які аналогічні показаним на рис. 2-а.

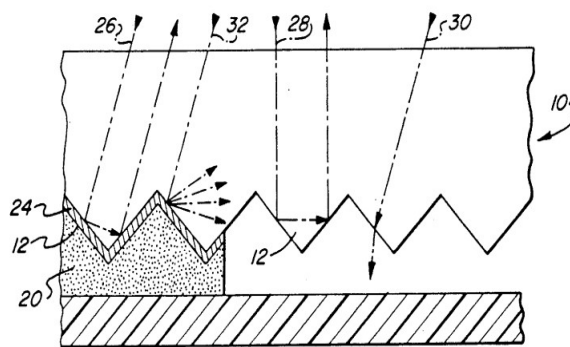


Рисунок 1 – Схема дифракції [3] на мікрорельєфі
Figure 1 – Scheme of diffraction [3] on microrelief

Таким чином, частина променів 28 зазнають повне внутрішнє віддзеркалення від трьох поверхонь границі розділу середовищ світлоповертач-повітря і виходить в зворотному напрямку.

Частина пучка 30 не відбивається, а проходить всередину матеріалу елемента, а промені 32, що падають на мікрорельєф під кутом, більшим певного критичного значення, зазнають всього два відбиття від взаємно-перпендикулярних поверхонь, не потрапляючи на третю грань, і виходять з елемента без «світлоповертального» відбиття [4], знижуючи тим самим ефективну світловідбивальну поверхню $S_e(\varphi_0)$. Величина зони першого дифракційного максимуму визначається відомою формулою [1]:

$$D=1.2 (\lambda / d), \quad (1)$$

де значення λ – довжина хвилі світла, а величина d – діаметр апертури джерела світла, який в даному випадку можна ототожнити з характерним розміром мікрорельєфу W .

Таким чином, змінюючи величину W , можна змінити просторову діаграму світлоповертання. Ефект дифракції для поверхні з мікрорельєфом кроком $W=152$ мкм ілюструє рис. 2-б. Центр структури позначений цифрою 32, а коло з цифрою 34 відповідає світловому конусу з тілесним кутом $\Omega=0,5^\circ$. Основна енергія відбитого променя сконцентрована в центральній частині 36, яка відповідає нульовому порядку дифракції, та в шести рівновіддалених зонах 38 першого порядку дифракції. Між ними знаходяться зони з меншою інтенсивністю відбитого пучка світла. На думку автора [3] такий розподіл не є оптимальним через велику просторову неоднорідності відбитого променя.

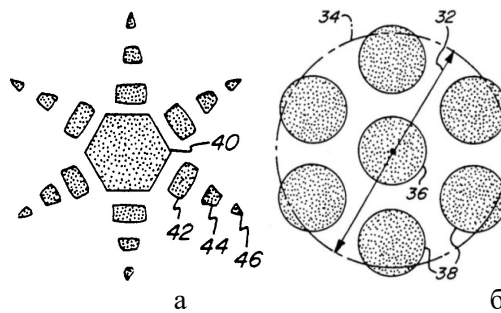


Рисунок 2 – Дифракційна картина [3] для відбитого від мікрорельєфу пучка світла:

а – крок рельєфу $W=152$ мкм, б – $W=356$ мкм

Figure 2 – Diffraction pattern [3] for the reflected light beam from the microrelief:

а – relief step $W=152$ μm , б – $W=356$ μm

Однак для спостерігача, наприклад, водія транспортного засобу, це не дуже істотно. Головним є те, що в конусі спостереження величиною $0,5^\circ$ буде чітко спостерігатися освітлена світловідбивальна поверхня. Крім того, механічні дефекти на реально сформованих гранях відбивача призведуть до розмиття по всіх кутах спостереження розрахункових енергетичних діаграм, що наведені на рис. 2. Для розширення наведеної кутової діаграми світлоповертання автор [3] пропонує також використовувати нахил осей пов'язаних мікрокубів. В цьому випадку можна розширити діаграму уздовж однієї з осей.

Основою для будь-якої мікропризмової світловідбивальної системи є кубічний відбивач, який складається з трьох плоских дзеркал з прямим кутом у вершині, що перетинаються в загальній точці. Загальне поняття такого утворюючого одиничного мікрокубу, як основи формування ретрорефлектора, існувало дуже давно. Однак технічні рішення для реалізації такої теоретичної пропозиції виникли лише в 30-х роках минулого століття. Основна проблема – точність виготовлення мікрокубів. Зрозуміло, що навіть невеликі кутові відхилення в положенні однієї з цих трьох дзеркальних поверхонь призводять до істотного відхилення відбитого світла від напрямку падаючого світлового потоку. Як результат, інтенсивність відбиття потоку світла від поверхні мікрокубу помітно зменшується.

Перші моделі світлоповертачів створювалися на принципі мультиплікування традиційного одиничного кутового відбивача, який як відомо, має форму правильного тетраедра з кутом при вершині $\theta_v=90^\circ$. Тому для винахідників було логічним моделювати форму тетраедра одиничним твердотільним індентором такої ж форми, розміри якого повинні бути не дуже великими – 2,0-3,0 мм, і потім багато разів в той чи інший спосіб реплікувати його форму на плоскій утворюючій поверхні, створюючи групи тригранних кутових відбивачів.

Вперше практично здійснений процес точного створення мікропризмової поверхні з використанням штирьових інденторів було запропоновано ще в роботі [5]. Далі ця технологія постійно вдосконалювалася з метою отримання необхідних ретрорефлекторних характеристик для кінцевих продуктів. Основні зусилля були зроблені для підвищення ефективності ретрорефлекторів шляхом оптимізації оптичних характеристик і якості робочих поверхонь, створення рефлекторів з розширеною діаграмою зворотного відбитку шляхом нахилу осі штирьових інденторів для формування рельєфної поверхні або зміни кутів між дзеркальними гранями мікрокубів.

Технологія формування рельєфу мікрокубів через систему твердотільних інденторів, була практично завершена в роботі [6]. Автор розглянув численні варіанти конструкцій інденторів з одиничним мікрокубом на торці, вісь якого може бути нахилена до осі індентора на певний кут для отримання світлоповертачів з необхідними властивостями. Були також запропоновані способи отримання матриць-штампів з інденторів шляхом з'єднання множини ідентичних одиничних інденторів для отримання матриць необхідних розмірів. Розглянуто також системи репліциювання мікрорельєфу на плоских поверхнях за допомогою таких матриць.

Прикладом сучасної інденторної технології є конструкція, яка відносно недавно запатентована компанією «Avery Dennison Corporation» (США) [7]. Запропоновано метод формування мікрорельєфу на плоскій утворювальній поверхні за допомогою системи пластинчастих інденторів, необхідна форма яких може створюватися методом алмазного різання [2]. Пластини з необхідним рельєфом потім складаються з відповідним зміщенням для формування груп кутових відбивачів.

Індентори у вигляді готової мікрорельєфної структури відносно невеликої площі, виготовлені методом алмазного різання [2], в подальшому можливо використовувати для формування мікрорельєфу на поверхні набагато більшої площі [8]. Будемо називати останній процес мультиплікуванням, на відміну від розглянутого вище методу реплікації одиночним індентором або відносно невеликою матрицею інденторів.

У методі мультиплікування виготовлений фрагмент майбутньої світлоповерхтальної структури, наприклад у вигляді правильного шестикутника зі стороною L , в подальшому використовується для формування серій реплік мікрорельєфу на поверхні пластика з мінімальним зазором ΔL між окремими фрагментами. Раніше метод реплікації рельєфу був дуже популярним, оскільки інші технології формування складного мікрорельєфу практично не були доступні. Відзначимо, що у деяких випадках сформувати розроблену теоретично оптимальну мікрорельєфну структуру просто неможливо без застосування інденторної технології.

Альтернативною технологією є метод прямої механічної обробки плоскої утворюючої поверхні за допомогою твердотільних різців. Метод сьогодні широко застосовується для прямого формування на плоских жорстких поверхнях мікрорельєфних структур та створення матриць-оригіналів світлоповертачів. За різних причин технологія із застосуванням індентора або системи інденторів не дозволяє виготовляти високоякісні світлоповертачі. Тому сьогодні в Інституті проблем реєстрації інформації Національної академії наук України (ІПРІ НАН) прийнята технологія [9] формування мікрокубічної структури на плоскій однорівневій утворюючій поверхні саме методом механічного різання [2] з використанням алмазного ріжучого інструменту. Приклад мікрорельєфу [4] світлоповертача ІПРІ НАН України, який сформований методом алмазного різання, наведений на рис. 3, який ілюструє гальванічну матрицю симетричного елемента з кроком мікрорельєфу $W=150$ мкм.

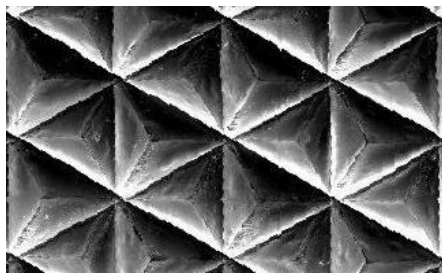


Рисунок 3 – Приклад мікрорельєфу [4] симетричного світлоповерхтального елемента ІПРІ НАН України

Figure 3 – An example of a micro relief [4] of a symmetric retroreflective element of IPRI NAS of Ukraine

Відзначимо, що дифракційні явища можуть бути істотними для формування структури променя світла, тому що через це відбувається розширення відбитого променя. Тому для світлоповертачів, призначених для великих відстаней $L_H=1000-2000$ м, типові кроки рельєфу W повинні бути не менше 1000-1500 мкм. У той же час для отримання максимально широкої діаграми світлоповертання променів, що важливо для невеликих відстаней спостереження $L_H=100-200$ м, крок мікрорельєфу світлоповертачів не повинен бути більшим за $W=50-150$ мкм.

Таким чином, технологія прямого механічного нарізування мікрорельєфу на утворюючій поверхні за допомогою твердотільних різців дозволяє отримати світлоповертачі більш високої оптичної якості, ніж методика реплікації мікрокубічної структури за допомогою штирьових інденторів або системи інденторів. При конструюванні світлоповертачів різного призначення, зокрема, для різних відстаней спостереження, необхідно враховувати роль дифракції у формуванні кутової енергетичної діаграми відбитого світла. Розроблений круговий світлоповерхтальний елемент (рис. 4) являє собою збірну конструкцію, яка складається з корпусу елемента (поз. 1), восьми світлоповерхтальних мікропризмових елементів (поз. 2), які за допомогою ультразвукового зварювання надійно і герметично з'єднані з корпусом.

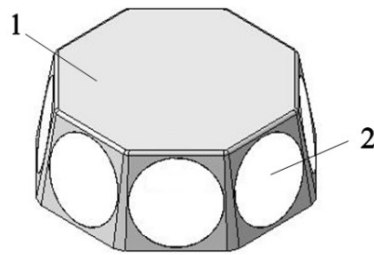


Рисунок 4 – Світлоповертальний елемент: 1 – корпус; 2 – мікропризмний елемент
Figure 4 – Reflective element: 1 – housing; 2 – prism element

Корпус кругового світлоповертального елемента (рис. 5), являє собою зрізану восьмигранну піраміду висотою 26 мм з кутом нахилу граней 10° , основа якої вписана в коло діаметром 81,4 мм.

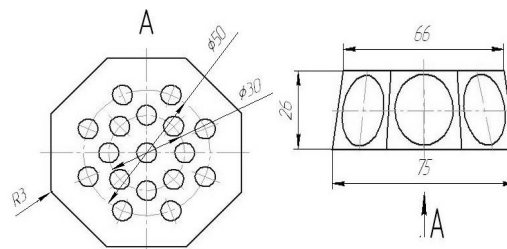


Рисунок 5 – Корпус елемента
Figure 5 – The housing of the element

В основі піраміди (вид А) закладено ряд глухих отворів для забезпечення надійного закріплення кругового світлоповертального елемента на поверхні бордюру методом склеювання. На кожній із восьми граней виготовлено заглиблення діаметром 24 мм для встановлення світлоповертальних мікропризмних елементів. Для того, щоб між вершинами мікропризм світлоповертального мікропризмного елемента і поверхнею корпусу світлоповертального елемента був повітряний прошарок, заглиблення виконано ступінчастим. Корпус світлоповертача виготовлено з полікарбонату; вибір саме цього конструкційного матеріалу обумовлений необхідністю забезпечення високої механічної міцності світлоповертача. Корпус виготовлений методом інжекційного лиття під тиском, але може бути використаний любий інший спосіб, наприклад, механічна обробка відповідних заготовок. Світлоповертальні вставки виготовлені з листового полікарбонату товщиною 2.0 мм. Мікрорельєфна світлоповертальна структура на їх поверхні створена методом термопресування. Вставка розміщується в спеціальному кільцевому заглибленні глибиною 2 мм, який сформовано на кожній з восьми плоских утворюючих поверхонь. Зворотна сторона елемента має серію спеціальних отворів діаметром 8 мм та глибиною 5-15 мм для розміщення клею для поліпшення зчеплення корпусу елемента з полотном дороги.

Для зварювання кругових елементів використовується ультразвукова зварювальна установка (УЗЗУ), реалізована на базі установки BRANSON 901aes, яка модифікована для використання п'єзоелектричного перетворювача ультразвукових коливань в резонансній системі. Для регулювання енергії УЗЗУ доповнена спеціальним пристроєм, дозуючим енергію впливу ультразвуку. Оскільки поперечні розміри корпусу світлоповертального елемента порівняні з довжиною хвилі ультразвуку в полікарбонаті, він фактично так само повинен розглядатися як частина резонансної системи УЗЗУ. Однак через більше поглинання ультразвуку в полікарбонаті в порівнянні з металевим сонотродом і відносно невелику частку енергії ультразвукової хвилі, що проникає всередину корпусу (приблизно рівну відношенню площі поперечного перерізу кільцевого наконечника сонотрода до його площі поперечного перерізу), внесок коливань корпусу в формування стоячої хвилі незначний. В результаті при розрахунках і налаштуванні резонансу УЗЗУ наближено можна враховувати тільки активну частину резонансної системи з генератора, перетворювача, бустера і сонотрода, вважаючи наконечник сонотрода вільним. В розрахунок елементів резонансної системи УЗЗУ покладено наближення коливань стрижнів. Звукові хвилі як відомо є поздовжніми, тому для розрахунку розглядаються тільки поздовжні пружні коливання стрижнів. Амплітуда коливань визначається з рівняння Гельмгольца для зсувів уздовж осі стрижня:

$$u'' + (\ln S)' u' + (\omega/c)^2 u = 0, \quad (2)$$

де S – змінна по довжині площа поперечного перерізу стержня, $\omega = 2\pi f$ - кругова частота коливань, c - швидкість звуку.

Розв'язок рівняння (2) має вигляд:

$$u = \frac{1}{\sqrt{S}} F, \quad (3)$$

де F визначається з приведенного до канонічного виду рівняння:

$$F'' + \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \left\{ 1 - \left(\frac{\lambda}{4\pi}\right)^2 \left[2(\ln S)'' + (\ln S)'^2 \right] \right\} F = 0, \quad (4)$$

де λ – довжина хвилі ультразвуку в матеріалі стрижня. Відповідно з осциляційною теоремою рівняння описує коливання стрижня, якщо вираз в фігурних дужках строго позитивний на всій довжині стрижня, тобто за умови:

$$\lambda \frac{\sqrt{2S''S - S'^2}}{2S} = \lambda \sqrt{\frac{R''}{R}} \leq 2\pi. \quad (5)$$

Для циліндричних і конусоподібних сонотродів, утворюючі яких є прямолінійними, ця умова дотримується автоматично.

У разі складаних стрижнів постійного перетину амплітуда коливань змінюється обернено пропорційно до зміни діаметрів. Коливання мають резонанс якщо сумарна довжина стрижнів кратна половині довжини хвилі ультразвуку для одного матеріалу або якщо сума виду:

$$2 \sum_i^n \frac{l_i}{\lambda_i} = N \quad (6)$$

дорівнює цілому числу в разі різних матеріалів складових частин стрижня. Умова (6) дозволяє розрахувати довжини всіх елементів активної частини резонансної системи УЗЗУ.

З огляду на те, що в основу розрахунків покладено наближену модель, а також з огляду на розкид значень модулів пружності матеріалів різних виробників, які залежать від наявності різних домішок, ступенів гарту або відпалу, використовується методика налаштування активних елементів резонансної системи УЗЗУ, яка ґрунтується на реєстрації амплітудно-частотних характеристик. При проектуванні системи всі довжини елементів УЗЗУ збільшують приблизно на 5%. З огляду максимальної простоти виготовлення і достатньої ефективності прийнята проста ступінчаста циліндрична форма сонотрода. Як матеріал використаний алюмінієвий сплав, для якого швидкість звуку в тонких стрижнях згідно довідковими даними лежить в діапазоні:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 5100...5200 \text{ м/с}. \quad (7)$$

Відповідно довжина хвилі поздовжніх коливань в сонотроді буде:

$$\lambda = 255...260 \text{ мм}. \quad (8)$$

Відповідно до прийнятої методики вибираємо довжину сонотроду:

$$L = 129 + 7 = 136 \text{ мм}. \quad (9)$$

Після налагодження коригування довжини сонотроду на лабораторному устаткуванні при остаточній частоті резонансу зварювання $f = 19,9$ Гц довжина сонотрода склала $L = 132$ мм.

Іншим важливим чинником при застосуванні ультразвукового зварювання оптичних елементів є проблема дозування енергії впливу ультразвуку. Оптичні пластмасові матеріали (поліметилметакрилат, полікарбонат і полістирол) є досить жорсткими матеріалами і добре проводять ультразвук. Це призводить до того, що енергія пружних коливань, порушуваних порожнистим сонотродом в області зварного шва, перерозподіляється по всьому об'єму світлоповертального елемента за рахунок збудження лембовських хвиль, що поширюються в площині, перпендикулярній до осі сонотрода. В результаті інтерференційний максимум амплітуди коливань при наявності осьової симетрії припадає на центральну область світлоповертального елемента. Проведені розрахунки на основі наближеного рішення хвильових рівнянь для поздовжніх і поперечних коливань:

$$\nabla^2 \theta = c_l^{-2} \ddot{\theta}; \quad \nabla^2 \Omega - r^{-2} \Omega = c_t^{-2} \ddot{\Omega}, \quad (10)$$

на які розпадається вихідне векторне хвильове рівняння при наявності осьової симетрії, показують, що величина центрального максимуму амплітуди коливань може в 4-5 разів перевищувати амплітуду коливань в області зварного шву. Небажаними наслідками такого перерозподілу енергії коливань виявляються порушення мікроструктури (і навіть можливі руйнування) переважно в центральній області світлоповертального елемента. З метою можливості коригування розподілу поглинання енергії коливань за допомогою створення локальної концентрації внутрішніх напружень в області контакту світлоповертального елемента з корпусом пропонується сформувати виступаючий загострений кільцеподібний елемент, що підсилює поглинання пружних хвиль в цій області. Порівняння результатів зварювання світлоповертаючих елементів на плоскій площадці і на площадці з виступаючим кільцеподібним елементом показало ефективність його використання, так як в останньому варіанті забезпечувалася надійність і герметичність з'єднання. При проведенні пробного зварювання і визначенні параметрів робочих режимів проводився контроль сигналів на вході і виході дозатора за допомогою цифрового двоканального осцилографа Hantek DSO0100627. Порівняння тривалості імпульсів зварювання, виміряних за осцилограмами, з показаннями цифрового реєстратора не виявило відхилень тривалості більш ніж на 1%.

Для реєстрації світла, відбитого від поверхні світлоповертача використовується спеціальний стенд *CPC-1*. Стенд дозволяє реєструвати дифракційну картину, що виникає при освітленні світлоповертача лазером. Аналіз цієї картини дозволяє зробити висновки щодо якості світлоповертальної поверхні. Принцип дії стенду для реєстрації розподілу відбитого від мікрорельєфу лазерного випромінювання *CPC-1* базується на реєстрації дифракційної картини відбитого від світлоповертального елемента вузького променя світла від «зеленого» лазера з довжиною хвилі $\lambda=0,532$ мкм. Форма і розміри отриманої дифракційної картини порівнюються з розрахованими характеристиками для даного світлоповертального елемента, а також порівнюються з розмірами і формою дифракційної картини для еталонного світлоповертального елемента. Отримані таким чином дані дозволяють оцінити якість створеного світлоповертального елемента. Розраховані для цього ж симетричного світлоповертального елемента дифракційні характеристики для одного з трьох напрямів мікрорельєфу з кроком $W=150$ мкм для відстані до екрану $L=2$ м наведено на рис. 6.

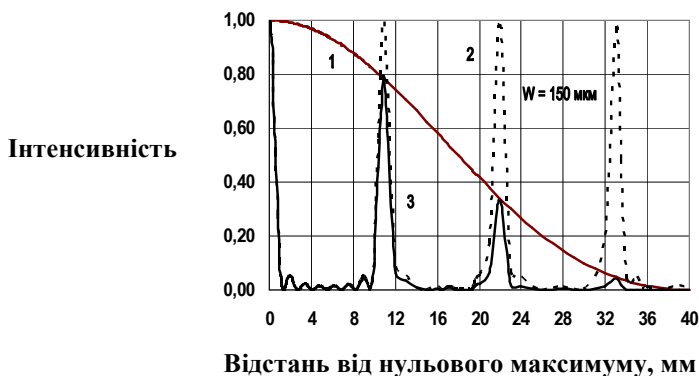


Рисунок 6 – Дифракційні ефекти для симетричного світлоповертального елемента для відстані спостереження $L=2,0$ м: крок нарізки $W=150$ мкм, число щілин $N=4$: 1 – дифракційна картина від однієї щілини; 2 – інтерференція для N щілин; 3 – інтегральна картина
Figure 6 – Diffraction effects for symmetric retroreflective element for observation distance $L=2,0$ m: cutting step $W=150$ μm , number of slits $N=4$: 1 – diffraction pattern from one slit; 2 – interference for N cracks; 3 – integral picture

Ці дані свідчать, що при падінні на рельєф пучка світла з нульовим кутовим розходженням, на екрані буде спостерігатися картина з 6 інтерференційних смуг, при цьому протяжність кожної смуги складає близько 40 мм в обидві сторони від центру для екрану, який розміщений на відстані $L=2,0$ м від елементу, тобто кутова розбіжність відносно центру картини складає 58,4 кутових хвилин. Для неідеального мікрорельєфу, для якого спостерігається відхилення кута кутових відбивачів від 90° , буде спостерігатися додаткове розмиття інтерференційної картини в напрямку від центра, що необхідно враховувати при аналізі якості поверхонь.

Легко помітити, що структура відбитого променя лазера значно більша за розрахункову, картина не виявляє помітної дифракційної структури. Це свідчить про наявність дефектів оптичних поверхонь цього світлоповертача, які ведуть до додаткового ізотропного розсіювання відбитого світла. Таким чином, порівняння експериментально отриманого розподілу інтенсивності лазерного променя після його відбиття від світлоповертальної поверхні з розрахунковими даними стосовно зон розміщення інтерференційних максимумів та їх кількості дає можливість оцінити якість оптичних поверхонь з мікрорельєфом.

Згідно з технічним завданням виготовлено 500 дослідних зразків, які передано організації-партнеру – комунальній корпорації «Київавтодор» для монтажу і дослідної експлуатації. У жовтні 2017 р було здійснено монтаж дослідних зразків на вулицях м. Києва; нагляд за зразками триває (рис.7). У 2019 році колективом авторів отримано патент на промисловий зразок № 38690 «Мікропризмовий бордюрний світлоповертач».

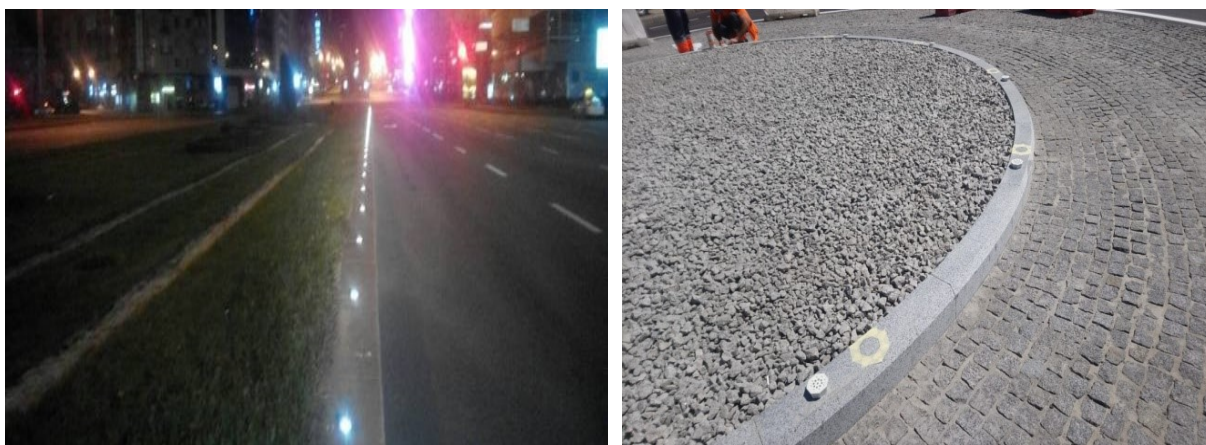


Рисунок 7 – Експериментальне провадження світлоповертальних елементів
Figure 7 – Experimental production of retroreflective elements

Висновки.

Розроблено схему технологічного маршруту для виготовлення кругових бордюрних світлоповертачів, яка включає ряд послідовних і паралельних технологічних операцій з виробництва окремих елементів світлоповертачів. Розроблено конструкцію кругового бордюрного катафоту з вісьмома світлоповертальними елементами, яка являє собою зрізану восьмигранну піраміду висотою 26 мм, основа якої вписана в коло діаметром 81,4 мм. В кожну грань піраміди вмонтовано вискоефективний мікропризмовий світлоповертальний елемент, що забезпечує надійну візуалізацію крутих закруглень дороги та перешкод в темну пору доби. Конструкція корпусу світлоповертального елемента забезпечує його надійний монтаж на методом клейового з'єднання.

Створено і впроваджено на дослідно-експериментальній дільниці ІПРІ НАН України технологічний комплекс з виготовлення кругових світлоповертальних елементів, який забезпечує виготовлення корпусів елементів зі стабільними геометричними параметрами, методом лиття під тиском на прецизійних термопластавтоматах; виготовлено мікропризмові світлоповертальні елементи з коефіцієнтом світлоповертання $650-700 \text{ кд/(лк}\cdot\text{м}^2)$, що перевищує вимоги ДСТУ 4036-2001; виготовлено кругові елементи методом ультразвукового зварювання, що забезпечує надійне і герметичне закріплення світлоповертального елемента в корпусі.

Для виготовлення корпусів мікропризмових світлоповертачів створено відповідну прес-форму для використання її в машинах лиття під тиском. Проведено автономні випробування виготовлених елементів. Результати автономних випробувань дають підстави стверджувати, що кругові

світлоповертальні елементи зберігатимуть працездатність (ефект світлоповертання) після впливу атмосферних опадів, підвищених до +60°C і понижених до -20°C температур.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Борн М. Основы оптики / М.Борн, Э.Вольф. // М.: Наука, 1973. – 720с.
2. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф.Бобров // – М.: Машиностроение, 1979. – 344 с.
3. US Patent 5,171,624, МКИ G02B 5/124. Retroreflective Microprismatic Material and Method of Making Same / H.Walter: заявл. 01.06.1990; опубл. 15.12.1992.
4. Антонов Е.Е. Оптические характеристики световозвращающих элементов / Е.Е.Антонов, С.М.Шанойло, А.В.Шиховец, Минг Чжан, Кай Лю // Реєстрація, зберігання і обробка даних. -2008. – Т.10, № 2. – С.13-22.
5. US Patent 1,591,572, МКИ G02B 5/124. Process and Apparatus for Making Central Triple Reflectors / J.C.Stimson; заявл. 05.02.1925; опубл. 06.07.1926.
6. US Patent 3,926,402, МКИ G02B 5/124. Pin Having Nonaligned Cube Axis and Pin Axis and Bundle of Such Pins / S.A.Heenan: заявл. 18.02.1975; опубл. 16.12.1975.
7. US Patent 6,015,214, МКИ G02B 5/124. Retroreflective Articles Having Microcubes, and Tools and Methods for Forming Microcubes / S.A.Heenan, A.J.Montalbano, L.A.Coman, D.I.Couzin; заявл. 30.05.1996; опубл. 18.01.2000.
8. Антонов Є.Є. Оптичні властивості серії гальванічних матриць мікрорельєфних світлоповертальних структур / Є.Є.Антонов, А.В.Панкратова, О.В.Шиховець // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2013. – Т.15, № 4. – С.41-50.
9. Петров В.В. Світлоповертання: проблеми та досягнення / В.В.Петров, С.М.Шанойло, Є.Є.Антонов [та ін.] // Реєстрація, зберігання і обробка даних. – 2008. – Т.10, № 1. – С.3-15.

REFERENCES

1. Born M. Fundamentals of Optics / M. Born, E. Wolff. // – M.: Science, 1973. – 720p.
2. Bobrov V.F. Fundamentals of the theory of cutting metals / VF Bobrov // – M.: Mashinostroenie, 1979. – 344 p.
3. US Patent 5,171,624, МКИ G02B 5/124. Retroreflective Microprismatic Material and Method of Making Same / H.Walter: 01.06.1990; 15.12.1992.
4. Antonov E.E. Optical characteristics of retroreflective elements / E.E. Antonov, S.M. Shanoilo, A.V. Shikhovets, Ming Zhang, Kai Liu // Registration, zberigannya i obrobka danih. – 2008. – V. 10, No. 2. – P.13-22.
5. US Patent 1,591,572, МКИ G02B 5/124. Process and Apparatus for Making Central Triple Reflectors / J.C.Stimson; 05.02.1925; 06.07.1926.
6. US Patent 3,926,402, МКИ G02B 5/124. Pin Having Nonaligned Cube Axis and Pin Axis and Bundle of Such Pins / S.A.Heenan: 18.02.1975; 16.12.1975.
7. US Patent 6,015,214, МКИ G02B 5/124. Retroreflective Articles Having Microcubes, and Tools and Methods for Forming Microcubes / S.A.Heenan, A.J.Montalbano, L.A.Coman, D.I.Couzin; 30.05.1996;18.01.2000.
8. Antonov E.E. Optical power systems of galvanic matrices of microcorrelate nflokoploperalny structures / E.Antonov, A.V.Vankratova, O.V.Shikhovets // Reconc. – 2013. – T.15, No. 4. – P.41-50.
9. Petrov V.V. Svitlopovertannya: problems and dosagnennya / V.V.Petrov, S.M.Shanojlo, E.Antonov [and I.] // Registration, zberigannya i drobik danih. – 2008. – Vol.10, No. 1. – P.3-15.

РЕФЕРАТ

Осипов В.О. Питання підвищення безпеки руху за рахунок використання нових світлоповертальних елементів / В.О. Осипов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

У статті представлені результати розробки, виготовлення та впровадження сучасних високотехнологічних виробів – мікропризмових світлоповертальних елементів для облаштування кільцевих пересічень автомагістралей, вулично-дорожніх мереж з метою підвищення безпеки руху у нічний час доби.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СВІТЛОПОВЕРТАЛЬНИЙ ЕЛЕМЕНТ, МІКРОПРИЗМАТИЧНА СТРУКТУРА, МАТРИЦЯ-ОРИГІНАЛ.

ABSTRACT

Osypov V.O. The issue of improving traffic safety by using new reflective elements. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article presents the results of the development, production and implementation of modern high-tech products – micro-prism retroreflective elements for the arrangement of roundabouts of motorways, street and road networks in order to improve traffic safety at night.

KEY WORDS: LIGHT-ROTATING ELEMENT, MICROPRISMATIC STRUCTURE, MATRIX-ORIGINAL.

РЕФЕРАТ

Осипов В.А. Вопросы повышения безопасности движения за счет использования новых световозвращающих элементов / В.А. Осипов // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье представлены результаты разработки, изготовления и внедрения современных высокотехнологичных изделий – микропризмных световозвращающих элементов для обустройства кольцевых пересечений автомагистралей, улично-дорожных сетей с целью повышения безопасности движения в ночное время суток.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: СВЕТОВОЗВРАЩАЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ, МИКРОПРИЗМЕННАЯ СТРУКТУРА, МАТРИЦА-ОРИГИНАЛ.

АВТОР:

Осипов Валентин Олександрович, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортних технологій, e-mail: osipov.valentin100@gmail.com, тел. +38 099-777-24-88, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1.

AUTHOR:

Osypov Valentyn, National Transport University, Associate Professor Transport Technologies Department, e-mail: osipov.valentin100@gmail.com, tel. +38 099-777-24-88, 01010, Kyiv, street M. Omeljanovich-Pavlenko, 1.

АВТОР:

Осипов Валентин Александрович, Национальный транспортный университет, доцент кафедры транспортных технологий, e-mail: osipov.valentin100@gmail.com, тел. +38 099-777-24-88, 01010, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленко, 1.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Дмитрієв М.М., перший проректор з наукової роботи Національного транспортного університету, доктор технічних наук, професор, Київ, Україна

Рутковська І.А., кандидат технічних наук, професор, завідувача аспірантурою та докторантурою НТУ, Київ, Україна

REVIEWER:

Dmitriev M.M., First Vice-Rector, Vice-Rector for Scientific Work of the National Transport University, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyiv, Ukraine

Rutkovskaya I.A., Candidate of Technical Sciences, Professor, Postgraduate Student and NTU Doctorate, Kyiv, Ukraine

ОРГАНІЗАЦІЯ ПЕРЕХОПЛЮЮЧИХ АВТОСТОЯНОК (СИСТЕМА ПАРКУВАННЯ «PARK&RIDE») В М. КИЄВІ

Поліщук В.П., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, tsbdr@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3145-7225.

Янішевський С.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, s.yanishevskiy@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0113-5463.

Гуменюк О.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, oleksandra27@online.ua, orcid.org/0000-0001-5543-5229.

ORGANIZATION OF THE INTERCEPTING PARKING LOTS («PARK & RIDE» PARKING SYSTEM) IN KYIV

Polishchuk V., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, tsbdr@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3145-7225.

Yanishevskiy S., Ph.D., Associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, s.yanishevskiy@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0113-5463.

Humeniuk O., National Transport University, Kyiv, Ukraine, oleksandra27@online.ua, orcid.org/0000-0001-5543-5229.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕХВАТЫВАЮЩИХ АВТОСТОЯНОК (СИСТЕМА ПАРКОВКИ «PARK&RIDE») В Г. КИЕВЕ

Поліщук В.П., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, tsbdr@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3145-7225.

Янішевський С.В., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, s.yanishevskiy@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0113-5463.

Гуменюк А.В., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, oleksandra27@online.ua, orcid.org/0000-0001-5543-5229.

Постановка задачі

Серед проблем сучасних міст, викликаних автомобілізацією, завдання забезпечення місць для паркування є одним з найбільш гострих.

Існуюча система паркування в значних та найзначніших містах України характеризується такими основними проблемами:

- недостатньою кількістю паркувальних місць на відведених та спеціально обладнаних майданчиках для паркування;
- низьким рівнем дотримання правил паркування;
- відсутністю дієвого простого механізму контролю за дотриманням правил паркування та оплати, а також механізму накладення штрафу за порушення цих правил;
- малоефективним інформаційним та технічним забезпеченням паркувальної діяльності.

Загострення проблеми паркування в м. Києві виникло у зв'язку зі значним зростанням кількості автотранспорту, відставанням реалізації транспортних потреб від масового житлового будівництва та непристосованістю центральної історичної частини міста. За даними фахівців Інституту Генерального плану м. Києва, в місті зареєстровано понад 900 тис. автотранспортних засобів, з яких 767 тис. – легкові автомобілі [1]. 60 % автомобілів протягом дня припарковані вздовж проїзних частин вулиць, на газонах та тротуарах. За попередніми розрахунками, пропускну спроможність вулично-дорожньої мережі центральної частини міста лише за рахунок виключення вуличних стоянок автомобілів з проїзних частин можливо збільшити на 30–40%.

Транспортні проблеми додатково посилюються через масштабні потоки автотранспорту, який прямує до м. Києва з приміської зони Київської області та інших регіонів України. У місто щоденно лише в ранковий період «пік» в'їжджає близько 100 тис. автотранспортних засобів, більшість з яких (близько 70 тис.) складають легкові автомобілі (див. рисунок 1). Значна частина цих автомобілів у зв'язку з недостатньою кількістю об'їзних магістралей прямує через центральну частину м. Києва.

Таким чином, оскільки значна частка поїздки у м. Києві здійснюється мешканцями міст-супутників на легкових автомобілях індивідуальних власників по радіальних маршрутах в напрямку центру міста, а необхідної кількості паркувальних місць в центральній частині бракує, ефективним для обслуговування щоденних трудових поїздки населення з передмість в центральну частину є створення на головних в'їздах в місто системи т.з. перехоплюючих автостоянок (на думку фахівців, приблизно 10 % таких легкових автомобілів можливо перехопити на в'їздах до міста, розмістивши їх на вищевказаних стоянках [1]).

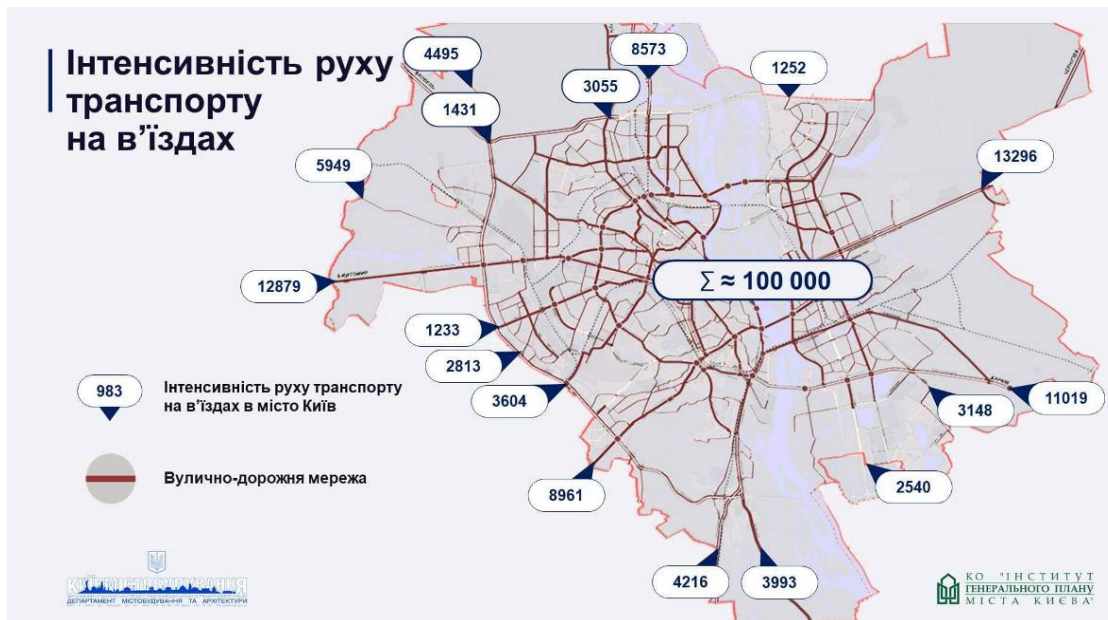


Рисунок 1 – Інтенсивність руху автотранспорту на в'їздах в м. Київ в ранковий період «пік», пр.од./год [2]

Figure 1 – Intensity of motor transport on entrances to Kyiv in the morning «peak» period, transport units per hour [2]

Мета роботи

Виходячи з постановки проблеми та аналізу літературних джерел, метою даної статті є аналіз європейського досвіду в організації перехоплюючих автостоянок (системи паркування «Park&Ride») та дослідження щодо доцільності влаштування таких стоянок в м. Києві.

Виклад основного матеріалу

Фахівці «Інституту Генерального плану міста Києва» проаналізували, як вирішується питання парковок в низці міст Європи – Парижі, Лондоні, Амстердамі, Празі, Берліні, Будапешті тощо. Протягом останнього десятиліття збільшення кількості легкових автомобілів призвело до загострення проблеми паркування у всіх цих містах-мільйонниках (насамперед – в їх центральних районах, де вільна незабудована територія складає не більше 10–15% загальної площі). І хоча в кожній країні свій особливий підхід, але базовий принцип вирішення цього питання один – зацікавлення населення поїздки на громадському транспорті, будівництво перехоплюючих автостоянок, упорядкування парковочних місць вздовж вулиць і саме головне – це чіткий контроль за виконанням правил паркування в дозволених місцях та високі штрафи за їх порушення [1].

Перехоплююча автостоянка (система «Park&Ride») – автостоянка, сполучена з міським громадським транспортом, що дозволяє жителям приміської зони та іншим людям вирушати в центр міста, полишивши на такій стоянці свої автомобілі, та пересівши на громадський транспорт (метро, автобус, маршрутне таксі, тощо) на решту подорожі; автомобілі зберігаються на стоянці протягом дня і забираються власниками на зворотньому шляху [3]. Цим самим центр міста розвантажується від індивідуального транспорту, а тому кількість заторів і негативних наслідків від них має зменшуватись.

Основними перевагами систем «Park&Ride» є: зручність використання та розташування біля транспортних вузлів; доступна ціна; постійна охорона; уникнення надмірного стресу через їзду перевантаженими вулицями; уникнення труднощів і витрат часу на паркування через дефіцит

парковок у центрі міста; можливість надання послуг власникам транспортних засобів на альтернативних видах палива [3].

Загальними стратегічними цілями при проектуванні перехоплюючих автостоянок є зменшення попиту на довгострокове паркування у центрі міста, зменшення транспортних заторів на вулично–дорожній мережі центральної частини міста і на магістральних вулицях, що ведуть до неї, покращення доступності різних точок центральної частини, а також поліпшення екологічної ситуації у місті в цілому через зменшення шуму та забруднення повітря. Крім того, такі автостоянки потребують специфічного проектування за такими основними принципами [4,5]:

- максимальна відстань від терміналу міського громадського транспорту або зупинки – 300 метрів;
- можливість висадки пасажирів з транспортного засобу, достатня кількість місць для паркування (не менш ніж 400), наявність стелажів із замками для велосипедів;
- зручність придбання квитків на міський громадський транспорт;
- зрозуміла та своєчасна інформація про міський громадський транспорт (наявні сервіси та тарифи, інформація про розклад та графіки руху в реальному масштабі часу);
- добра освітленість, безпечність і чітке маркування пішохідних/веломаршрутів до (від) сусідніх житлових або бізнес–центрів.

Загальну схему взаємодії перехоплюючої автостоянки з міським громадським транспортом показано на рисунку 2.

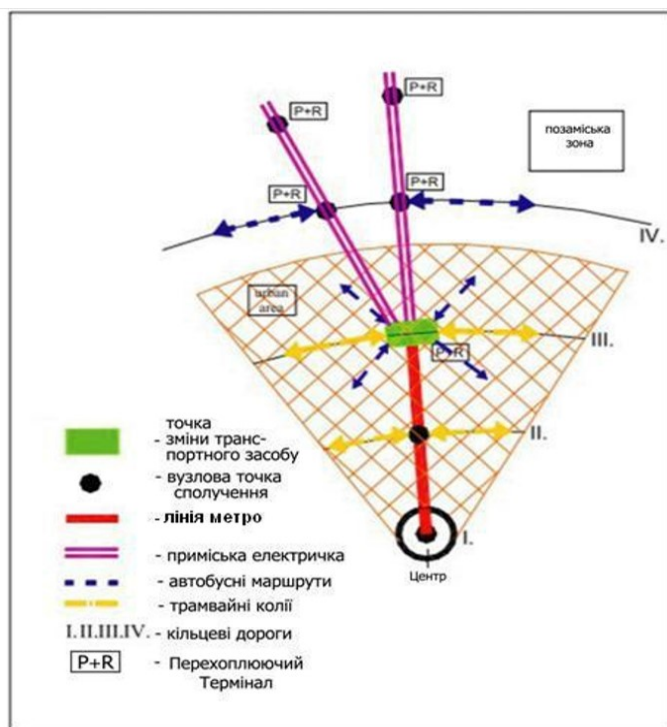


Рисунок 2 – Схема взаємодії перехоплюючої автостоянки з громадським транспортом [5]

Figure 2 – Scheme of interaction of intercepting parking lot with public transport [5]

Як показали дослідження, у 2010 році рівень автомобілізації в м.Києві складав 213 авт./тис. жителів, а коефіцієнт користування автомобілем – 88 % (тобто власники автомобілів у 9 випадках з 10 використовували їх для поїздки в межах міста) [6]. За умов економічного розвитку перший показник (рівень автомобілізації) має зростати, а другий (коефіцієнт користування автомобілем) – зменшуватись (наприклад, у Лондоні та Берліні цей показник приблизно дорівнює 50 %). Такий результат досягається, коли у місті є зручна й розгалужена система громадського транспорту (насамперед – швидкісного), яка дає змогу швидко і зручно переміщуватись майже у будь–яку точку міста і за його межі, а також зручна система пішохідних вулиць та тротуарів.

Аналогічні по своїй суті міркування щодо сучасної транспортної політики в містах наведені в монографії одного з найвідоміших американських вчених–транспортників, професора Пенсільванського університету Vukan R.Vuchuk [7] – заходи, спрямовані на поліпшення умов руху та попередження заторів, завжди пов'язані з невідворотними обмеженнями попиту та передбачають,

зокрема, надання переваг в русі засобам громадського транспорту, введення жорсткого регульованого паркувального режиму і тарифів з прогресивною погодинною ставкою (значне збільшення плати за довготривалу стоянку, особливо в центрі міста).

В містах Європи накопичено значний досвід щодо організації комбінованих поїздок (індивідуальний та громадський транспорт) з використанням перехоплюючих стоянок; загальна місткість таких стоянок нерідко перевищує 10 тис. машино-місць (наприклад, у м. Мілані (Італія) – 12400; у м. Гамбургу (Німеччина) – 13480; у м. Мадриді (Іспанія) – 14770; у м. Мюнхені (Німеччина) – 20130 [5]).

Організація системи паркування «Park&Ride» на підходах до центральної частини м. Амстердама (Нідерланди) дає змогу кожному жителю в режимі онлайн промоніторити розташування таких автостоянок та отримати інформацію про доступну кількість вільних місць (див. рисунок 3). Паркування в центрі цього міста обійдеться власникам індивідуальних легкових автомобілів набагато дорожче, ніж на його околицях (середня вартість паркування в центрі становить € 60–80 за день, в той час як на перехоплюючій автостоянці – всього € 8). До того ж, скориставшись такою стоянкою, водій та пасажир легкового автомобіля (до 5 чол.) отримують безкоштовні квитки на проїзд міським громадським транспортом до місця роботи та назад. Тим самим влада міста заохочує людей використовувати для переміщення в центральну частину саме громадський транспорт [8].

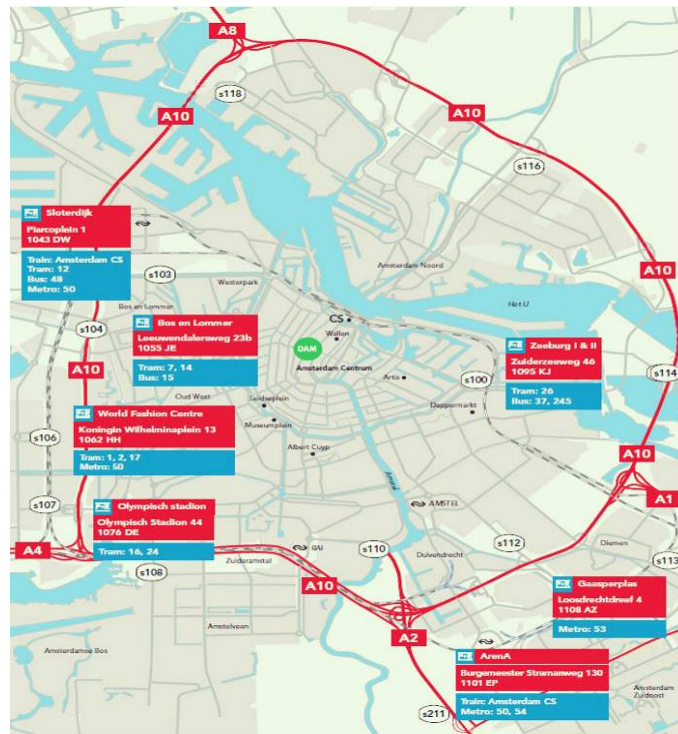


Рисунок 3 – Схема розташування перехоплюючих автостоянок в м. Амстердамі [8]

Figure 3 – Location scheme of the intercepting car parks in Amsterdam [8]

На відміну від міст-мільйонників Європи, в яких системи паркування «Park&Ride» функціонують вже багато років, першу перехоплюючу автостоянку у м. Києві відкрили у 2013 році біля станції метро «Іподром»; вона була розрахована на 205 машино-місць, година перебування початково обходилась власникам автомобілів в 5 грн., 12 годин – в 11 грн., доба – в 22 грн [9].

Як відомо, до числа основних факторів, які впливають на вибір того чи іншого способу транспортного переміщення, відносять його тривалість, дальність та вартість [10]. Тому для дослідження доцільності влаштування перехоплюючих автостоянок в м. Києві було проведено експеримент по визначенню загальних витрат часу пасажирів-мешканців м. Боярки при їх переміщеннях в ранкові періоди «пік» в центральну частину м. Києва (маршрут руху: пр-т Глушкова – пр-т Голосіївський – вул. В.Васильківська – вул. Хрещатик – Поштова площа). Були розглянуті два варіанти вказаних переміщень: при використанні на всьому шляху слідування індивідуального легкового автомобіля, а також комбінована поїздка (індивідуальний автомобіль – метрополітен) з використанням перехоплюючої автостоянки біля станції метро «Іподром» (пр-т Глушкова). Загальна

довжина проїзду по вулично–дорожній мережі м. Києва від вказаної автостоянки до Поштової площі складає близько 16 км.

Загальні витрати часу при комбінованій поїздки ($T_A + T_{\Pi}$) визначались як складові таких елементів, год:

$$T_A + T_{\Pi} = t'_{\text{А}} + t'_{\text{АО}} + t'_{\text{ПП}} + t_{\text{оч}} + t_o + t''_{\text{ПП}},$$

де $t'_{\text{А}}$ – час поїздки до автостоянки (станції метро «Іподром»); $t'_{\text{АО}}$ – час зайняття місця на стоянці; $t'_{\text{ПП}}$ – час пішого підходу до вказаної станції; $t_{\text{оч}}$ – час очікування поїздки на цій станції; t_o – час руху в метрополітені; $t''_{\text{ПП}}$ – час пішохідного руху від станції метро «Поштова площа» до місця призначення.

Як свідчить аналіз отриманих експериментальних даних про витрати часу на маршруті м. Боярка – м. Київ (Поштова площа) для кожного з варіантів переміщення (див. таблицю 1 та рисунок 4):

– середні витрати часу на проїзд від станції метро «Іподром» до Поштової площі при використанні індивідуального транспорту склали близько 45 хвилин, в той час комбінована поїздка тривала близько 35 хвилин, тобто використання позавуличного міського громадського транспорту (метрополітену) як альтернативи індивідуальному транспорту в загальному випадку дозволяє пасажиром зменшити витрати часу та, що є не менш важливим, суттєво підвищити гарантії своєчасності здійснення поїздки;

Таблиця 1 – Витрати часу на окремих етапах маршруту м. Боярка – м. Київ (Поштова площа)
Table 1 – Spending time on individual stages of the Boyarka route – Kyiv (Poshtova square)

Варіант переміщення	Тривалість переміщення від початкового пункту (м. Боярки) до конкретного об'єкту вулично–дорожньої мережі м. Києва, год				
	вул.Голосіївська (станція метро «Голосіївська»)	вул. Кудрі (станція метро «Либідська»)	вул. Німецька (станція метро «Палац «Україна»)	вул. Толстого (станція метро «Площа Льва Толстого»)	Поштова площа
Індивідуальний легковий автомобіль	0,53	0,66	0,76	0,94	1,05
Комбінована поїздка (індивідуальний легковий автомобіль – метрополітен)	0,60	0,68	0,73	0,78	0,83

– очікувані витрати коштів на переміщення до центру міста та наступне повернення назад (з урахування вартості палива на індивідуальну поїздку, вартості 12–ти годинного паркування та проїзду в метрополітені) навіть без врахування ймовірних витрат на паркування індивідуального легкового автомобіля в центральній частині (яке априорі має бути дорожчим, ніж його перебування на перехоплюючій стоянці) при переміщенні по комбінованій схемі є, як мінімум, вдвічі меншими, а тому використання громадського транспорту при русі по місту, незалежно від району розташування, буде економічно вигіднішим.

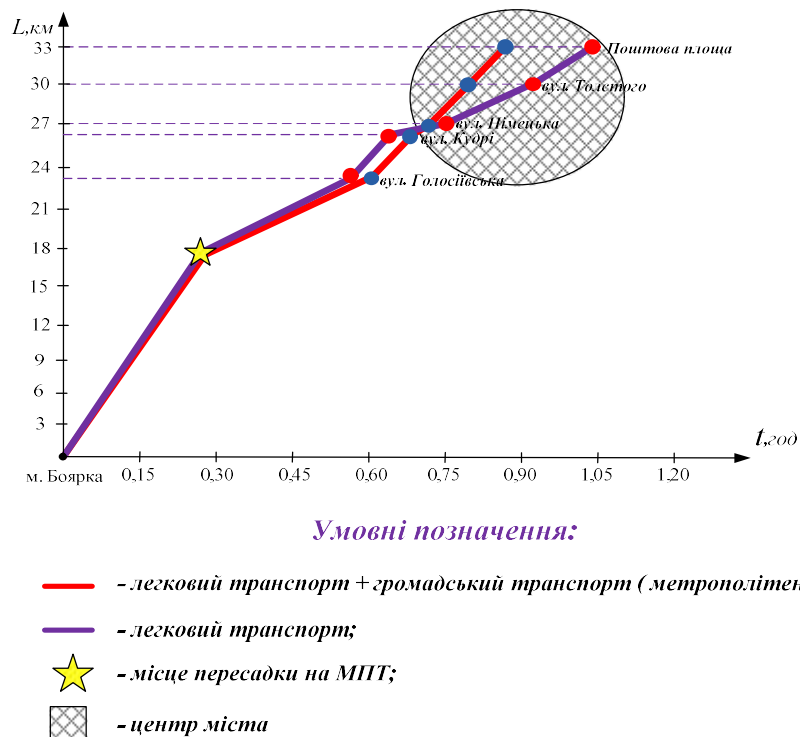


Рисунок 4 – Витрати часу на окремих етапах маршруту м. Боярка – м. Київ (Поштова площа)
Figure 4 – Spending time on individual stages of the Boyarka route – Kyiv (Poshtova square)

За результатами досліджень, проведеними американськими вченими, було розраховано ймовірність користування перехоплюючими автостоянками власниками індивідуальних легкових автомобілів, яка залежить від відношення показників часу руху по маршруту при повному використанні індивідуального транспорту до витрат часу на комбіновану поїздку. Було встановлено, наприклад, що при тривалості комбінованої поїздки в 1,5–1,6 рази довше порівняно із індивідуальною поїздкою, ймовірність користування такою автостоянкою складе лише 7 %, проте якщо комбінована поїздка буде вдвічі швидшою, то вказана ймовірність теоретично може становити 100% [9].

Визначені за такою методикою ймовірності в межах досліджуваного маршруту проїзду по м. Києву залежать від розташування кінцевого пункту переміщення пасажирів і становлять від 40–50 % (можливі об'єкти на Голосіївському пр-ті та вул. В. Васильківській) до 80–90 % (вул. Хрещатик, Поштова площа), тобто ймовірність використання системи «Park&Ride» суттєво збільшується при здійсненні поїздок в центральну частину на відстань більш ніж 10 км, а також за умови можливості використання метрополітену.

Зараз в м. Києві вживаються заходи щодо проведення інвестиційних конкурсів та залучення інвесторів для будівництва багаторівневих, а також підземних паркінгів, на під'їзних шляхах до міста та біля станцій метрополітену. Зокрема, розглядається можливість щодо утворення на базі КП «Київтранспарксервіс» перехоплюючих автостоянок біля кінцевих станцій ліній метрополітену («Теремки», «Лісова», «Червоний Хутір» і «Сирець») загальною місткістю 600–700 машино-місць [11]. У поєднанні з іншими заходами (наприклад, обмеженням паркування на вулицях в центрі міста, введенням плати за паркування по всьому центру міста, надійною мережею метрополітену, а також покращеним виглядом/подачею послуг громадського транспорту), мережа добре продуманих і зручно розташованих таких перехоплюючих автостоянок має сприяти зменшенню потоку індивідуальних легкових автомобілів на радіальних магістральних вулицях та у центрі м. Києва.

Для оцінки впливу наявності перехоплюючих автостоянок на розподіл інтенсивності руху на таких вулицях в подальшому планується провести відповідні дослідження з використанням обладнання науково-дослідного центру, передбаченого міжнародним проектом «Master in Smart Transport and Logistics for Cities» (SmaLog) («Розумний транспорт і логістика для міст») [12].

Висновки

У зв'язку зі значним зростанням кількості автотранспорту, відставанням реалізації транспортних потреб від масового житлового будівництва та непристосованістю історичної частини міста, у м. Києві зараз загострилась проблема паркування (насамперед – в центральних районах).

Як свідчить європейський досвід, одним з практичних шляхів вирішення цієї проблеми є влаштування т.з. перехоплюючих автостоянок (система «Park&Ride»). На підходах до центральних часин міст–мільйонників Європи успішно функціонують мережі таких стоянок, що забезпечують успішну організацію комбінованих поїздок (індивідуальний та громадський транспорт).

Для дослідження доцільності влаштування перехоплюючих автостоянок в м. Києві було проведено експеримент по визначенню загальних витрат часу пасажирів–мешканців м. Боярки при їх переміщеннях в ранкові періоди «пік» в центральну частину м. Києва (маршрут руху: пр-т Глушкова – пр-т Голосіївський – вул. В.Васильківська – вул. Хрещатик – Поштова площа). Були розглянуті два варіанти вказаних переміщень: при використанні на всьому шляху слідування індивідуального легкового автомобіля, а також комбінована поїздка (індивідуальний автомобіль – метрополітен) з використанням перехоплюючої автостоянки біля станції метро «Іподром» (пр-т Глушкова).

Як свідчить аналіз отриманих даних, використання громадського транспорту (метрополітену) для пересування по м. Києву як альтернативи індивідуальному транспорту дозволяє пасажирам зменшити витрати часу та, що є не менш важливим, суттєво підвищити гарантії своєчасності здійснення поїздки. Крім того, очікувані витрати коштів на переміщення до центру міста та наступне повернення назад (з урахуванням вартості палива на індивідуальну поїздку, вартості 12-ти годинного паркування та проїзду в метрополітені) навіть без врахування ймовірних витрат на паркування індивідуального легкового автомобіля в центральній частині при переміщенні по комбінованій схемі є, як мінімум, вдвічі меншими, а тому використання громадського транспорту при русі по місту, незалежно від району розташування, буде економічно вигіднішим.

Організація в м. Києві мережі перехоплюючих автостоянок біля кінцевих станцій ліній метрополітену («Теремки», «Лісова», «Червоний Хутір» і «Сирець») у поєднанні з іншими заходами (наприклад, обмеженням паркування на вулицях в центрі міста, введенням плати за паркування по всьому центру міста, надійною мережею метрополітену, а також покращенням виглядом/подачею послуг громадського транспорту), сприятиме зменшенню потоку індивідуальних легкових автомобілів на радіальних магістральних вулицях та у центрі м. Києва.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Генеральний план м. Києва. Схема розміщення гаражів та автостоянок. [Електронний ресурс] / Режим доступу : <https://www.facebook.com/genplankieva>
2. Генеральний план м.Києва. Інтенсивність руху транспорту на в'їздах в м. Київ. [Електронний ресурс] / Режим доступу : <https://www.facebook.com/genplankieva>
3. «Park and ride – politics, policy and planning». Town and Country Planning Association. March 2010. Retrieved 2012–01–19.
4. Поліщук В.П., Красильнікова О.В., Дзюба О.П. Транспортне планування міст. – К.: Знання України, 2014. – 372с.
5. Менделев Г.А. Транспорт в планировке городов: Учебное пособие /МАДИ (ГТУ). – М., 2005 – 135 с.
6. Осетрін М.М. Особливості автомобілізації міст України (на прикладі м. Києва) / М.М. Осетрін, О.В. Стельмах // Містобудування та територіальне планування. – К.: КНУБА, 2000. – Вип. 5. – С. 176–183.
7. Вукан Р.Вучик. Транспорт в городах, удобных для жизни / пер.с. англ. Территория будущего, – М., 2011. – 414 с. ISBN 978–5–911–29–058–0
8. Паркування P+R (Park&Ride): Парковки в Європі. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://travelyourway.com.ua/ua/planirovanie-samostoyatelnyh-puteshestvij/avtomobilistam>
9. У Києві відкрили перший перехоплюючий паркінг. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ua.news.liga.net/kyiv/news>
10. Галабурда В.Г. Единая транспортная система. – М.: Транспорт, 1996. – 295 с.
11. Біля 4 станцій метро у Києві створюють перехоплюючі паркінги. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://fakty.ictv.ua/ua/lifestyle/auto>
12. Detailed description of the project «Master in Smart Transport and Logistics for Cities «SmaLog» 585832–EPP–1–2017–1–IT–EPPKA2–CBNE–JP. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://smalog–2017.uniroma2.it>

REFERENCES

1. Generalnyi plan m. Kyieva. Skhema rozmishchenia garazhiv ta avtostoianok. [Virtual resource] / Mode of access: <https://www.facebook.com/genplankieva> [in Ukrainian]
2. Generalnyi plan m. Kyieva. Intensyvni rukhu transport na vyzdakh v m. Kyiv. [Virtual resource] / Mode of access: <https://www.facebook.com/genplankieva> [in Ukrainian]
3. «Park and ride – politics, policy and planning». Town and Country Planning Association. March 2010. Retrieved 2012–01–19
4. Polishchuk V.P., Krasnylnikova O.V., Dziuba O.P. Transportne planuvannia mist [Transport urban planning]. Kyiv, Znannia Ukrainy Publ., 2014. 372 p. [in Ukrainian]
5. Myendyelyev G.A. Transport v planirovke gorodov: Uchyebnoye posobiye /MADI(GTU) [Transport in city planning: Tutorial /MADI(STU)]. Moscow, 2005, 135 p. [in Russian]
6. Osietrin M.M., Stelmakh O.V. Osoblyvosti avtomobilizatsii mist Ukrainy (na prykladi m. Kyieva) [Features of motorization in the cities of Ukraine (for example, Kiev)] // Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia [Urban planning and territorial planning]. Kyiv, KNUBA Publ., 2000. 176–183 p. [in Ukrainian]
7. Vukan R. Vuchyk. Транспорт в городах, удобных для жизни [Transport in cities that are convenient for life] / Territoriya budushcheyego Publ., Moscow, 2011, 414 p. ISBN 978–5–911–29–058–0 [in Russian]
8. Parkuvania P+R (Park&Ride): Parkovky v Yevropi. [Virtual resource] / Mode of access: <https://travelyourway.com.ua/ua/planirovanie-samostoyatelnyh-puteshestvij/avtomobilistam> [in Ukrainian]
9. U Kyievi vidkryly pershyi perekhopliuiuchy parking. [Virtual resource] / Mode of access: <http://ua.news.liga.net/kyiv/news> [in Ukrainian]
10. Galaburda V.G. Edinaya transportnaya sistyema [Unified transport system]. Moscow, Transport Publ., 1996, 295 p. [in Russian]
11. Bilia 4 stantsii metro u Kyievi stvorili perekhopliuiuchy parkingy. [Virtual resource] / Mode of access: <https://fakty.ictv.ua/ua/lifestyle/auto> [in Ukrainian]
12. Detailed description of the project «Master in Smart Transport and Logistics for Cities «SmaLog» 585832-EPP-1-2017-1-IT-EPPKA2-CBHE-JP. [Virtual resource] / Mode of access: <http://smalog-2017.uniroma2.it>

РЕФЕРАТ

Поліщук В.П. Організація перехоплюючих автостоянок (система паркування «PARK&RIDE») в м. Києві / Поліщук В.П., С.В. Янішевський, О.В. Гуменюк // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

В статті визначені основні проблеми з паркуванням в м. Києві та їх причини, проведено аналіз європейського досвіду з організації системи паркування за принципом «Park&Ride», визначені основні цілі та принципи проектування перехоплюючих автостоянок для реалізації цієї системи, а також проведено дослідження доцільності влаштування таких автостоянок в м. Києві (експеримент по визначенню загальних витрат часу пасажирів-мешканців м. Боярки при їх переміщеннях в ранкові періоди «пік» в центральну частину м. Києва).

Об'єкт дослідження – загальні методичні положення організації перехоплюючих стоянок (систем «Park&Ride») та організація комбінованих поїздок (індивідуальний та громадський транспорт) з використанням перехоплюючої автостоянки біля станції метро «Іподром» (пр-т. Глушкова) в м. Києві.

Предмет дослідження – процес переміщення пасажирів-мешканців м. Боярки в ранкові періоди «пік» в центральну частину м. Києва.

Як засвідчили результати проведеного експерименту, використання громадського транспорту (метрополітену) для пересування по м. Києву як альтернативи індивідуальному транспорту дозволяє пасажиром зменшити витрати часу та, що є не менш важливим, суттєво підвищити гарантії своєчасності здійснення поїздки. Крім того, переміщення по маршруту м. Боярка – м. Київ по комбінованій схемі (з використанням громадського транспорту при русі по місту, незалежно від району розташування), буде економічно вигіднішим.

Організація в м. Києві мережі перехоплюючих автостоянок біля кінцевих станцій ліній метрополітену («Теремки», «Лісова», «Червоний Хутір» і «Сирець») у поєднанні з іншими заходами (наприклад, обмеженням паркування на вулицях в центрі міста, введенням плати за паркування по всьому центру міста, надійною мережею метрополітену, а також покращенням виглядом/подачею

послуг громадського транспорту), сприятиме зменшенню потоку індивідуальних легкових автомобілів на радіальних магістральних вулицях та у центрі м. Києва.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СИСТЕМА ПАРКУВАННЯ, ЦЕНТРАЛЬНА ЧАСТИНА, ПЕРЕХОПЛЮЮЧА АВТОСТОЯНКА, СИСТЕМА «PARK&RIDE», ІНДИВІДУАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬ, ГРОМАДСЬКИЙ ТРАНСПОРТ, КОМБІНОВАНА ПОЇЗДКА, ВИТРАТИ ЧАСУ

ABSTRACT

Polishchuk V., Yanishevskiy S., Humeniuk O. Organization of the intercepting parking lots («PARK & RIDE» parking system) in Kyiv. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The paper identifies the main problems with parking in Kiev and their causes, analyzes the European experience in organizing a parking system according to the Park & Ride principle, identifies the main goals and principles for designing the intercepting parking for the implementation of this system, and also studies the feasibility of such car parks in Kiev (an experiment to determine the total time spent by passengers-residents of Boyarka when they move in the morning «peak» periods to the central part of Kiev).

Object of the study – the general methodological provisions for organizing intercepting parking (Park & Ride systems) and organizing combined trips (individual and public transport) using the intercepting parking at the «Ipodrom» metro station (Glushkov Avenue) in Kiev.

Subject of the study – the process of moving passengers-residents of the Boyarka city in the morning periods of «peak» in the central part of the city of Kiev.

As shown by the results of the experiment, the use of public transport (metro) to travel around Kiev as an alternative to individual transport allows passengers to reduce time and, more importantly, significantly increase the guarantee of timeliness of travel. In addition, moving along the route of the Boyarka – Kyiv city according to a combined scheme (using public transport when driving around the city, regardless of the area of location), will be economically advantageous.

The organization in Kiev of a network of intercepting car parks at the end stations of metro lines («Teremki», «Lisova», «Chervony Khutir» and «Syrets») in combination with other measures (for example, restricting parking on the streets in the city center, introducing parking throughout the city center, a reliable metro network, as well as an improved view / supply of public transport services) will help to reduce the flow of individual cars on the radial trunk streets and in the center of Kiev.

KEYWORDS: PARKING SYSTEM, CENTRAL PART, INTERCEPTIVE PARKING, PARK & RIDE SYSTEM, INDIVIDUAL CAR, PUBLIC TRANSPORT, COMBINED TRIP, TIME COSTS

РЕФЕРАТ

Полищук В.П. Организация перехватывающих автостоянок (система парковки «PARK & RIDE») в г. Киеве / Полищук В.П., С.В. Янишевский, А.В. Гуменюк // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье определены основные проблемы с парковкой в г. Киеве и их причины, проведен анализ европейского опыта по организации системы парковки по принципу «Park & Ride», определены основные цели и принципы проектирования перехватывающих автостоянок для реализации этой системы, а также проведено исследование целесообразности устройства таких автостоянок в г. Киеве (эксперимент по определению общих затрат времени пассажиров-жителей г. Боярки при их перемещениях в утренние периоды «пик» в центральную часть г. Киева).

Объект исследования – общие методические положения организации перехватывающих стоянок (систем «Park & Ride») и организация комбинированных поездок (индивидуальный и общественный транспорт) с использованием перехватывающей автостоянки у станции метро «Ипподром» (пр-т. Глушкова) в г. Киеве.

Предмет исследования – процесс перемещения пассажиров-жителей г. Боярки в утренние периоды «пик» в центральную часть г. Киева.

Как показали результаты проведенного эксперимента, использование общественного транспорта (метрополитена) для передвижения по г. Киеву как альтернативы индивидуальному транспорту позволяет пассажирам сократить расходы времени и, что не менее важно, существенно повысить гарантии своевременности осуществления поездки. Кроме того, перемещение по маршруту г. Боярка – г. Киев по комбинированной схеме (с использованием общественного транспорта при движении по городу, независимо от района расположения), будет экономически выгодным.

Организация в г. Киеве сети перехватывающих автостоянок у конечных станций линий метрополитена («Теремки», «Лесная», «Красный Хутор» и «Сырец») в сочетании с другими мерами (например, ограничением парковки на улицах в центре города, введением платы за парковку по всему центру города, надежной сетью метрополитена, а также улучшенным видом / подачей услуг общественного транспорта), будет способствовать уменьшению потока индивидуальных легковых автомобилей на радиальных магистральных улицах и в центре г. Киева.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: СИСТЕМА ПАРКОВКИ, ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ, ПЕРЕХВАТЫВАЮЩАЯ ПАРКОВКА, СИСТЕМА «PARK & RIDE», ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ АВТОМОБИЛЬ, ОБЩЕСТВЕННЫЙ ТРАНСПОРТ, КОМБИНИРОВАННАЯ ПОЕЗДКА, ЗАТРАТЫ ВРЕМЕНИ

АВТОРИ:

Полищук Володимир Петрович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри транспортних систем і безпеки дорожнього руху, e-mail: tsbdr@ukr.net. Тел 0442804885, Україна, 01010, м. Київ вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 432а, orcid.org/0000-0003-3145-7225.

Янішевський Сергій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортних систем і безпеки дорожнього руху, e-mail: s.yanishevskiy@ukr.net. Тел 0442804885, Україна, 01010, м. Київ вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 435, orcid.org/0000-0002-0113-5463.

Гуменюк Олександра Валентинівна, аспірант, Національний транспортний університет, e-mail: oleksandra27@online.ua. Тел 0930867291, Україна, 01010, м. Київ вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 435, orcid.org/0000-0001-5543-5229.

AUTHOR:

Polishchuk Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, the Head of the Department of Transport System and Traffic Safety, e-mail: tsbdr@ukr.net. Tel 0442804885, Ukraine, 01010, m. Kyiv st. Omelyanovycha-Pavlenka 1, k. 432a, orcid.org/0000-0003-3145-7225.

Yanishevskiy Serhii., Ph.D., Associate professor, National Transport University, assistant professor of the Department of Transport System and Traffic Safety, e-mail: s.yanishevskiy@ukr.net. Tel 0442804885, Ukraine, 01010, m. Kyiv st. Omelyanovycha-Pavlenka 1, k. 435, orcid.org/0000-0002-0113-5463.

Humeniuk Oleksandra, postgraduate, National Transport University, e-mail: oleksandra27@online.ua. Tel 0930867291, Ukraine, 01010, m. Kyiv st. Omelyanovycha-Pavlenka 1, k. 435, orcid.org/0000-0001-5543-5229.

АВТОРЫ:

Полищук Владимир Петрович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, заведующий кафедрой транспортных систем и безопасности дорожного движения, e-mail: tsbdr@ukr.net. Тел 0442804885, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляновича-Павленка 1, к. 432а, orcid.org/0000-0003-3145-7225.

Янишевский Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры транспортных систем и безопасности дорожного движения, e-mail: s.yanishevskiy@ukr.net. Тел 0442804885, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляновича-Павленка 1, к. 435, orcid.org/0000-0002-0113-5463.

Гуменюк Александра Валентиновна, аспирант, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, e-mail: oleksandra27@online.ua. Тел 0930867291, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляновича-Павленка 1, к. 435, orcid.org/0000-0001-5543-5229

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Белятинський Андрій Олександрович, доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, завідувач кафедри реконструкції аеропортів та автошляхів, м.Київ, Україна.

Прокудін Георгій Семенович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, м.Київ, Україна.

REVIEWERS:

Belyatiansky Andrey Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Aviation University, the Head of the Department of Airport and Road Reconstruction, Kyiv, Ukraine

Prokudin Heorhii Semenovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, the Head of the Department of International Transportation and Customs Control, Kyiv, Ukraine

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ КЛАСТЕРІВ

Прокудін Г.С., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, p_g_s@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2077-5746

Чупайленко О.А., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, dozentalexey@gmail.com, orcid.org/0000-0002-2004-0355

Гілевська К.Ю., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, katerinagui@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0076-0942

Майданик К.О., Національний транспортний університет, Київ, Україна, emaidanik@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7083-3417

FEATURES OF FORMATION AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT TRANSPORT AND LOGISTIC CLUSTERS

Prokudin G.S., Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, Kyiv, Ukraine, p_g_s@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2077-5746

Chupaylenko O.A., PhD, National Transport University, Kyiv, Ukraine, dozentalexey@gmail.com, orcid.org/0000-0002-2004-0355

Hilevska K.Y., PhD, National Transport University, Kyiv, katerinagui@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0076-0942

Maidanyk K.O., National Transport University, Kyiv, Ukraine, emaidanik@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7083-3417

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ

Прокудин Г.С., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, p_g_s@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2077-5746

Чупайленко А.А., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, dozentalexey@gmail.com, orcid.org/0000-0002-2004-0355

Гилевская Е.Ю., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, katerinagui@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0076-0942

Майданик Е.А., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, emaidanik@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7083-3417

Постановка проблеми. Сучасні ринкові умови вимагають від України формування конкурентоздатної логістичної системи з подальшим входженням в міжнародну світову макросистему, що дозволить Україні сформувати конкурентоздатну транспортну систему та ефективну інфраструктуру, посилити міжнародні зв'язки з іншими торгівельними регіонами та країнами.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженню теоретичних та практичних питань формування та розвитку кластерів присвячені праці багатьох науковців, серед них роботи зарубіжних вчених: М. Портера [1], М. Енрайта [2], К. Кетельса [3], В. Прайса [4]. Серед українських вчених потрібно зазначити праці наступних науковців, а саме: М. Войнаренка [5], Г. Клейнера [6], В. Дубницького [7], І. Мартиняка [8], Н. Мікули [9].

Мета статті. Метою статті є вивчення особливостей формування та перспектив розвитку кластерів на транспорті для підвищення ефективності функціонування транспортного комплексу країни.

Виклад основного матеріалу. Україна має перспективи розвитку транспортно-логістичних кластерів, що підкріплюється стійким зростанням обсягів зовнішньої торгівлі і відповідним зростанням об'ємів транзитних перевезень вантажів.

Стратегія розвитку кластерів в Україні полягає у створенні умов для їх ефективної роботи.

З цієї метою необхідне створення системи заходів державного регулювання, розробленої для конкретного товару, ситуації, що склалася на його виробництві. Дана система передбачає пільгове кредитування та оподаткування, стимулювання виробництва високотехнологічної продукції, розробку заходів по перепрофілюванню збиткових підприємств регіону, по просуванню продукції на зовнішні ринки, по формуванню інформаційної та транспортної інфраструктури, що сприяє розширенню зв'язків між кластерами тощо [10].

Сьогодні ще не вирішеними залишаються проблеми державної стратегії формування та підтримки регіональних кластерів, розробки програми кластеризації в Україні.

Логістичний кластер – це сукупність регіональних автотранспортних підприємств, представників-підприємств інших видів транспорту, логістичних фірм, ліцензійних складів, органів місцевої влади та науково-дослідних інститутів у формі асоціативного утворення з адекватним фінансуванням внесками учасників, діючою інфраструктурою, сучасними комунікаційними зв'язками, які посилюють взаємодію та переваги в порівнянні з іншими конкурентами, що дозволяє підвищити інвестиційну привабливість та стійкий розвиток регіональної території [11].

Варто дати визначення кластера основоположником кластерного розвитку американця М. Портера, який визначився наступним чином: «кластери – це сконцентровані за географічною ознакою групи взаємопов'язаних компаній, спеціалізованих постачальників, постачальників послуг, фірм у споріднених галузях, а також пов'язаних з їхньою діяльністю організацій (наприклад, університетів, агентств зі стандартизації, а також торговельних об'єднань) у певних сферах, що конкурують між собою і водночас здійснюють спільну діяльність» [1].

Створення кластерів дозволяє підприємствам, що входять до нього стрімкіше і легше досягти головної мети – економічного зростання свого бізнесу. Це відбувається завдяки полегшенню доступу до постачальників, робочій сили, інформації, технологій, а також стимулювання процесу розвитку і впровадження нововведень.

Кожен кластер проходить через деяку кількість стадій свого розвитку. Вони можуть не бути ідентичними, і темп їх розвитку може змінюватися. Однак існує певна логіка шляху, по якому кластери розвиваються, яка робить можливим визначити деякі характерні моделі. Навіть при тому, що точна форма і напрямок будуть залежати від певних обставин, кластер проходить через наступні стадії свого життєвого циклу (рис. 1).

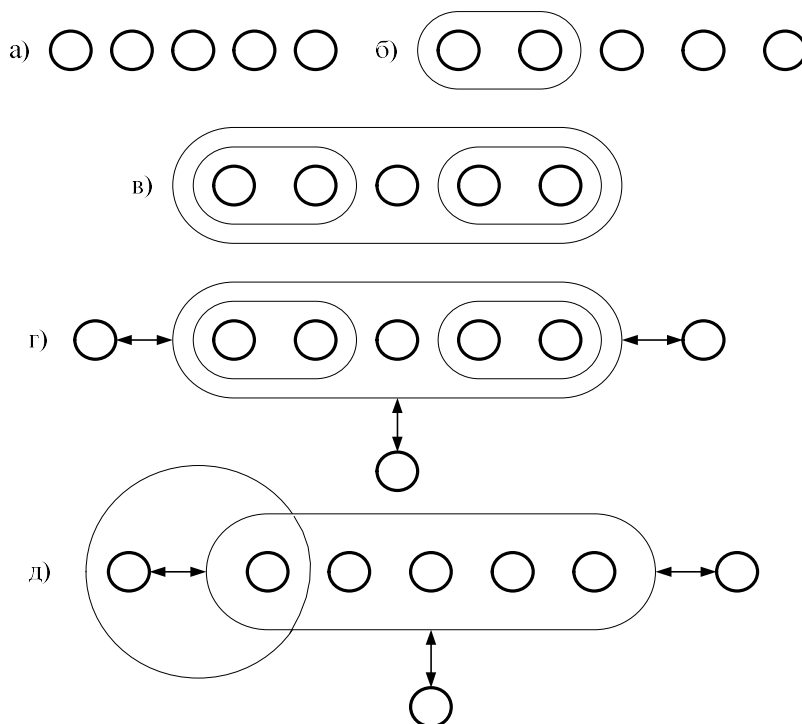


Рисунок 1 – Стадії життєвого циклу кластеру: а) агломерація; б) виниклий кластер; в) зростаючий кластер; г) зрілий кластер; д) трансформація

Figure 1 – Stages of the Cluster Life Cycle: а) agglomeration; б) emerged cluster; в) growing cluster; г) mature cluster; д) transformation

Отже визначимо вищенаведені стадії життєвого циклу кластеру [12]:

- агломерація. У регіоні існує кілька незалежних компаній і інших дійових осіб;
- виниклий кластер. Деякі учасники агломерації починають кооперуватися навколо основної діяльності та реалізовувати спільні можливості через свій зв'язок;
- зростаючий кластер. Оскільки виникають або залучаються нові учасники тієї ж або пов'язаної діяльності в регіоні, нові зв'язки виникають між усіма цими новими дійовими особами. Можуть з'явитися формальні і неформальні інститути підтримки співпраці;
- зрілий кластер. Зрілий кластер вже досяг деякої критичної маси діючих осіб. Він також розвинув зв'язку за своїми межами, з іншими кластерами, напрямками діяльності, регіонами;
- трансформація. З плином часу ринки, технології та процеси змінюються, так само, як кластери. Для кластера, щоб вижити, бути життєздатним, уникнути застою і розпаду, необхідно виробляти інновації і адаптуватися до змін. Він може обрати форму перетворення в один або кілька нових кластерів, які зосереджуються навколо іншої діяльності або просто змінити шляхи, якими постачаються продукти і послуги. Кластер не оформлюється в якості єдиної юридичної особи і не є єдиним господарюючим суб'єктом. Досить часто зустрічається спільне планування господарської діяльності групами господарюючих суб'єктів, які тимчасово об'єднуються для реалізації спільних проектів.

Досвід розвинених країн доводить, що в даний час створення сучасних технологій повинно базуватися передусім на процесах інтеграції, у тому числі шляхом розвитку кластерів. Цей досвід особливо актуальний для країн, що розвиваються і країн з перехідною економікою, для яких інноваційний розвиток є одним з головних завдань. Незважаючи на різноманітність підходів більшість промислово розвинених країн, а також ряд держав, що розвиваються виробили для себе ту або іншу кластерну стратегію.

Як показує зарубіжний досвід, області про виникнення кластерів різні і важко прогнозовані. Вони виникають як природним шляхом, так і за активної допомоги держави, тобто виникнення кластеру може бути ініційовано як знизу (організаціями), так і зверху (державою), крім того можливе ініціювання ззовні (організаціями-донорами). Тут варто зазначити, що незалежно від ініціатора створення кластери не виникають на порожньому місці, до цього завжди є передумови, наприклад, історично сформована спеціалізація і стійкі зв'язки, підприємницька активність, особливі природні умови і ресурси та інші складові. У даний час підхід, заснований на кластерній реалізації науково-промислової політики, розробляється у всіх країнах світу, причому кластерні структури досить різноманітні.

Світова практика свідчить, що в останні два десятиліття процес формування кластерів відбувався досить активно. В цілому, за оцінкою експертів, дотеперішнього часу кластеризацією охоплено близько 50% економік провідних країн світу [13]. На рис.2 представлена кількість кластерів провідних країн світу.

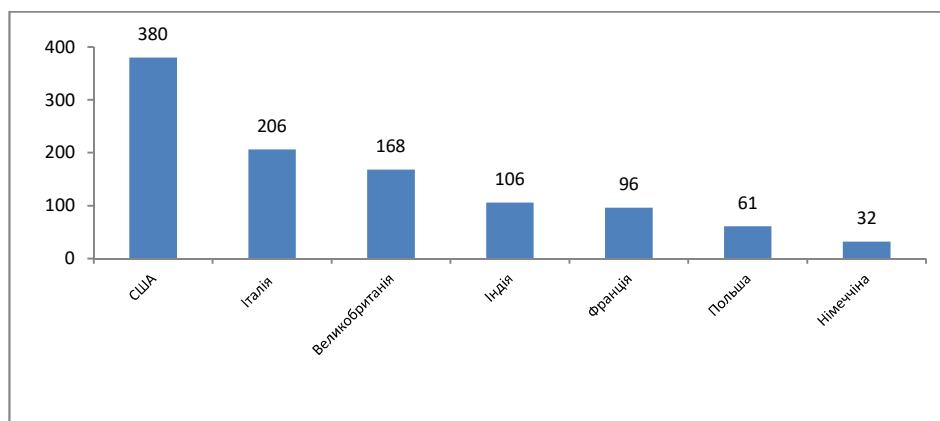


Рисунок 2 – Кількість кластерів провідних країн світу
Figure 2 – The number of clusters in the leading countries of the world

У США в рамках кластерів працює більше половини підприємств, а частка ВВП, виробленого в них, перевищила 60%. У ЄС у кластерах зайнято 38% його робочої сили. У країнах північної Європи кількість підприємств, охоплених кластерами, досягає 90%. Повністю охоплені кластеризацією датська, фінська, норвезька і шведська промисловість. Так, Фінляндія, чия економічна політика базується на кластеризації, протягом 2000-х років займає провідні місця у

світових рейтингах конкурентоспроможності. На промислові кластери Італії припадає 43% чисельності зайнятих у галузі і більше 30% обсягу національного експорту. Успішно функціонують кластерні структури в Німеччині (хімія і машинобудування), у Франції (виробництво продуктів харчування, косметики). Важливим є аналіз галузевих напрямків при формуванні кластерів у різних країнах світу.

Світовий досвід свідчить про ефективність різних видів кластерів: регіональних, національних, транскордонних та транснаціональних; кластерів традиційних галузей та інноваційних (високотехнологічних) кластерів; кластерів, що виробляють товари, і кластерів, що надають послуги.

Для наочності наведемо дані про основні галузеві напрямки кластеризації економіки деяких країн і зведемо їх в таблицю 1.

Як свідчать дослідження, саме кластерні підходи є найефективнішими інструментами стимулювання розвитку економіки, торгівельних відносин, посилення використання новітніх технологій, збільшення зайнятості в країні та розвитку конкурентоспроможності.

Таблиця 1 – Формування кластерів за галузевими напрямками

Table 1 – Formation of clusters by industry

Галузеві напрямки	Країна
Електронні технології та зв'язок, інформатика	Швейцарія, Фінляндія
Біотехнології та біоресурси	Нідерланди, Франція, Німеччина, Великобританія, Норвегія
Фармацевтика і косметика	Данія, Швеція, Франція, Італія, Німеччина
Агровиробництво і харчове виробництво	Фінляндія, Бельгія, Франція, Італія, Нідерланди
Нафтогазовий комплекс і хімія	Швейцарія, Німеччина, Бельгія
Машинобудування, електроніка	Нідерланди, Італія, Німеччина, Норвегія, Ірландія, Швейцарія
Охорона здоров'я	Швеція, Данія, Швейцарія, Нідерланди
Комунікації і транспорт	Нідерланди, Норвегія, Ірландія, Данія, Фінляндія, Бельгія
Енергетика	Норвегія, Фінляндія
Будівництво та девелопмент	Фінляндія, Бельгія, Нідерланди
Легка промисловість	Швейцарія, Австрія, Італія, Швеція, Данія, Фінляндія
Лісопаперовий комплекс	Фінляндія

Аналіз галузей промисловості, економічних регіонів та реально діючих підприємств в Україні дав можливість створити структуру кластерних систем по регіонах України (табл. 2).

Унікальне економіко-географічне положення України визначило високий транспортно-транзитний потенціал країни і необхідність інтеграції в міжнародні торговельні відносини. За розрахунками британського інституту Рендел, Україна має найвищий у Європі потенційний коефіцієнт транзитності завдяки своєму геополітичному положенню в Євразії – між Росією, Центральною Азією та Європою за досить розвиненої мережі шляхів сполучення (коефіцієнт транзитності України – 3,75, Польщі – друге місце – 2,92). Тому особливе географічне положення України, що дозволяє їй по праву займати місце транзитної держави, і як наслідок наявність великої кількості діючих транзитних транспортних коридорів, автомобільних магістралей міжнародного і європейського значення, великих транспортних вузлів, що концентрують у собі залізничні станції, аеропорти, річкові й морські порти, висуває підвищені вимоги до системи управління перевезеннями пасажирів і вантажів.

В Україні розширюються організаційні заходи для формування транспортно-логістичних кластерів [14]. Наприклад, в Херсонській області перспективним було визнано створення України транспортно-логістичного кластера, який повинен об'єднати 106 підприємств і організацій, серед яких, 3 морських торгових порти, 7 річкових портів, 5 судноплавних компаній, судноремонтні верфі, підприємства залізничного і автомобільного транспорту, аеропорт, авіапідприємства. Основні завдання кластера полягають у вдосконаленні транспортної системи області, налагодженні взаємодії підприємств транспортної галузі, реструктуризації транспортних структур. У Закарпатській області створено трансграничний логістичний кластер «Загонь» (Україна-Угорщина). Створення біля кордону з Україною логістичного центру, здатного грати роль моста транспортних перевезень між

Азією, Росією, Україною і Західною Європою, забезпечить зростання міжнародних перевезень до об'єму, як мінімум 16 млн. т вантажів в рік [6, 7].

Серед основних проблем, які пропонується вирішувати на основі використання кластерного підходу, учасники українського транспортно-логістичного ринку виділяють наступні: зношеність основних фондів всіх видів транспорту, недостатній розвиток транспортної інфраструктури (склади, залізниці і автошляхи, аеропорти, інформаційні центри, морські порти), відсутність ефективних технологій транспортування вантажів на всьому логістичному шляху, бюрократія, відсутність сучасних, оперативних інформаційних комп'ютерних технологій і систем, висока вартість кредитно-фінансових ресурсів.

Таблиця 2 – Структура кластерних систем по регіонах України
Table 2 – The structure of cluster systems in the regions of Ukraine

Економічний регіон	Пріоритетні напрями розвитку кластерів	Реально діючі кластерні структури
Подільський: Вінницька, Тернопільська, Хмельницька області	Машинобудування, підтримка існуючих кластерів (швейного, будівельного, харчового, туризму)	Хмельницький будівельний кластер, Хмельницький швейний кластер, Кам'янець-Подільський туристичний кластер, кластер сільського туризму «Оберіг», інноваційно-інвестиційний кластер (м. Тернопіль), Вінницький переробно-харчовий кластер
Карпатський: Закарпатська, Львівська, Івано-Франківська, Чернівецька області	Хімічний, харчовий, оздоровлення і туризму, деревообробки, народних промислів, швейний, будівельний, автобудування	Кластер виробництва сувенірів «Сузір'я», транспортно-логістичний кластер Закарпаття, туристський кластер «Сім чудес України», Львівський кластер ІТ та бізнес-послуг, кластер біотехнологій
Причорноморський: Миколаївська, Одеська, Херсонська області	Високих технологій, суднобудівний, мікроелектроніки, агропромисловий, рибний, логістики, оздоровлення і туризму	Транспортно-логістичний кластер «Південні ворота України» (м. Херсон), кластер «Транзитний потенціал України» (м. Одеса), 3 придунайські кластера, 5 кластерів в Миколаївській області
Поліський: Волинська, Житомирська, Рівненська області	Агропромисловий, продовольчий, екологічний туризм, деревообробки та обробки граніту	Кластер деревообробки (Рокітневський район Рівненської області), лісові кластери, туристсько-рекреаційні кластери
Придніпровський: Дніпропетровська, Запорізька, Кіровоградська області	High-Tech (геотехнології, електроніка, біотехнології), машинобудівний, металургійний, хімічний, харчової та переробної промисловості	Нац. іннов. кластер «Нові машини» та будівельний кластер (м. Дніпропетровськ), іннов. технологічний кластер «АгроБУМ» та медовий кластер «Бджола не знає кордонів» (м. Мелітополь), харчовий кластер «Купуй Запорізьке. Обирай своє» (м. Запоріжжя)
Східний: Полтавська, Сумська, Харківська області	Високі технології, хімічний, машинобудівний, металургійний, металообробки, електроенергетики, харчової, паливної промисловості агропромисловий, туризму та оздоровчого туризму	Регіональний кластер екологічно чистої агропродукції (Полтавська обл.), Сумський кластер екологічно чистої АПК продукції, Сумський будівельний кластер. Харківський технопарк «Технополіс» – кластер альтернативної енергетики та науково-освітній кластер, авіаційний, космічної сфери, енерго-машинобудівний, фармацевтичний, нано-біотехнологій, охорони здоров'я, бронетехніки, с/г машинобудування
Центральний: Київська, Черкаська області	High-Tech (нові матеріали), будівельний, машинобудування, продовольчий, туризму	Нац. іннов. кластер «Енергетика сталого розвитку» (м. Київ, Політехніка), нац. іннов. кластер «Технології інноваційного суспільства» (м. Київ, Політехніка), нац. іннов. кластер «Інноваційна культура суспільства» (м. Київ, КНУ ім. Т. Шевченка), Нац. іннов. кластер «Нові продукти харчування» (Київська обл.)

Висновки. Питання підвищення конкурентоспроможності на світовому ринку є одним з найактуальніших напрямків розвитку для України, а кластеризація – один з шляхів ефективного розвитку економіки і підтримки її на належному рівні в системі світових господарських стосунків.

Враховуючи, що транспортно-логістична галузь відіграє важливу роль в громадському виробництві нашої країни, формування транспортно-логістичних кластерів матиме велике соціальне і економічне значення як для регіональної, так і для національної економіки.

Кластери стають полюсами економічного росту не тільки окремих регіонів, в яких вони локалізовані, але й держави загалом. А завданням держави є створення необхідних умов, привабливого інвестиційного середовища для зародження нових та розвитку існуючих кластерів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Портер М.Э. Конкуренция ; пер. с англ. / М.Э. Портер. – М. : Вильямс, 2000. – 495 с.
2. Enright M.J. Survey on the Characterization of Regional Clusters: Initial Results / M.J. Enright // Working Paper, Institute of Economic Policy and Business Strategy: Competitions Program, University of Hong Kong, 2000. – 25 p.
3. Ketels C. Cluster Initiatives in Developing and Transition Economies / C. Ketels, G. Lindqvist, O. Solvell. – Stockholm : Center for Strategy and Competitiveness ; 1-st ed., 2006. – 38 p.
4. Price W. Conceptual Approaches For the Clusters Formation in Khmelnytsky Region / W. Price // Економіст. – 2008. – №10. – С. 24-26.
5. Войнаренко М. Кластери як полюси зростання конкурентоспроможності регіонів / М. Войнаренко // Економіст. – 2008. – №10. – С. 27-30.
6. Клейнер Г.Б. Синтез стратегий кластера на основе системно-интеграционной теории [Електронний ресурс] / Г.Б. Клейнер, Р.М. Качалов, Н.Б. Нагрудная // Отраслевые рынки. – 2008. – №5-6(18). – Режим доступу: <http://www.kleiner.ru/arpab/klaster.html>.
7. Дубницький В.И. Пути развития региональной экономики: аспекты эффективности кластеризации / В.И. Дубницький, С.А. Маковецкий, В.А. Бокий // Прометей: регіональний зб. наук. праць з економіки. – Донецьк : ДЕГІ, 2008. – Вип. №1(25). – С. 48-59.
8. Мартиняк І.О. Методичні підходи до оцінювання розвитку кластерних ініціатив за участю інфраструктури / І.О. Мартиняк // Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України. Серія: регіональний розвиток та транскордонне співробітництво. – Львів : ІРД НАН України, 2010. – Вип. 6(86). – С. 302-309.
9. Мікула Н.А. Сучасні підходи до визначення сутності та класифікації кластерів / Н.А. Мікула, В.Б. Базилук // Наукові записки. – Львів : УАД, 2011. – №1. – С. 138-145.
10. Закон України «Про стимулювання розвитку регіонів» від 08.09.2005 № 2850-IV www.zakon.rada.gov.ua.
11. Підвисоцький В.Г. Транскордонні кластери: європейський досвід створення та розвитку / В.Г. Підвисоцький, Т.В. Палпу // Формування ринкових відносин в Україні. – 2011. – № 4. – С. 28
12. Демченко В.В. Особливості формування транскордонних кластерів / В.В. Демченко // Регіональна економіка. – 2010. – № 3. – С. 179–186.
13. Полякова О. М., Глобалізація транспортно-логістичних систем у світовій економіці / О. М. Полякова // Вісник економіки транспорту і промисловості УкрДАЗТ. – 2011. – Вип. 26. – С. 32-34.
14. Прокудін Г.С. Перспективи транскордонного співробітництва України у транспортній сфері / Г.С. Прокудін, О.А. Чупайленко, О.С. Дудник // International Scientific Conference Innovative Economy: Processes, Strategies, Technologies / Conference Proceedings, Part II, January 27, 2017, Kielce, Poland: Baltija Publishing. – P. 53–55.

REFERENCES

- 1 Porter, M.E. (2000). Konkurentsia [Competition]. (Trans). Moscow: Williams [in Russian].
2. Enright M.J. Survey on the Characterization of Regional Clusters: Initial Results / M.J. Enright // Working Paper, Institute of Economic Policy and Business Strategy: Competitions Program, University of Hong Kong, 2000. – 25 p.
3. Ketels C. Cluster Initiatives in Developing and Transition Economies / C. Ketels, G. Lindqvist, O. Solvell. – Stockholm : Center for Strategy and Competitiveness ; 1-st ed., 2006. – 38 p.
4. Price W. Conceptual Approaches For the Clusters Formation in Khmelnytsky Region / W. Price // Економіст. – 2008. – №10. – С. 24-26.
5. Voinarenko, M. (2008). Klastery yak poliusy zrostantia konkurentospromozhnosti rehioniv [Clusters as the poles of growth of the regions' competitiveness]. Economist – Ekonomist, 10, 27-30 [in Ukrainian].

9. Mikula, N.A., & Bazyliuk, V.B. (2011). Suchasni pidhody do vyznachennia sutnosti ta klasyfikatsii klasteriv [The Modern Approaches to the Determination of Essence and Classification of Clusters]. Naukovi zapysky – Scientific notes, 1, 138-145 [in Ukrainian].

10. Law of Ukraine "On stimulation of development of regions" from 08.09.2005 № 2850 - IV www.zakon.rada.gov.ua.

11. Podvysotsky V.G. Cross-border clusters: European experience of creation and development / VG Podvysotsky, T.V. Pulp // Formation of market relations in Ukraine. - 2011. - No. 4. - P. 28.

12. Demchenko V.V. Features of the formation of cross-border clusters / VV Demchenko // Regional Economics. - 2010.-3. - pp. 179-186.

13. Polyakova O. M., Globalization of transport-logistic systems in the world economy / O. M. Polyakova // Bulletin of the Economy of Transport and Industry of UkrDazT. - 2011. - Vip. 26. - P. 32-34.

14. Prokudin G.S. Prospects of cross-border cooperation of Ukraine in transport sphere / GS Prokudin, O.A. Chupaylenko, O.S. Dudnik // International Scientific Conference Innovative Economy: Processes, Strategies, Technologies / Conference Proceedings, Part II, January 27, 2017, Kielce, Poland: The Baltic Publishing. - P. 53-55.

РЕФЕРАТ

Прокудін Г.С. Особливості формування та перспективи розвитку транспортно-логістичних кластерів / Г.С. Прокудін, О.А. Чупайленко, К.Ю. Гілевська, К.О. Майданик // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

В даній статті розглядаються особливості формування та розвиток транспортно-логістичних кластерів в передових країнах світу, а також перспективи їх створення в Україні.

Об'єкт дослідження – процес формування та розвиток транспортно-логістичних кластерів.

Мета роботи – вивчення особливостей формування та перспектив розвитку кластерів на транспорті для підвищення ефективності функціонування транспортного комплексу країни.

Метод дослідження – порівняння і статистичний аналіз структур і характеристик транспортно-логістичних кластерів в передових країнах світу.

Сучасні ринкові умови вимагають від України формування конкурентоздатної логістичної системи з подальшим входженням в міжнародну світову макросистему, що дозволить Україні сформувати конкурентоздатну транспортну систему та ефективну інфраструктуру, посилити міжнародні зв'язки з іншими торговельними регіонами та країнами.

Питання підвищення конкурентоспроможності на світовому ринку є одним з найактуальніших напрямків розвитку для України, а кластеризація – один з шляхів ефективного розвитку економіки і підтримки її на належному рівні в системі світових господарських стосунків. Враховуючи, що транспортно-логістична галузь відіграє важливу роль в громадському виробництві нашої країни, формування транспортно-логістичних кластерів матиме велике соціальне і економічне значення як для регіональної, так і для національної економіки. Кластери стають полюсами економічного росту не тільки окремих регіонів, в яких вони локалізовані, але й держави загалом. А завданням держави є створення необхідних умов, привабливого інвестиційного середовища для зародження нових та розвитку існуючих кластерів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИЙ КЛАСТЕР, ЛОГИСТИЧНИЙ ЦЕНТР.

ABSTRACT

Prokudin G.S, Chupaylenko O.A., Hilevska K.Y., Maidanik K.O. Peculiarities of formation and prospects of development of transport-logistic clusters. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

In this article the peculiarities of formation and development of transport-logistic clusters in the advanced countries of the world are considered, as well as prospects for their creation in Ukraine.

Object of research – process of formation and development of transport-logistic clusters.

The purpose of the work is to study the peculiarities of the formation and prospects of the development of transport clusters in order to improve the efficiency of the transport system of the country.

The research method is a comparison and statistical analysis of the structures and characteristics of transport and logistics clusters in the advanced countries of the world.

Modern market conditions require Ukraine to form a competitive logistics system with the further entry into the international world macrosystem, which will allow Ukraine to form a competitive transport system and effective infrastructure, strengthen international relations with other trade regions and countries.

The question of improving competitiveness on the world market is one of the most urgent areas of development for Ukraine, and clusterization is one of the ways of effective economic development and its maintenance on the proper level in the system of world economic relations. Taking into account that the transport and logistics industry plays an important role in the public production of our country, the formation of transport and logistics clusters will have great social and economic significance for both the regional and national economies. Clusters become the poles of economic growth, not only of individual regions in which they are localized, but also of the state as a whole. The task of the state is to create the necessary conditions, an attractive investment environment for the emergence of new ones and the development of existing clusters.

KEYWORDS: TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEM, TRANSPORT AND LOGISTIC CLUSTER, LOGISTIC CENTER.

РЕФЕРАТ

Прокудин Г.С. Особенности формирования и перспективы развития транспортно-логистических кластеров / Г.С. Прокудин, А.А. Чупайленко, Е.Ю. Гилевская, К.А. Майданик // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В данной статье рассматриваются особенности формирования и развития транспортно-логистических кластеров в передовых странах мира, а также перспективы их создания в Украине.

Объект исследования – процесс формирования и развития транспортно-логистических кластеров.

Цель работы – изучение особенностей формирования и перспектив развития кластеров на транспорте для повышения эффективности функционирования транспортного комплекса страны.

Метод исследования – сравнение и статистический анализ структур и характеристик транспортно-логистических кластеров в передовых странах мира.

Современные рыночные условия требуют от Украины формирования конкурентоспособной логистической системы с последующим вхождением в международную мировую макросистему, что позволит Украине сформировать конкурентоспособную транспортную систему и эффективную инфраструктуру, усилить международные связи с другими торговыми регионами и странами.

Вопросы повышения конкурентоспособности на мировом рынке является одним из самых актуальных направлений развития для Украины, а кластеризация – один из путей эффективного развития экономики и поддержания ее на должном уровне в системе мировых хозяйственных отношений. Учитывая, что транспортно-логистическая отрасль играет важную роль в общественном производстве нашей страны, формирование транспортно-логистических кластеров будет иметь большое социальное и экономическое значение как для региональной, так и для национальной экономики. Кластеры становятся полюсами экономического роста не только отдельных регионов, в которых они локализованы, но и государства в целом. А задачей государства является создание необходимых условий, привлекательной инвестиционной среды для зарождения новых и развития существующих кластеров.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ТРАНСПОРТНО-ДОГИСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИЙ КЛАСТЕР, ЛОГИСТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР.

АВТОРИ:

Прокудин Георгій Семенович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, зав. каф. міжнародних перевезень та митного контролю, професор, e-mail: p_g_s@ukr.net, +380633270243, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омелянович-Павленко, 1, к. 439, orcid.org/0000-0003-2077-5746.

Чупайленко Олексій Андрійович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, e-

mail:dozentalexey@gmail.com, тел. +380975052559, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 437, orcid.org/0000-0002-2004-0355.

Гілевська Катерина Юріївна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, e-mail: katerinagui@ukr.net, тел. +380667675197, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 437, orcid.org/0000-0003-0076-0942.

Майданик Катерина Олександрівна, Національний транспортний університет, аспірант кафедри міжнародних перевезень і митного контролю, e-mail: emaidanik@ukr.net тел. (044) 2808402, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к.437, orcid.org/0000-0002-7083-3417.

AUTHORS:

Prokudin Georgiy S., Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, head of the department of international transportation and customs control, e-mail: p_g_s@ukr.net, +380633270243, Ukraine, 01010, city Kyiv, M. Emelyanovich-Pavlenko str. 1, of. 439, orcid.org/0000-0003-2077-5746.

Chupaylenko Olexii A., PhD, associate professor, National Transport University, associate professor department international transportation and customs control, e-mail: dozentalexey@gmail.com, tel. +380975052559, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovicha-Pavlenko str. 1, of. 437, orcid.org/0000-0002-2004-0355.

Hilevska K.Yu., PhD, National Transport University, associate professor department international transportation and customs control, e-mail: katerinagui@ukr.net, tel. +380667675197, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovicha-Pavlenko str. 1, of. 437, orcid.org/0000-0003-0076-0942.

Maydanik Ekaterina, National Transport University, Postgraduate Student, Department of International Transport and Customs Control, e-mail: emaidanik@ukr.net, tel. (044) 2808402, Ukraine, 01010, city Kiev, Yemelyanovich Pavlenko str. 1, office 437, orcid.org/0000-0002-7083-3417.

АВТОРЫ:

Прокудин Георгий Семенович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, зав. каф. международных перевозок и таможенного контроля, e-mail: p_g_s@ukr.net, +380633270243, Украина, 01010, г. Київ, ул. М. Омелянович-Павленко, 1, к. 439, orcid.org/0000-0003-2077-5746.

Чупайленко Алексей Андреевич, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры международных перевозок и таможенного контроля, e-mail: dozentalexey@gmail.com, тел. +380975052559, Украина, 01010, г.. Киев, ул. М. Емельяновича-Павленко, 1, к. 437, orcid.org/0000-0002-2004-0355.

Гилевская Екатерина Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры международных перевозок и таможенного контроля, e-mail: katerinagui@ukr.net, тел. +380667675197, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Емельяновича-Павленко, 1, к. 437, orcid.org/0000-0003-0076-0942.

Майданик Екатерина Александровна, Национальный транспортный университет, аспирант кафедры международных перевозок и таможенного контроля, e-mail : emaidanik@ukr.net тел. (044) 2808402, Украина, 01010, г. Киев, ул. Емельяновича-Павленко 1, к. 437, orcid.org/0000-0002-7083-3417.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Поліщук В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, Київ, Україна.

Мямлін Сергій Віталійович, доктор технічних наук, професор, філія «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту», заступник директора, Київ, Україна.

REVIEWER:

Polishchuk V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of Transport Systems and Road Safety, Kyiv, Ukraine.

Miamlin S.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Branch "Research and Design and Technological Institute of Railway Transport", Deputy Director, Kyiv, Ukraine.

ANALIZA WPŁYWU DROGOWYCH BARIER OCHRONNYCH NA ZMNIEJSZENIE RYZYKA NIEBEZPIECZNYCH ZDARZEŃ DROGOWYCH I ICH SKUTKÓW

Savostin-Kosiak D.O., dr inż., Narodowy Uniwersytet Transportu, Kijów, Ukraina, daniel_s@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8795-5939

Michalski Jacek, Dr hab. inż., Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, Polska, jmichals@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0002-9745-9453

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ДОРОЖНІХ БАР'ЄРІВ БЕЗПЕКИ НА ЗНИЖЕННЯ РИЗИКУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД ТА ЇХ НАСЛІДКІВ

Савостін-Косяк Д.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, daniel_s@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8795-5939

Міхальскі Яцек, доктор хабілітований, Жешувська Політехніка, Жешув, Польща, jmichals@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0002-9745-9453

ANALYSIS OF THE IMPACT OF ROAD SAFETY BARRIERS ON REDUCING THE RISK OF DANGEROUS ROAD ACCIDENTS AND THEIR CONSEQUENCES

Savostin-Kosiak D.O., Ph.D in Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, daniel_s@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8795-5939

Michalski Jacek, Doctor of Technical Science, Rzeszow University of Technology, Rzeszow, Poland, jmichals@prz.edu.pl, orcid.org/0000-0002-9745-9453

WSTĘP

Drogowe bariery ochronne oraz inne bariery, mają funkcję zapobiegawczą (zmniejszania prawdopodobieństwa wystąpienia) lub ochronną (zmniejszającą dotkliwość konsekwencji) i powinny być adekwatne do konkretnego ryzyka [5, 9, 22, 39, 41]. Ogólnie, bariery ochronne to systemy fizyczne i techniczne lub jest to działanie człowieka oparte na konkretnych procedurach lub kontrolnych decyzjach administracyjnych, związane ze sposobem, w jaki funkcja bezpieczeństwa jest realizowana np. projekt ARAMIS [8, 17, 47]. Jeśli te funkcje nie zostaną spełnione, oznacza to awarię bariery bezpieczeństwa, która w większości przypadków powoduje katastrofalne skutki dla ludzi, mienia lub środowiska [19, 39]. Zasadnicze znaczenie ma zapewnienie wysokiej dostępności bariery bezpieczeństwa oraz spełnienie dużej niezawodności ich elementów, aby utrzymać ryzyko w dopuszczalnych granicach. Pod pojęciem wypadnięcia z drogi rozumie się takie pierwotne zdarzenie drogowe, w którym pojazd zjeżdża z jezdni w wyniku utraty stateczności lub nagłej zmiany kierunku jazdy (spowodowanej jazdą ze zbyt dużą prędkością, utratą przyczepności kół do nawierzchni itp.). W następstwie tego zdarzenia niekiedy następuje powrót pojazdu na jezdnię, ale bardzo często występuje wtórne zdarzenie niebezpieczne polegające na: wywróceniu się pojazdu, wjechaniu pojazdu do rowu, uderzeniu w skarpę, uderzeniu w urządzenie lub obiekt zlokalizowany w pasie drogowym albo jego bliskim otoczeniu, np. najechanie pojazdu na barierę ochronną drogową, najechanie na drzewo, najechanie na słup lub znak drogowy [20]. W ocenie ryzyka stosuje się analizy metodą drzewa zdarzeń, drzewa niezawodności i metodę probabilistyczną [17, 47, 51]. Ponadto wymagany jest zachowanie integralności bariery bezpieczeństwa drogowego podczas uderzenia, tj. główne części składowe nie powinny się łamać ani oddzielać od bariery. Po przekierowaniu/modyfikowaniu ruchu pojazdu na drogę przez barierę, jego trajektoria pozostanie w wyznaczonym polu wyjściowym/zamierzonym [36]. Wyniki estymacji wskazują, że zderzenia drogowe z barierą środkową z liny stalowej, zwiększa prawdopodobieństwo mniej poważnych skutków wypadnięcia pojazdu z drogi, aniżeli zderzenie z barierą o konstrukcji betonowej lub z blachy stalowej [18].

ANALIZ LITERATURY

Statystyki ogólnościowe pokazują, że wypadki pojazdów silnikowych są główną przyczyną śmierci i obrażeń, pomimo poprawy wytrzymałości pojazdów na uderzenia, ulepszonych znaków drogowych i stosowania zaawansowanych systemów bezpieczeństwa [2]. Według statystyk wypadków drogowych, w

ciągu ostatnich kilku lat, trzecia największa przyczyna ofiar śmiertelnych, w przedwczesnym wieku (poniżej 65 lat), to wypadek drogowy lub konsekwencje to generujące [27]. W Polsce, niestety, jest największa liczba śmierci osób na drogach na miliard pojazdów•km, wynosząca 14,6 osób (najniższa jest w Norwegii 2,7, średnia Unii Europejskiej UE19, wynosi 5,9) [2].

Metodyka budowy narzędzi zarządzania ryzykiem strategicznym w ruchu drogowym, ROAD-RISK, zawiera: modele i miary ryzyka, prognozowanie miar ryzyka, wartościowanie ryzyka i wybór skutecznych działań strategicznych i społecznych [21]. Modele strategiczne zawierają zmienne: przestrzenne, demograficzne, ekonomiczne, społeczne, motoryzacyjne, infrastrukturalne oraz transportowe. Z kolei inwestycje dotyczące bezpieczeństwa infrastruktury drogowej powinny być realizowane na określonych odcinkach dróg charakteryzujących się największą koncentracją wypadków lub największymi możliwościami ograniczenia wypadków [9].

Bariera ochronna drogowa i mostowa jest urządzeniem służącym bezpieczeństwu ruchu drogowego. Może być ona skrajna (przy - krawędzi jezdni, pasie dzielącym, obiekcie inżynierskim) lub umieszczona na pasie dzielącym jezdnie, o przeciwnych kierunkach jazdy. Przeszkody obowiązkowo są oddzielone barierami drogowymi. Bariery i balustrady są stosowane na wiaduktach i nasypach, jak również w miejscach, gdzie w pobliżu znajdują się obiekty i przeszkody stałe np. słupy lub budynki [10, 11, 42, 49]. Bariery służą także do zabezpieczenia urządzeń drogowych oraz obiektów inżynierskich. Są to zwłaszcza: sygnalizatory; konstrukcje wsporcza znaku drogowego oraz jego tablice; zapory i półzapory kolejowe; wysepki na jezdni; ogrodzenia; słupki hektometrowe; słupki przeszkodowe - pylon U-7. Bariery ochronne są metalowe U-14a (w tym łańcuchowe, linowe, stalowo-betonowe i FLEXTRA), bariery betonowe U-14b oraz bariery z innych materiałów U-14c [25]. Dobór parametrów funkcjonalno-kolizyjnych barier ochronnych dokonuje się na podstawie [6]: dopuszczalnej prędkości pojazdu ($V_{dp} \leq 90$ km/h, $V_{dp} > 90$ km/h); miejsca zagrożenia (przeszkoda: wysoka, niska, obszar zagrożony); odległości granicznych (porównanie rzeczywistej odległości od miejsc zagrożeń do krawędzi jezdni z wartościami odległości granicznych wyznaczonymi przez linie L_{ob} dla obszarów zagrożonych lub L_{prz} dla przeszkód – odpowiada to wartości: $P_{prz}=2$ m, $L_{ob}=2$ m; $P_{prz}=4,5$ m, $L_{ob}=7,5$ m; $P_{prz}=7,5$ m, $L_{ob}=11,5$ m); oceny czy istnieje inny sposób zabezpieczenia niż przez zastosowanie barier ochronnych; przedziału średniego dobowego natężenia ruchu samochodów ciężarowych i autobusów ($SDR_{SC+A} \leq 500$, $500 < SDR_{SC+A} \leq 3000$, $SDR_{SC+A} > 3000$) oraz łącznie od - poziomu powstrzymywania, odkształcenia poprzecznego (W , VI , D) i poziomu intensywności zdarzenia (A , B , C).

Zharmonizowane normatywy badań i bezpieczeństwa drogowych barier ochronnych zawierają normy i przedstawiają publikacje [5, 31, 32, 33, 34, 49].

Bariera ochronna drogowa przejmująca energię uderzenia pojazdu jest urządzeniem służącym bezpieczeństwu ruchu drogowego, mającym na celu zapobieżenie zjechaniu pojazdu z drogi w miejscach niebezpiecznych lub przejechaniu na jezdnię z przeciwnym kierunkiem ruchu, a także niedopuszczenie do kolizji z obiektami w pobliżu drogi [25, 26, 41, 46]. Cechy funkcjonalne barier ochronnych to: poziom powstrzymywania, przemieszczenie wyrażonego szerokością pracującą i poziom intensywności zderzenia. Poziom powstrzymywania jest to zdolność bariery do powstrzymywania uderzającego w nią pojazdu. Określany jest na podstawie badań zderzeniowych oraz dzieli się na: mały - T1, T2, T3 (przeznaczony tylko do tymczasowych barier ochronnych), normalny - N1, N2, podwyższony - H1, H2, H3 oraz bardzo wysoki - H4a, H4b [6]. Szerokość pracująca bariery charakteryzowana jest przez (rys. 2a): znormalizowane ugięcie dynamiczne (D_N), znormalizowaną szerokość pracującą (W_N) oraz znormalizowaną intruzję pojazdu (V_{IN}) [32]. Znormalizowana szerokość pracująca (W_N - osiem klas szerokości, od $\leq 0,8$ m do $\leq 3,5$ m) to maksymalna poprzeczna odległość pomiędzy dowolną częścią bariery ochronnej od strony ruchu a jej maksymalnym dynamicznym położeniem. Znormalizowane ugięcie dynamiczne (D_N) to maksymalne boczne przemieszczenie (w pewnych okolicznościach tylko tymczasowe) dowolnego punktu powierzchni czołowej bariery ochronnej od strony ruchu. Znormalizowana intruzja pojazdu (V_{IN}) to maksymalna boczna odległość dowolnej części samochodu zwykle ciężarowego HGV (Heavy goods vehicle) lub autobusu od dowolnej nieodkształconej części bariery ochronnej od strony ruchu. Poziom intensywności zderzenia jest to parametr odzwierciedlający oddziaływanie zderzenia na osoby znajdujące się w pojeździe (określany jako; A, B lub C) oceniany wskaźnikami ASI, THIV i PHD [28]. Wskaźnik intensywności przyspieszenia [5] - skrócona skala obrażeń ASI (Abbreviated Injury Scale) jest wielkością bezwymiarową obliczaną zgodnie z normami PN-EN 1317. Wskaźnik ciężkości obrażeń ISS (Injury severity score) – ogólny wynik wielkości urazu wielonarządowego - jest sumą kwadratową trzech maksymalnych ocen AIS, z sześciu obszarów ciała: głowa, twarz, klatka piersiowa, jama brzuszna, kończyny oraz zewnętrzny. Maksymalna wartość AIS jest uważana za miarę ciężkości wypadku pasażerów w pojeździe, uderzającym w przeszkodę. ASI jest jednym z najważniejszych parametrów barier ochronnych [43]. THIV (Theoretical head impact velocity) to wartość teoretycznej prędkości uderzenia głowy osoby przebywającej w pojeździe w powierzchnię wewnątrz

pojazdu, na skutek uderzenia pojazdu w barierę ochronną, zmierzona w trakcie badań zderzeniowych wykonywanych zgodnie z normami PN-EN 1317, wyrażona w km/h. PHD (Post-impact head. deceleration) - opóźnienie głowy po zderzeniu [5]. Jest to wartość opóźnienia, jakiej doznaje głowa osoby znajdującej się w pojeździe w momencie uderzenia pojazdu w barierę ochronną, zmierzona w trakcie badań zderzeniowych wykonywanych zgodnie z warunkami określonymi w normach PN-EN 1317, wyrażona w jednostkach przyspieszenia ziemskiego (g). Maksymalna wartość opóźnienia nie może przekroczyć 20 g.



Rysunek 1 – Cechy funkcjonalne barier ochronnych: a) ugięcie dynamiczne (D_N), szerokość pracująca (W_N) oraz intruzja pojazdu (V_{IN}), b) bariera ochronna EASY-RAIL 1.33 pasie dzielącym jezdnie, o przeciwnych kierunkach jazdy [44]

Figure 1 – Functional features of protective barriers: a) dynamic deflection (D_N), working width (W_N) and vehicle intrusion (V_{IN}), b) protective barrier EASY-RAIL 1.33 lane dividing roadways, with opposite directions of travel [44].

Ze względu na pochłanianie energii uderzenia przez urządzenia drogowe, klasyfikuje się je jako: pochłaniające energię w wysokim stopniu (HE), pochłaniające energię w niskim stopniu (LE) oraz nie pochłaniające energii (NE) [34]. Aktywne inteligentne bariery drogowe i mostowe to systemy wykrywania siły uderzenia i aktywnie dostosowujące poziom absorpcji energii uderzenia do pojazdów o różnej masie (samochód osobowy, autobus i samochód ciężarowy). Dzięki opracowanemu systemowi wykrywania siły uderzenia, wyzwalającego odpowiednią reakcję bariery, zmniejszą się negatywne skutki zderzenia pojazdu i ciężkość obrażeń uczestników kolizji.

Wielu badaczy wykorzystało metodę elementów skończonych do symulacji wpływu uderzenia samochodu z elementami urządzeń drogowych. Często uderzenie pojazdu jest symulowane przy użyciu zmiennego w czasie obciążenia o założonej maksymalnej amplitudzie [48]. Wpływ energii uderzenia kinetycznego na zachowanie urządzenia drogowego i jego awarię, nie może być brana pod uwagę, jeśli uderzenie pojazdu jest modelowo zadane, jako obciążenie impulsowe. Nie uwzględnia ono także lokalnych odkształceń w punkcie uderzenia, w wyniku kontaktu między pojazdem a barierą [48]. Z kolei oprogramowanie LS-DYNA, służy zwłaszcza do symulacji zderzeń, w celu określenia wpływu strukturalnych i materiałowych charakterystyk obiektów drogowych na parametry obrażeń [12].

Symulacje numeryczne stają się często realnymi środkami wspierającymi analizę awarii, ocenę wydajności i projektu barier, uwzględniające model pojazdu i model gruntu (sztywność, tłumienie) [15].

Wydajność barier ochronnych i konstrukcji wsporczych stałych pionowych znaków drogowych, w dużej mierze zależy od interakcji między słupem oraz otaczającą go glebą jak i takich czynników jak: prędkość pojazdu, kąt uderzenia, miejsce uderzenia, warunki obciążenia [53]. Analiza elementów skończonych szybko stała się podstawową częścią analizy i projektowania urządzeń drogowych i obiektów inżynierskich, ponieważ jest to niezawodny i stosunkowo niedrogi sposób analizowania i symulowania zdarzeń uderzeniowych. Symulacje te mogą pomóc w projektowaniu i optymalizacji tych urządzeń w celu zmniejszenia obrażeń w wypadkach drogowych.

Aby system prowadnica bariery-słup mógł pochłaniać więcej energii i zapewniać lepszą stabilność pojazdu, sztywną nakładkę stykową zastąpiono nowym przemieszczalnym jej projektem. Wyniki analizy wskazują, że zgniatana nakładka zapewnia lepszą, niż dotychczas, stabilność pojazdu pod względem kąta przechyłu i opóźnienia pojazdu [37]. Podczas zderzenia pojazdu z barierą i utracie stabilności, działanie barier zależy od kilku czynników, w tym od: odległości i głębokości osadzenia słupów, wysokości poręczy oraz dynamicznej interakcji między słupem a glebą. Jakakolwiek błędna interakcja między ziemią/zwirem a słupem może spowodować niepożądane zachowanie systemu prowadnic, co może prowadzić do wypadków śmiertelnych [54]. Zgodnie z danymi pomiarowymi opór dynamiczny, słup bariery-gleba, był około dwukrotnie większy od oporu quasi-statycznego. Zarówno pasywne zamknięcie gleby, jak i efekt

odkształcenia stali spowodowały tę różnicę. Zwiększona wytrzymałość materiału stalowego podczas obciążenia dynamicznego była dominującym powodem, dla którego siła oporu dynamicznego była dwukrotnie większa od siły oporu quasi-statycznego.

W publikacji [30] modelowano prowadnicę typu B bariery SP-05/2, klasy N2–W4–A jako belkę ciągłą (bez złączy) oraz jako składającą się z 4 metrowych odcinków połączonych elementami belkowymi modelującymi złącza. W dwu testach zderzenia, TB11 i TB32, samochodów osobowych Geo Metro (Suzuki) i Doge Neon (Daimler-Chrysler), za pomocą metody elementów skończonych (w skrócie MES, FEM, Finite element method) w środowisku LS-Dyna stwierdzono, że prowadnica zachowa ciągłość w trakcie testu zderzeniowego oraz połączenie segmentów prowadnic powoduje zmniejszenie prawie wszystkich parametrów zderzeniowych określonych w normach [32, 33, 34]. Z kolei w publikacji [23] udowodniono, że bariera SP-05/2 z nakładką z gumy/pianki/kompozytu, która została połączona z prowadnicą B z łącznikami śrubowymi, znajdująca się na zakrętach drogi przyspieszonego ruchu drogowego, zapewnia akceptację testu zderzeniowego TB11.

Zaproponowano nową barierę ochronną z ruchomą listwą środkową, z dwoma zoptymalizowanymi głównymi parametrami [52]. Zapewnia to wyższy poziom odporności na zderzenia niż konwencjonalne bariery z betonu i listwą typu W. Nowa ruchoma listwa środkowa wykonana jest z wielu betonowych segmentów o jednolitej długości, połączonych stalowymi kołkami. Proponowana konstrukcja wykazuje wyższy poziom skuteczności zderzeniowej. Pojazd cechuje się lepszą stabilnością po zderzeniu i większą zdolność pochłaniania energii. Także osoby uderzającego pojazdu są lepiej chronione.

Stwierdzono, że istniejący system barier ochronnych G4 (2W), nie jest w stanie bezpiecznie przekierować/modyfikować samochody typu pickupy, samochody dostawcze i pojazdy sportowe, po zderzeniu z barierą ochronną [40]. Dokonane ulepszenia połączeń spawanych, regulacje wysokości poręczy oraz odstępów słupków zapewniły poprawę wydajności tego systemu. Tak zmodyfikowany system barier ochronnych może skutecznie zmniejszyć czynniki ryzyka dla pasażerów powyższych pojazdów [7, 13, 40].

Siła uderzenia czołowego samochodu w słup stalowy jest prawie identyczna, w teście drogowym National Highway Traffic Safety Administration [35], z jej wartością, na podstawie analizy systemem ABAQUS/Explicite, gdy samochód jest uproszczonym systemem sprężynowo-masowym [3]. Z kolei jej wartość jest prawie dwukrotnie większa na podstawie analizy za pomocą systemu analizy zderzeń LS-Dyna. Średni czas trwania kontaktu zderzenia wynosi: od 0,10 s [48] lub do 0,15 s [3].

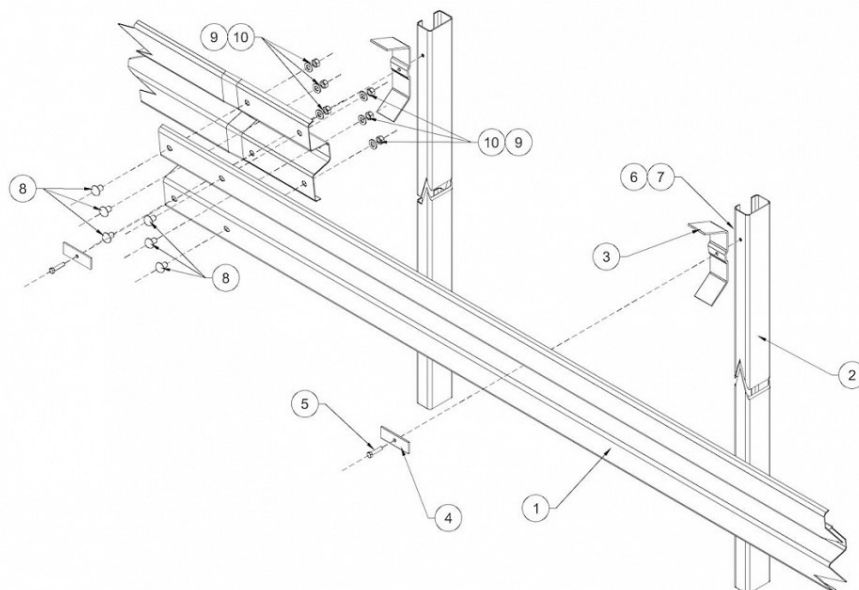
Samochód osobowy, o masie 900 kg, w teście zderzenia TB11 z metalową barierą jest o wiele bezpieczniejszy dla pasażerów niż w przypadku zderzenia z analizowanymi barierami betonowymi [28]. Trzy wskaźniki istotności, ASI, THIV i PHD, są badane i wykorzystywane do wnioskowania o zachowaniu barier drogowych podczas interakcji z tym lekkim samochodem. Wartość skali ASI jest wysoka po najeździe na barierę betonową, limity teoretycznego przyspieszenia głowy pasażera PHD zostały znacznie przekroczone, co wskazuje na możliwe śmiertelne obrażenia w takim scenariuszu uderzenia. Nie zaobserwowano tego dla metalowego systemu barier ochronnych.

Zbadano kolizję pojazdu ze stalowym słupem sygnalizacji świetlnej w zderzeniu czołowym, biorąc pod uwagę pięć konfiguracji podpór słupów stalowych, w tym osadzenie słupa bezpośrednio w glebie [12]. Analizowano wpływ różnych rodzajów warunków glebowych (piaszczystych, gliniastych) na bezpieczeństwo pasażerów pojazdu. Zamieszczono wartości absorpcji energii, przyspieszenia i przemieszczenia stalowego słupa i pojazdu. Stwierdzono, że stalowy słup osadzony bezpośrednio w glebie jest wystarczająco mocny, aby zapewnić ochronę podczas obciążenia eksploatacyjnego i wystarczająco elastyczny, aby uniknąć ryzyka dużych obrażeń pasażerów pojazdu. Stwierdzono także, że okrągły kształt przekroju poprzecznego słupa drogowego, wykonany ze stopu aluminium i grubość ścianki 2 mm miał największy potencjał pochłaniania energii, w warunkach prowadzonej analizy zderzenia samochodu.

W pracy [38] analizowano wyniki badań uderzenia pojazdu w słup stalowy, o różnej grubości walcowej rury (25%, 50% i 75% redukcji w porównaniu z grubością początkową), podając wartości siły reakcji, przemieszczenia i naprężeń zredukowanych. Stosując metodę MES, za pomocą systemu ABAQUS/Explicite, zbadano wpływ kąta uderzenia udarowego dla różnej prędkości (40, 80, 130 i 160 km/h) i masy pojazdu (600, 1300, 1800 i 2400 kg) jak i lokalizacji uderzenia dla przyjętej konstrukcji samochodu.

Słupy z kompozytów, z wzmocnionym włóknem szklanym FRC (Glassfiber reinforced composite), mogą mieć zarówno małą grubość ścianki, jak i zachowanie kruche, a zatem są korzystne dla bezpieczeństwa pasażerów [35]. Słupy z litego drewna wykazują zwartość przekroju, prowadzącą do wysokiego, korzystnego współczynnika pochłaniania energii. Boczne testy zderzeniowe pojazdów o prędkości początkowej zderzenia 35, 50 i 100 km/h oraz analizy dynamiczne zderzenia w słupy drewniane bukowe, zagęszczane i sprasowane puste wewnątrz, wykazały wysoką ich łamliwość i niską energię rozpraszania.

Wzmocnienie włóknem szklanym rur skutecznie zmniejsza rozprzestrzenianie się odpadów drewna [16]. Autorzy stwierdzają że drewniane słupy rurowe są skutecznym środkiem do budowy niskoenergetycznych słupów, które mogą być wykorzystane do wyposażenia infrastruktury drogowej.



Rysunek 2 – Schemat montażowy modelu bazowego bariery ochronnej Easy Rail 1.33 N2 opracowany w system Autodesk Inventor Professional 2018: 1) prowadnicę typu B, 2) słup typu C 110x1750 mm, 3) wspornik ER typu B, 4) nakładka stykowa, 5) śruby M10x45, 6) podkładki $\Phi 11$, 7) nakrętki sześciokątne M10, 8) śruby noskowe M16x27, 9) podkładki $\Phi 18$, 10) nakrętki sześciokątne M16

Figure 2 – Installation diagram of Easy Rail 1.33 N2 base model developed in Autodesk Inventor Professional 2018 system: 1) B-type guide, 2) C-type pole 110x1750 mm, 3) ER type B bracket, 4) contact patch, 5) M10x45, 6 screws) washers $\Phi 11$, 7) M10 hex nuts, 8) M16x27 nose screws, 9) $\Phi 18$, 10 washers M16 hex nuts.

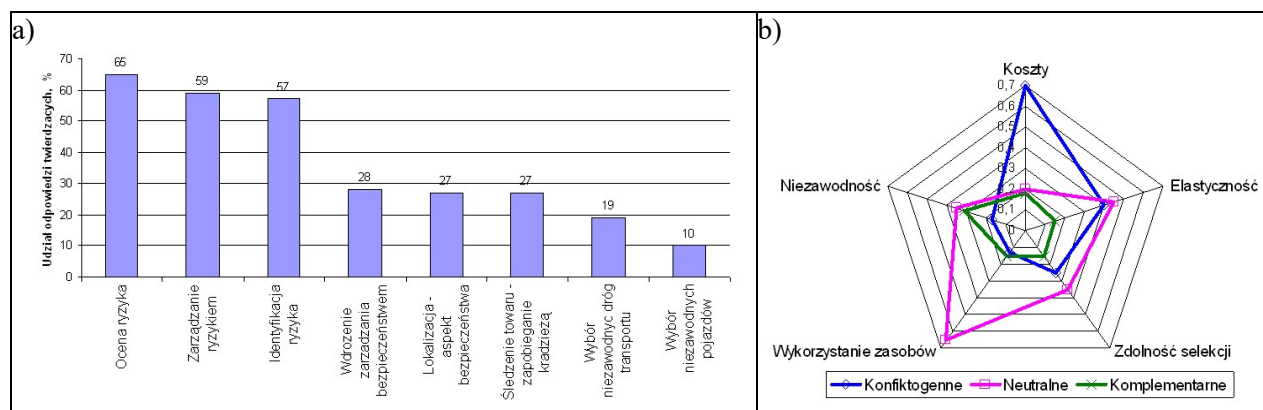
Przeprowadzono także porównanie wyników analizy, opracowanego matematycznego modelu awarii ładowarki oraz samochodu jak i słupa drogowego, po ich najechaniu o różnych początkowych prędkościach uderzenia, z wynikami testów eksperymentalnych [24]. Wykazały one wysoką dokładność modelu numerycznego w zakresie prędkości, przyspieszenia i przemieszczenia.

Analiza metodą MES, przy użyciu systemu ABAQUS uderzenia bocznego pojazdu samochodowego w prostokątne stalowe słupy rurowe pomostu mostowego, także gdy te słupy są częściowo wypełnione betonem, była zgodna z wynikami badań eksperymentalnych uderzenia młotem wahadłowym [50]. Stwierdzono także, że kierunek uderzenia i energia znacząco wpłynęły na odporność słupów na uderzenie.

Zwiększanie niezawodności i bezpieczeństwa systemu logistycznego transportu: drogowego, kolejowego, lotniczego, morskiego i żeglugi śródlądowej, skutecznie dokonuje się, zwłaszcza, w wyniku: oceny ryzyka, zarządzania ryzykiem oraz identyfikacji ryzyka, rys. 3a [29, 45]. Najbardziej konfliktogenne relacje pomiędzy bezpieczeństwem a celami funkcjonowania systemu logistycznego występują pomiędzy: ograniczeniem kosztów logistycznych a niezawodnością, wykorzystaniem zasobów, zdolnością selekcji i elastycznością (rys. 3b). Natomiast najbardziej neutralne są problemy wykorzystania zasobów naturalnych. Z kolei najbardziej komplementarne działania dotyczące podnoszenia niezawodność funkcjonowania systemu.

Aktualnie, zapewnienie bezpieczeństwa ruchu drogowego, zwłaszcza autonomicznych pojazdów, proponuje się realizować poprzez nieprzerwany nadzór drogowy siecią odpowiedniej konfiguracji wirtualnej wizji lub czujników radarowych, wzdłuż jednego pobocza drogi [14]. W ostatnich latach zyskały wysoki priorytet ochrony bezpieczeństwa; pojazdowe systemy wczesnego ostrzegania VANET (Vehicular ad-hoc networks), WiMAX (World interoperability for microwave access), Android, AES (Advanced encryption standard). Są one używane głównie do rozpoznawania i wykrywania warunków drogowych lub wypadków w celu zapewnienia bezpiecznego transportu oraz dynamicznego przewidywalna mobilności. Ruch drogowy zwiększa także narażenie zanieczyszczenia powietrza. Zwiększa bowiem zawartości Fe, Ba, Cr, Mn oraz

stężenie cząstek stałych PM10, PM2,5, PM1, liczby cząstek stałych PN jak i stężenia węgla czarnego [1]. Dlatego przykładą się coraz większą uwagę do występowania w pobliżu dróg drzew, zwłaszcza liściastych, żywopłotów i bardzo skutecznych pasów zieleni.



Rysunek 3 – Metody podnoszenia/zwiększania niezawodności i bezpieczeństwa systemu logistycznego (a). Relacje pomiędzy bezpieczeństwem a celami funkcjonowania systemu logistycznego (b). Opracowanie na podstawie [29, 45]

Figure 3 – Methods of increasing / increasing the reliability and security of the logistics system (a). Relations between security and the goals of the logistics system (b). Development based on [29, 45].

PODSUMOWANIE

Szacowanie ryzyka dla przypadku kolizji pojazdu z przeszkodami przy drodze, a także przeprowadzanie testów zderzenia, które określają przydatność danego systemu barier ochronnych drogowych i mostowych do użytku, są celowe. Umożliwia to, poprawę poziomu bezpieczeństwa na drogach oraz zmniejszenie negatywnych skutków ewentualnych wypadków. Główną perspektywą rozwojową, w ograniczeniu wypadnięcia pojazdu z drogi, jest stosowanie coraz to lepiej działających barier energochłonnych oraz konstrukcji wsporczych znaków i tablic drogowych, które dzięki swojej budowie mogą uratować życie, osób przebywających w pojeździe w czasie zderzenia, jak i pieszych.

Wspomaganie komputerowe metodą elementów skończonych - systemami CAD, dla sił, momentów sił i deformacji oraz systemem LS-DYNA dla, zdarzeń oraz parametrów obrażeń, w istotny sposób usprawnia prace konstrukcyjne i testy badawcze dotyczące bezpieczeństwa ruchu drogowego jak i pozwala uzyskać korzystniejsze parametry funkcjonalno-kolizyjne systemów bezpieczeństwa. Dotyczy to zwłaszcza opracowywania konstrukcji bezpiecznych barier ochronnych; słupów, konstrukcji wsporczych, znaków drogowych i innych elementów wyposażenia drogi.

LITERATURA

1. Abhijith K.V.; Kumar P. (2019) Field investigations for evaluating green infrastructure effects on air quality in open-road conditions. *Atmospheric Environment*, 301, 132-147.
2. Adminaite D., Calinescu T., Jost G., Stipdonk H., Ward H. (2018) Ranking EU progress on road safety. 12th Road safety performance index report. European Transport Safety Council, Brussels.
3. Al-Thairy H., Wang Y.C. (2014) Simplified FE vehicle model for assessing the vulnerability of axially compressed steel columns against vehicle frontal impact. *Journal of Constructional Steel Research*, 102, 190-203.
4. Bera P. (2015) Powikłania septyczne u pacjentów z mnogimi obrażeniami ciała leczonych w Oddziale Anestezjologii i Intensywnej Terapii. Praca doktorska, Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, promotor prof. K. Słowiński, Poznań.
5. Borovinsek M., Vesenjask M., Ulbin M., Ren Z. (2007) Simulation of crash tests for high containment levels of road safety barriers. *Engineering Failure Analysis*, 14, 8, 1711-1718.
6. Bujalski M., Sandecki T., Wierzcholski M., Mikołajkow L., Erden K. D. (2012) Część 1. Wytyczne stosowania drogowych barier ochronnych na drogach wojewódzkich województwa opolskiego. Zarząd Dróg Wojewódzkich w Opolu, Opole.
7. Coon B.A., Reid J.D. (2006) Reconstruction techniques for energy-absorbing guardrail end terminals. *Accident Analysis and Prevention*, 38, 1, 1-13.

8. de Dianous V, Fievez C. (2006) ARAMIS project: A more explicit demonstration of risk control through the use of bow-tie diagrams and the evaluation of safety barrier performance. *Journal of Hazardous Materials*, 130, 3, 230-233.
9. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/96/WE z listopada 2008 r. w sprawie zarządzania bezpieczeństwem infrastruktury drogowej.
10. Dz.U.00.63.735 (2000) Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie.
11. Dz.U. 2015 poz. 1422: Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
12. Elmarakbi A., Sennah K., Samaan M., Siriya P. (2006) Crashworthiness of motor vehicle and traffic light pole in frontal collisions. *Journal of Transportation Engineering-ASCE*, 132, 9, 722-733.
13. Gabauer D. J., Kusano K. D., Marzougui D., Opiela K., Hargrave M., Gabler H. C. (2010) Pendulum testing as a means of assessing the crash performance of longitudinal barrier with minor damage. *International Journal of Impact Engineering*, 37, 11, 1121-1137.
14. Geissler F., Kohnert S., Stolle R. (2018) Designing a roadside sensor infrastructure to support automated driving. *Book Series IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems-ITSC*, 703-708.
15. Gutowski M., Palta E., Fang H. (2017) Crash analysis and evaluation of vehicular impacts on W-beam guardrails placed on sloped medians using finite element simulations. *Advances in Engineering Software*, 112, 88-100.
16. Hartig J.U., Facchini S., Haller P. (2018) Investigations on lateral vehicle impact on moulded wooden tubes made of beech (*Fagus sylvatica* L.). *Construction and Building Materials*, 174, 547-558.
17. Hollnagel E. (2008) Risk + barriers = safety?. *Safety Science*, 46, 2, 221-229.
18. Hu W., Donnell E.T. (2010) Median barrier crash severity: some new insights. *Accident Analysis and Prevention*, 42, 6, 1697-1704.
19. IEC 61508 (2010) Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems - Part 1 ÷ Part 7. International Electrotechnical Commission, Geneva.
20. Jamroz K., Antoniuk M., Jeliński Ł., Wachnicka J., Gronowska K. (2015) Częstość i konsekwencje wypadnięcia pojazdu z drogi na przykładzie województwa pomorskiego. *Drogownictwo*, 4-5, 117-125.
21. Jamroz K., Budzynski M., Romanowska A., Zukowska J., Oskarbski J. (2019) Experiences and challenges in fatality reduction on polish roads. *Sustainability*, 11, 4, Article Number: 959.
22. Jin H., Lundteigen M.A., Rausand M. (2011) Reliability performance of safety instrumented systems: A common approach for both low- and high-demand mode of operation. *Reliability Engineering & System Safety*, 96, 3, 365-373.
23. Klasztorny M., Nycz D., Romanowski R K. (2016) Rubber/foam/composite overlay onto guide B of barrier located on road bend. *The Archives of Automotive Engineering - Archiwum Motoryzacji*, 69, 3, 65-86.
24. Lu Q., Karimi H.R., Robbersmyr K.G. (2013) A data-based approach for modeling and analysis of vehicle collision by LPV-ARMAX models. *Journal of Applied Mathematics*, Article Number: 452391.
25. Maciejewski A., Wyrwich N., Gierasimiuk W., Śakowski R., Kowalski K., Miecznikowski P., Kaszyński A., Kobus Z., Kwiecień-Szczepańska K., Trojanek vel Trojanowski R., Lendner Ł., Gacparski J. (2014) Wytyczne stosowania drogowych barier ochronnych na drogach krajowych. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad. Warszawa, styczeń.
26. Mikołajków L. (1983) Drogowe bariery ochronne. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKiŁ, Warszawa.
27. Miralbes R. (2013) Design of motorcycle rider protection systems using numerical techniques. *Accident Analysis and Prevention*, 59, 94-108.
28. Neves R. R., Fransplass H., Langseth M., Driemeier L., Alves M. (2018) Performance of some basic types of road barriers subjected to the collision of a light vehicle. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40, 6, Article Number: UNSP 274.
29. Nowakowski T. (2011) Niezawodność systemów logistycznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
30. Nycz D.B. (2016) Effect of the B-type guiderail joints of a road barrier on the TB11 and TB32 virtual crash tests. *Archiwum Motoryzacji*, 71, 1, 73-85.

31. PN-EN 1317-1:2010 (2010) Systemy ograniczające drogę - Część 1: Terminologia i ogólne kryteria metod badań. PKN, Warszawa.
32. PN-EN 1317-2:2010 (2010) Systemy ograniczające drogę - Część 2: Klasy działania, kryteria przyjęcia badań zderzeniowych i metody badań barier ochronnych i balustrad. PKN, Warszawa.
33. PN-EN 1317-5+A2:2012 (2012) Systemy ograniczające drogę - Część 5: Wymagania w odniesieniu do wyrobów i ocena zgodności dotycząca systemów powstrzymujących pojazd. PKN, Warszawa.
34. PN-EN 12767:2008 (2008) Bierne bezpieczeństwo konstrukcji wsporczych dla urządzeń drogowych - Wymagania i metody badań. PKN, Warszawa.
35. Traffic safety facts - a compilation of motor vehicle crash data from the fatality analysis reporting system and the general estimates system. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA). Tech. rep., U.S. Department of Transportation, 1994–2015.
36. Otte D., Haasper C., Eis V., Schaefer R. (2008) Characteristics of pole impacts to side of passenger cars in european traffic accidents and assessment of injury mechanisms - Analysis of German and UK in-depth data. *Stapp Car Crash Journal*, 52, 2008-P-403.
37. Sassi S., Sassi A., Ghrib F. (2017) Effect of crushable blockouts on a full-scale guardrail system. *International Journal of Crashworthiness*, 22, 1, 63-82.
38. Senthil K.; Rupali S. (2018) Crashworthiness of highway lamp post against vehicle impact. *Journal of Materials and Engineering Structures*, 5, 4, 371-385.
39. Sobral J., Guedes S.C. (2019) Assessment of the adequacy of safety barriers to hazards. *Safety Science*, 114, 40-48.
40. Soltani M., Topa A., Karim M. R., Sulong N. H. R. (2017) Crashworthiness of G4(2W) guardrail system: a finite element parametric study. *International Journal of Crashworthiness*, 22, 2, 169-189.
41. Stankiewicz B. (2015) Wytyczne doboru drogowych barier ochronnych. <https://www.google.com/search?q=Wytyczne+doboru+drogowych+barier+ochronnych+Stankiewicz+&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b> (dostęp 2019).
42. Strona internetowa (2019): <http://www.hus-gmbh.com/de/ce-service?id=64>.
43. Strona internetowa (2019): WIMED, Oznakowanie Dróg Sp. z o.o., ul. Tarnowska 48, 33-170 Tuchów, Poland, www.wimed.pl/info@wimed.pl, NIP: 685-230-95-96, Regon: 180188573, Numer rejestrowy: 000033746, Zarejestrował: Sąd Rejonowy Kraków-Śródmieście XII Wydz. Gosp. KRS, pod nr 0000270367, kapitał 31.300.000,00 zł.
44. Strona internetowa (2019): http://www.v-r-bariery.pl/easyrail_133_pl.html.
45. Straube F., Pfohl H.-Chr. (2008) Trends und Strategien in der Logistik - Globale Netzwerke im Wan DVV Media Group GmbH/Deutscher Verkehrs-Verlag, Hamburg.
46. Szczegółowe specyfikacje techniczne, D - 07.05.01. Bariery ochronne stalowe. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad Oddział w Poznaniu.
47. Szopa T. (2016) Niezawodność i bezpieczeństwo. Wydanie 2 zaktualizowane i uzupełnione, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
48. Thilakarathna H.M.I., Thambiratnam D.P., Dhanasekar M., Perera N. (2010) Numerical simulation of axially loaded concrete columns under transverse impact and vulnerability assessment. *International Journal of Impact Engineering*, 37, 11, 1100-1112.
49. Thomson R., Fagerlind H., Martinez A. V., Amenguel A., Naing C., Hill J., Hoschopf H., Dupré G., Bisson O., Kelkka M., van der Horst R., Garcia J. (2006) Roadside infrastructure for safer european roads. Project RISER funded by the European Community under the 'Competitive and Sustainable Growth' Programme (1998-2002), Chalmers University of Technology, report: 28/02/2006.
50. Zhu A-Z, Xu W., Gao K., Ge H-B, Zhu J-H (2018) Lateral impact response of rectangular hollow and partially concrete-filled steel tubular columns. *Thin-Walled Structures*, 130, 114-131.
51. Unarski J., Wach W., Dąbczyński Z., Bohatkiewicz J. (2008) Analiza ryzyka wielkości obrażeń w kolizjach z niektórymi obiektami przydrożnymi. Informacja Nr 65. Klub Inżynierii Ruchu, Biuro Zarządu, ul. Leśna 40, 62-081 Przeźmierowo k/Poznania. Bochnia - Tuchów – Raciechowice, listopad 2008.
52. Yang J., Xu G., Cai C. S., Kareem A. (2019) Crash performance evaluation of a new movable median guardrail on highways. *Engineering Structures*, 182, 459-472.
53. Whitworth H.A., Bendidi R., Marzougui D., Reiss R. (2004) Finite element modeling of the crash performance of roadside barriers. *International Journal of Crashworthiness*, 9, 1, 35-43.
54. Wu W., Thomson R. (2007) A study of the interaction between a guardrail post and soil during quasi-static and dynamic loading. *International Journal of Impact Engineering*, 34, 5, 883–898.

STRESZCZENIE

Savostin-Kosiak D.O. Analiza wpływu drogowych barier ochronnych na zmniejszenie ryzyka niebezpiecznych zdarzeń drogowych i ich skutków / D.O. Savostin-Kosiak, Jacek Michalski // Wisnyk Narodowego Uniwersytetu Transportu. – K. : NTU, 2020. – № 1 (46).

Analizowano mankamenty sieci drogowej, a w tym zdarzenia niebezpieczne związane z wypadnięciem pojazdu z drogi oraz powstawanie wtórnych zdarzeń niebezpiecznych takich jak: najechanie na przeszkodę, obiekt niebezpieczny zlokalizowany przy drodze lub wywrócenie się pojazdu. Rozpatrywano zwłaszcza bezpieczeństwo, dostępność rozwiązania technologiczne barier ochronnych, słupów oraz znaków drogowych w systemach drogowych i mostowych. Podano funkcje zapobiegawcze i ochronne urządzeń drogowych oraz obiektów inżynierskich, adekwatne do konkretnego ryzyka. Analizowano awarie barier bezpieczeństwa i barier ochronnych drogowych oraz ich prawdopodobne skutki dla ludzi, mienia lub środowiska. Rozwiązania konstrukcje barier drogowych analizowano pod kątem: dostępności, stopnia spełnienia niezawodności ich elementów oraz możliwości utrzymania ryzyka w dopuszczalnych granicach. Analizowano zakres spełniania wymaganych cech funkcjonalnych, metody projektowania, nowoczesne rozwiązania technologiczne, metody badań testowych oraz procedury certyfikacji. Uwzględniono cechy funkcjonalne barier ochronnych dotyczące: poziomu powstrzymywania, przemieszczenia oraz poziomu intensywności zderzenia. Zamieszczono stanowisko literatury na temat wspomagania opracowywanych konstrukcji barier ochronnych; metodą elementów skończonych (metodą sumy przemieszczeń) z wyodrębnieniem analizy systemami CAD - dla sił, momentów sił i przemieszczeń oraz systemem LS-DYNA dla - zdarzeń oraz parametrów obrażeń. Duża część publikacji dotyczy współczesnych rozwiązań technologicznym oraz analiz: konstrukcji barier ochronnych, modelowania ich elementów jak i modelowania zderzeń z pojazdami samochodowymi, z uwzględnieniem oddziaływania gruntu.

SŁOWA KLUCZOWE: BARIERY BEZPIECZENSTWA, AWARIE BARIER BEZPIECZENSTWA, METODY PROJEKTOWANIA, FUNKCJE ZAPOBIEGAWCZE I OCHRONNE DROGOWYCH ORAZ.

РЕФЕРАТ

Савостін-Косяк Д.О. Аналіз впливу дорожніх бар'єрів безпеки на зниження ризику небезпечних дорожньо-транспортних пригод та їх наслідків /Д.О. Савостін-Косяк, Яцек Міхальські // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

Були проаналізовані слабкі місця дорожніх систем, у тому числі небезпечні події, що виникли внаслідок виходу автомобіля з дороги та наступних вторинних небезпечних подій, таких як: пересування через бар'єр або інший небезпечний об'єкт, розташований поруч з дорогою або дахом автомобіля. Зокрема, розглядалася безпека, наявність технологічних рішень для захисних бар'єрів, колон і дорожніх знаків на дорогах і мостах. Наведено профілактичні та захисні функції дорожнього обладнання та інженерних об'єктів, які є адекватними конкретному ризику. Проаналізовано відмови бар'єрів безпеки та бар'єри захисту доріг та наслідки їх невдач для людей, властивостей та навколишнього середовища. Проаналізовано рішення для побудови дорожніх бар'єрів: наявність, ступінь надійності їх компонентів та можливість збереження ризику в допустимих межах. Проаналізовано сферу виконання необхідних функціональних особливостей, методи проектування, сучасні технологічні рішення, методи випробувань та процедури сертифікації. Враховувались функціональні особливості захисних бар'єрів щодо: рівня захисту, переміщень та рівня інтенсивності впливу. Розглянуто літературну точку зору щодо автоматизованого проектування захисних бар'єрів, яка охоплює метод скінченних елементів (метод суми переміщень) з відповідним аналізом сил, моментів і переміщень з системами САПР, включаючи використання системи LS-DYNA для подій і параметрів ушкоджень. Значна частина публікації присвячена сучасним технологічним рішенням та аналізам, включаючи розробку захисних бар'єрів, моделювання їх елементів, а також моделювання зіткнень з транспортними засобами з урахуванням впливу землі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗАХИСНІ БАР'ЄРИ, ВІДМОВИ ЗАХИСНИХ БАР'ЄРІВ, МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ, ПРОФІЛАКТИЧНІ ТА ЗАХИСНІ ФУНКЦІЇ БАР'ЄРІВ.

ABSTRACT

Savostin-Kosiak D.O., Michalski Jacek. Analysis of the impact of road safety barriers on reducing the risk of dangerous road accidents and their consequences. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The weaknesses of the road systems were analyzed, including dangerous events generated by vehicle getting out of the road and consequent secondary dangerous events such as: driving over a barrier or other dangerous object located next to road or roofing of the vehicle. Particularly, the security, availability of technological solutions for protection barriers, columns and road signs on roads and bridges were considered. The preventive and protective functions of road equipment and engineering objects are given, which are adequate to the specific risk. Failures of safety barriers and road protection barriers and the consequences of their failures for people, properties and the environment were analyzed. Solutions for the construction of road barriers were analyzed in terms of: availability, the degree of reliability of their components and the possibility of maintaining risk within acceptable limits. The scope of fulfillment of required functional features, design methods, modern technological solutions, test methods and certification procedures were analyzed. Functional features of protective barriers regarding: the protection level, displacements and the level of impact intensity were taken into account. Literature point of view on aided design of protective barriers has been included which covers finite element method (method of sum of displacements) with appropriate analysis of forces, torques and displacements with CAD systems including use of LS-DYNA system for events and damage parameters. A large part of the publication deals with modern technological solutions and analyzes including design of protective barriers, modeling of their elements as well as modeling collisions with vehicles, taking into account the impact of the ground.

KEYWORDS: PROTECTION BARRIERS, FAILURES OF PROTECTION BARRIERS, DESIGN METHODS, SECURITY OF PROTECTION BARRIERS.

AUTOR:

Savostin-Kosyak Danylo, dr inż., Narodowy Uniwersytet Transportu, asystent, Katedra Operacja Techniczny Samochodów i Serwisu Samochodowego, e-mail: daniel_s@ukr.net, tel.: +38 (044) 280 56 21, 01010, Kijów, Ukraina, św. M. Omelyanovich-Pavlenka 1, orcid.org/0000-0002-8795-5939.

Michalski Jacek, dr hab. inż., prof. Politechniki Rzeszowskiej, profesor, Katedra Silników Spalinowych i Transportu, jmichals@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1570, 35-959, Rzeszów, Polska, Al. Powstańców Warszawy 12, orcid.org/0000-0002-9745-9453.

АВТОРИ:

Савостін-Косяк Данило Олександрович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, асистент кафедри «Технічна експлуатація автомобілів та автосервіс», e-mail: daniel_s@ukr.net, тел. +38 (044) 280 56 21, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, orcid.org/0000-0002-8795-5939.

Міхальскі Яцек, професор, доктор хабілітований, Жешувська Політехніка, професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння і транспорту, jmichals@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1570, 35-959, Жешув, Польща, бульвар Повстанців Варшави 12, orcid.org/0000-0002-9745-9453.

AUTHORS:

Savostin-Kosyak Danylo O., Ph.D in Technical Science, National Transport University, assistant lecturer of the Department of Technical operation of cars and car services, e-mail: daniel_s@ukr.net, tel. +38 (044) 280 56 21, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovych-Pavlenko str. 1, orcid.org/0000-0002-8795-5939.

Michalski Jacek, Professor, Doctor of Technical Science, Rzeszow University of Technology, professor of the internal combustion engines and transport department, jmichals@prz.edu.pl, tel.: +48 17 865 1570, 35-959, Rzeszow, Poland, Warsaw Insurgents Boulevard 12, orcid.org/0000-0002-9745-9453.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Любас Януш, доктор технічних наук, професор, Жешувська політехніка, професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння і транспорту, Жешув, Польща.

Посвятенко Е.К., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри виробництва, ремонту і матеріалознавства, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Lubas Janush, Doctor of Technical Sciences, professor, Rzeszow University of Technology, professor of the internal combustion engines and transport department, Rzeszow, Poland.

Posviatenko E.K., Doctor of Technical Sciences, professor, National Transport University, professor of the production, repair and materials science department, Kyiv, Ukraine.

МЕТОД АНАЛІЗУ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО РЕЗОНАНСУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ КОНТРОЛЮ БЕЗПЕКИ РУХУ АВТОМОБІЛЯ

Сахно В.П., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, sakhno@i.ua, orcid.org/0000-0002-5144-7131

Поляков В.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, poljakov_2006@ukr.net, orcid.org/0000-0001-7042-3066

Сакно О.П., кандидат технічних наук, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Дніпро, Україна, sakno-olga@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4672-6651

Колеснікова Т.М., кандидат технічних наук, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Дніпро, Україна, tnk1403@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8568-4688

FUNCTIONAL RESONANCE ANALYSIS METHOD MODELLING OF THE CAR SAFETY CONTROL

Sakhno V.P., Dh.D., Engineering (Dr.), National Transport University, Kyiv, Ukraine, sakhno@i.ua, orcid.org/0000-0002-5144-7131

Poliakov V.M., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, poljakov_2006@ukr.net, orcid.org/0000-0001-7042-3066

Sakno O.P., Ph.D., Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine, sakno-olga@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4672-6651

Kolesnikova T.M., Ph.D., Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnipro, Ukraine, tnk1403@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8568-4688

МЕТОД АНАЛИЗА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО РЕЗОНАНСА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Сахно В.П., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, sakhno@i.ua, orcid.org/0000-0002-5144-7131

Поляков В.М., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, poljakov_2006@ukr.net, orcid.org/0000-0001-7042-3066

Сакно О.П., кандидат технических наук, ГВУЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Дніпро, Україна, sakno-olga@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4672-6651

Колеснікова Т.М., кандидат технических наук, ГВУЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», Дніпро, Україна, tnk1403@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8568-4688

Постановка проблеми. Помітне зростання кількості автомобілів у країні за останні роки в значній мірі забезпечується збільшенням їх ефективності експлуатації. Виникає потреба забезпечувати справний технічний стан сучасних конструкцій автомобілів. Метод аналізу функціонального резонансу (МАФР) використовується для вивчення складних соціотехнічних систем. Він був створений та описаний Еріком Холнегелем, який зазначив, що складні технічні системи містять велику кількість підсистем і компонентів, змінність продуктивності яких зазвичай поглинається системою з мінімальним впливом на загальну систему. Основними джерелами цієї мінливості є люди, технології, організація, яка забезпечує справний стан техніки.

Холнегель заявив, що оскільки ці елементи не пов'язані один з одним лінійно, вони можуть призвести до аварії (дорожньо-транспортних пригод). Коли варіації компонентів стають занадто великими, щоб їх засвоїти системою, то результат стає несприятливим або випадковим. Це стосується функціонального резонансного ефекту, що виникає внаслідок ситуації, коли система не в змозі функціонувати в нормальному режимі роботи через зміни повсякденної її продуктивності.

Модель МАФР описує, як функції системних компонентів автомобіля здатні резонувати і створювати небезпеки в процесі експлуатації, які можуть вийти з-під контролю та спричинити аварії чи дорожньо-транспортні пригоди (ДТП) внаслідок низького рівня функціонування системи технічного обслуговування та ремонту (ТОіР) автотранспортних засобів (АТЗ).

Аналіз останніх публікацій. Метод аналізу функціонального резонансу (МАФР) [1] підтримує процес системного аналізу, що спрямований на виявлення взаємозалежностей та системних поведінок, що потенційно є важливими для інструмента, який зосереджується на взаємозалежності процесу та їх динаміці. Метод МАФР – це метод моделювання складних організаційно-технічних систем, отриманий з теорії стійкої забезпечення здоров'я [2], яка стосується того, як досягти успіху роботи технічної системи за допомогою адаптації її у складних умовах [3]. Останні документи показали використання МАФР для розуміння імплементації керівних принципів та для керування зусиллями з управління безпекою [4]. МАФР передбачає виявлення функцій (технологічної, людської чи організаційної діяльності) у повсякденній роботі функціонування технічної системи [5-6].

Мета роботи – на основі методу МАФР змодельовати контроль за безпекою руху автомобіля внаслідок зміни його технічного стану (ТС), що впливає на погіршення керованості, стійкості, плавності та ходових якостей в процесі експлуатації.

Результати досліджень. Діяльність МАФР полягає в тому, щоб з системної точки зору зафіксувати вплив ТС ходової частини на зміну експлуатаційних властивостей та безпеку руху автомобіля. Використання МАФР приймає системну перспективу, що означає, що аналіз не може бути обмежений певною частиною соціально-технічної системи, але він повинен розглянути більш широку картину, коли організація розглядається як ціле, а не як обслуговування та збірка компонентів ходової частини АТЗ [7-8]. МАФР аналізує організацію як соціально-технічну систему, де технологія вбудована в соціальний контекст, який розробляє, тестує, запускає та підтримує справний технічний стан АТЗ.

МАФР базується на чотирьох основних принципах:

I. Принцип еквівалентності: працездатність і непрацездатність рівнозначні тому, що вони обидва впливають із змінною роботою та функціонування системи в цілому. Не існує спеціальних причин, які працюють лише на відмови.

II. Принцип приблизних коригувань: мінливість як спосіб пристосувати людину до керування системи ТОВР та умов експлуатації АТЗ. Люди (фахівці) завжди мають коригувати те, що вони роблять, щоб відповідати ситуації (безпеки руху). Така мінливість ефективності неминуча, повсюдна і необхідна.

III. Принцип виникнення несподіваності: поява працездатності і непрацездатності не є прямим результатом мінливості в межах певної задачі чи функції, а це поєднання мінливості багатьох функцій. Змінність функціонування системи може поєднуватися несподівано, що призводить до непропорційно великих результатів (нелінійні ефекти). Результат виникає, якщо його не можна віднести або пояснити (неправильними) функціями системи.

IV. Принцип функціонального резонансу: несподівані «посилені» ефекти взаємодій між різними джерелами мінливості лежать в основі явища, описаного функціональним резонансом. Функціональний резонанс – це детектовний сигнал (тобто можна виявити), який виходить із ненавмисної комбінації мінливості багатьох сигналів. Функціональний резонанс – це альтернатива лінійній причинності.

Моделі МАФР можуть бути використані для дослідження потенційних джерел мінливості шляхом моделювання та ідентифікації контекстно-залежних людських, технологічних та організаційних аспектів системи в загалі.

Цей підхід підтримує оцінку потенціалу системи для вирішення мінливості з огляду на очікувану та несподівану мінливість, що випливає з роботи технічної системи (або автомобіля в цілому).

Основна одиниця аналізу – функціональний шестикутник (рис. 1). За допомогою шести аспектів кожної функції (тобто часу, контролю, виходу, ресурсу, передумови та вхідних даних) вивчаються системні взаємодії, що спрямовані на виявлення потенційних джерел резонансу. Таким чином, висновок функції може бути входом, передумовою або навіть примусовим контрольним аспектом однієї чи модельної іншої функції системи (табл. 1). Цей процес також може призвести до ідентифікації можливих джерел затухання для небажаної мінливості. Наприклад, якщо ресурси для певної функції оцінюються як «більше, ніж потрібно», це може вказати на існування «запасної системи», яка може діяти як демпферний бар'єр, що забезпечує безпеку руху АТЗ. Процес дослідження можливих зв'язків між функціями, для виявлення як потенційних небажаних джерел мінливості, так і бар'єрів, називається інстанцією (тобто безпосередня близькість) МАФР.

Для рішення поставленої мети використовується технічне забезпечення ResilienceDS [9]. Такий інструмент дозволяє моделювати соціотехнічну систему «Людина-Автомобіль-Організація (система

ТО і ремонту)» та формувати формальні моделі для постійної оцінки ефективності функціонування системи ТО і ремонту та умов підвищення експлуатації АТЗ.

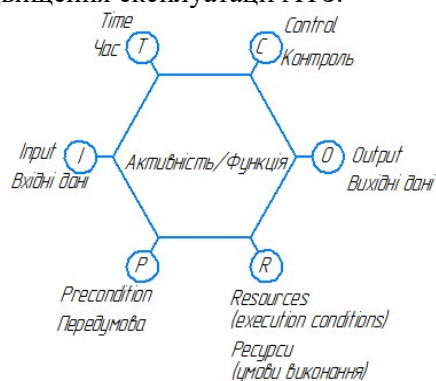


Рисунок 1 – Функції МАФР
Figure 1 – FRAM Function

Таблиця 1 – Характеристика функціональних елементів МАФР
Table 1 – Characteristics of FRAM functional units

Параметр та символ англійською	Параметр українською	Опис
Input <i>I</i>	Вхідні дані	Вхідна інформація (або вхідні дані), яка характеризує функцію в процесі функціонування системи. Це є посилання на попередні функції. Вхідні дані запускають виконання або дію функції.
Output <i>O</i>	Вихід	Результат виконання функції (вихідні дані). Надає посилання на подальші функції. Представляє результат зміни технічного стану елементів системи (автомобіля).
Time <i>T</i>	Час	Час, необхідний для обробки (підготовки, діагностування, обслуговування елементів системи) функціональним підрозділом або підсистеми.
Control <i>C</i>	Контроль	Обмеження, методи та процедури контролю. Вони визначають, як функція передає технічні дані та/оба контролюється.
Preconditions <i>P</i>	Передумови	Системні умови, які визначають умови функціонування та, які повинні бути задоволені перед виконанням функції.
Resources <i>R</i>	Ресурси	Ресурси, які потрібні або використовуються під час обробки функції або функціонування елементів системи (автомобіля).

Збір даних для моделювання МАФР проводився у три різні фази. По-перше, весною 2019 року було організовано дводенне відвідування СТО, що обслуговують фірмові легкові автомобілі в м. Дніпро. В рамках візиту було ознайомлення із загальним щодо відмови організації в конкретних випадках та конкретно з оточенням та завданням ТОiP легкових автомобілів. Другий етап збору даних полягав у семінарі, який відбувся на початку осені 2019 року. У роботі семінару брали участь дослідники, контактна особа та, головне, працівники, які обслуговували легкові автомобілі. Метою семінару було обговорення, перегляд та оновлення попередньої моделі МАФР, розробленої на основі інформації, зібраної під час відвідування фірмового СТО та офіційної документації. Семінар допоміг дослідникам визначити деякі функції та визначити їх аспекти (вхід, вихід, контроль, передумови, час та ресурси для забезпечення справного стану АТЗ).

Зібрані дані були використані для розробки моделі МАФР технічного обслуговування АТЗ. Модель складається з набору функцій, які описують дії, що проводяться з обслуговування АТЗ, що забезпечують їх справний стан.

В нашому дослідженні для забезпечення безпеки руху АТЗ в процесі експлуатації необхідно проводити обов'язково періодичні технічні впливи ходової частини (рис. 2): діагностика, перевірка стану амортизаторів, пружин, опорних чашок, гальмівних колодок, дисків, шлангів, люфтів в кульових опорах, рульових наконечниках, сайлент-блоків, регулювання і заміна підшипників маточини, розвал-сходження, перевірка стану автомобільної шини та контроль за ресурсом автомобільної шини. Все це впливає на експлуатаційні властивості АТЗ в процесі експлуатації:

стійкість, керованість, паливна економічність автомобіля. Коли ресурс автомобільної шини наближається до граничного стану, то підвищується вірогідність виникнення дорожньо-транспортних пригод [10]. На рис. 3 представлено вплив ТС ходової частини на експлуатаційні властивості легкового автомобіля методом МАФ.

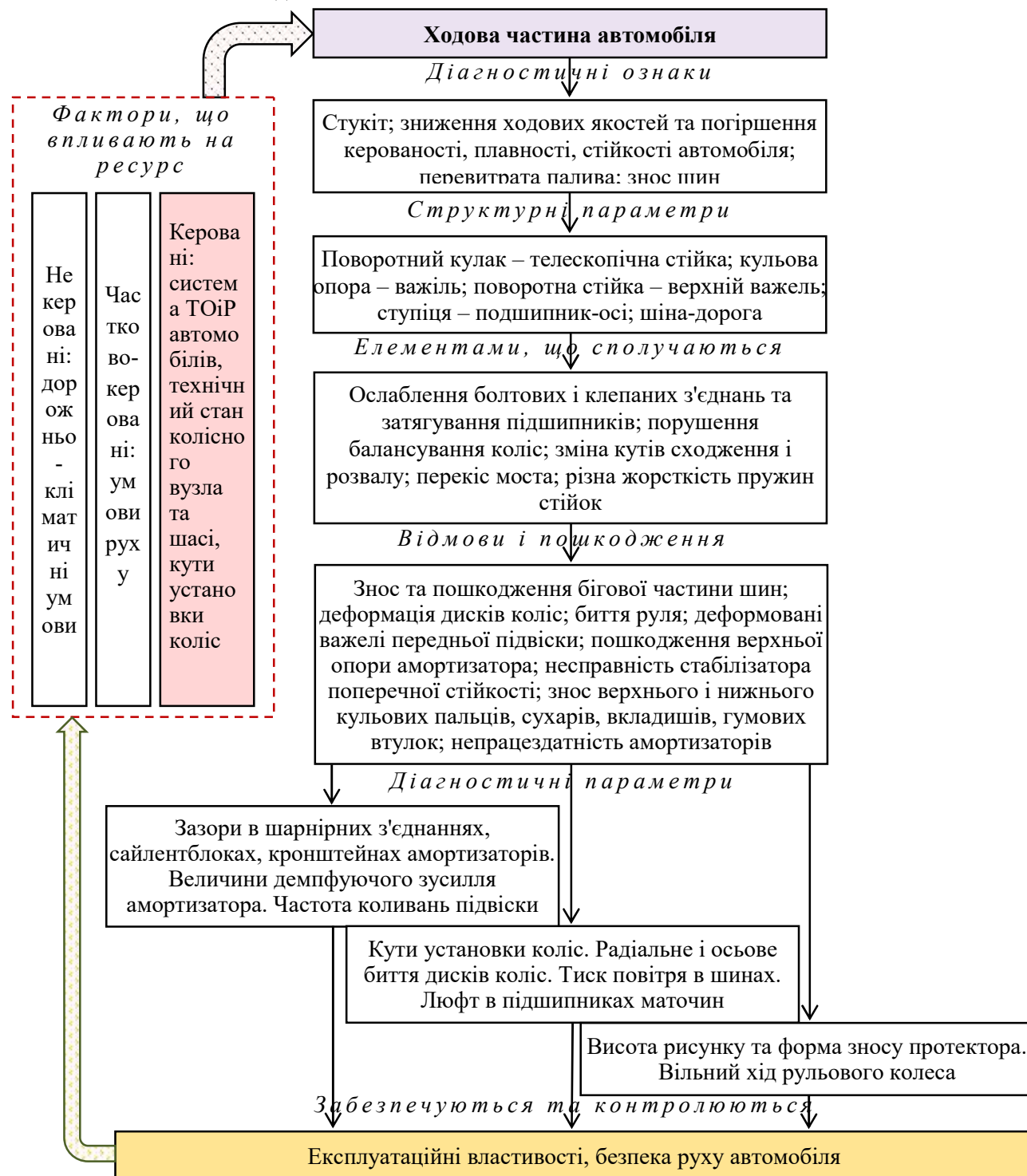


Рисунок 2 – Структурно-слідча модель ходової частини автомобіля
Figure 2 – Structural and investigative model of the running gear of the car

Таким чином необхідно формувати нову систему [11] ТОiP АТЗ, що визначає сучасні принципи та методи (рис. 4). Дана система моделювання нової технології ТОiP реалізується в оболонці системи проектування автомобілів нового покоління.

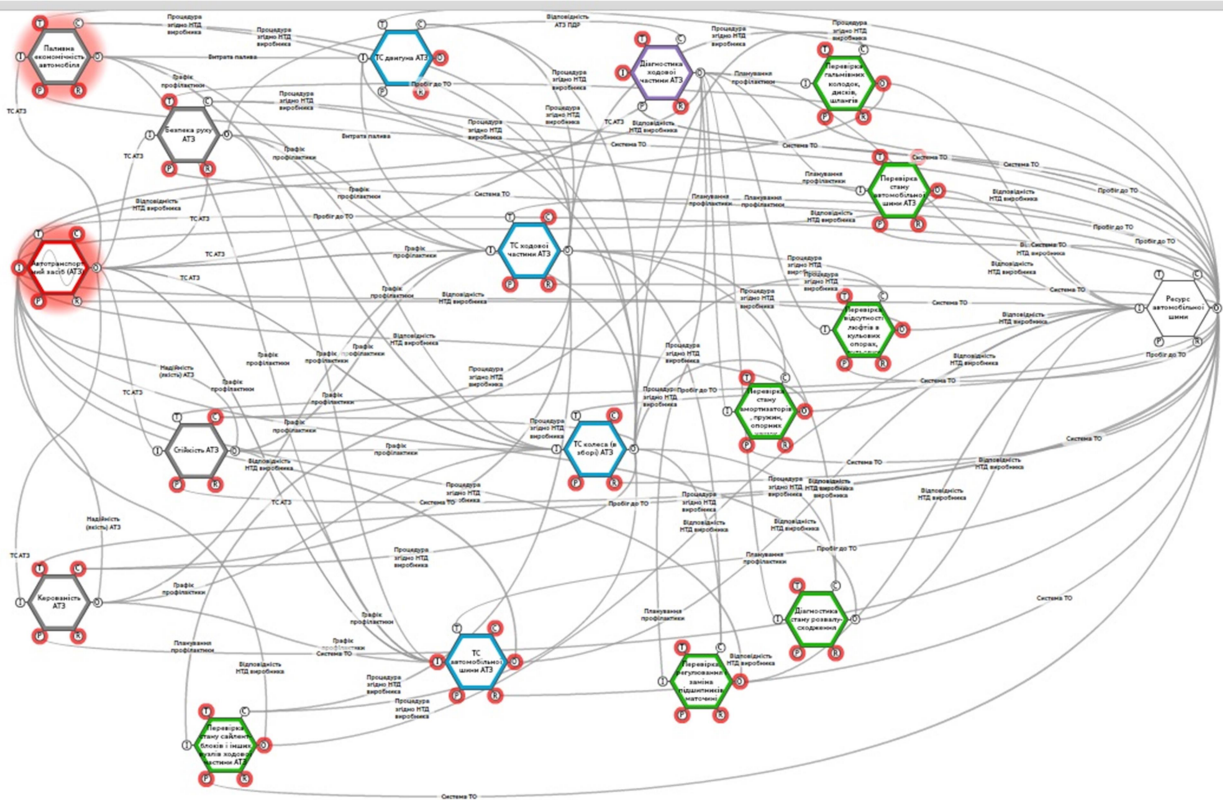


Рисунок 3 – МАФР-модельовання за контролем безпеки руху автомобіля внаслідок зміни його технічного стану (ТС) в процесі технічної експлуатації
 Figure 3 – Functional Resonance Analysis Method modelling of the car safety control because of the change of its technical condition (TC) in the process of technical operation

Система принципів і методів забезпечення якісно нових властивостей технологій ТОіР нового покоління може формуватися в рамках рекурентного підходу (повторюваність) на базі наступних типів принципів: відомих принципів, котрі можна представити множиною $R_s = \{R_{s1}, R_{s2}, R_{s3}, \dots, R_{si}, \dots, R_{sp}\}$; нових принципів – $R_n = \{R_{n1}, R_{n2}, R_{n3}, \dots, R_{ni}, \dots, R_{nj}\}$; якісно нових принципів – $R_h = \{R_{h1}, R_{h2}, R_{h3}, \dots, R_{hi}, \dots, R_{hg}\}$; принципіальні нові принципи – $R_m = \{R_{m1}, R_{m2}, R_{m3}, \dots, R_{mi}, \dots, R_{md}\}$; принципів на рівні нових рішень – $R_x = \{R_{x1}, R_{x2}, R_{x3}, \dots, R_{xi}, \dots, R_{xv}\}$; ...; принципів на рівні відкриття – $R_w = \{R_{w1}, R_{w2}, R_{w3}, \dots, R_{wi}, \dots, R_{wy}\}$.

Система принципів і методів забезпечення якісно нових властивостей і можливостей технології ТОіР нового покоління може також формуватися в рамках генерування множин варіантів композицій принципів на базі морфологічного ящику:

$$R = \begin{vmatrix} R_{s1} & R_{s2} & R_{s3} \cdots & R_{si} & R_{sp} \\ R_{n1} & R_{n2} & R_{n3} \cdots & R_{ni} & R_{nj} \\ R_{h1} & R_{h2} & R_{h3} \cdots & R_{hi} & R_{hg} \\ R_{m1} & R_{m2} & R_{m3} \cdots & R_{mi} & R_{md} \\ R_{x1} & R_{x2} & R_{x3} \cdots & R_{xi} & R_{xv} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{w1} & R_{w2} & R_{w3} \cdots & R_{wi} & R_{wy} \end{vmatrix} \quad (1)$$

де R – загальна система принципів і методів забезпечення якісно нових властивостей і можливостей технології ТОіР нового покоління; R_{ij} – i -й принцип j -го типу принципів забезпечення якісно нових властивостей і можливостей технології ТОіР нового покоління.

Слід зазначити, що любий принцип створення технологій нового покоління R_{ni} може утворювати від перетинання деякої підмножиною p_i відомих принципів:

$$R_{nj} = \bigcap_{i=1}^{p_j} p_i \quad (2)$$

де R_{nj} – поле, що утворює нові принципи створення технологій; R_{si} – множина відомих принципів моделювання технологій; p_j – потужність підмножиною відомих принципів.

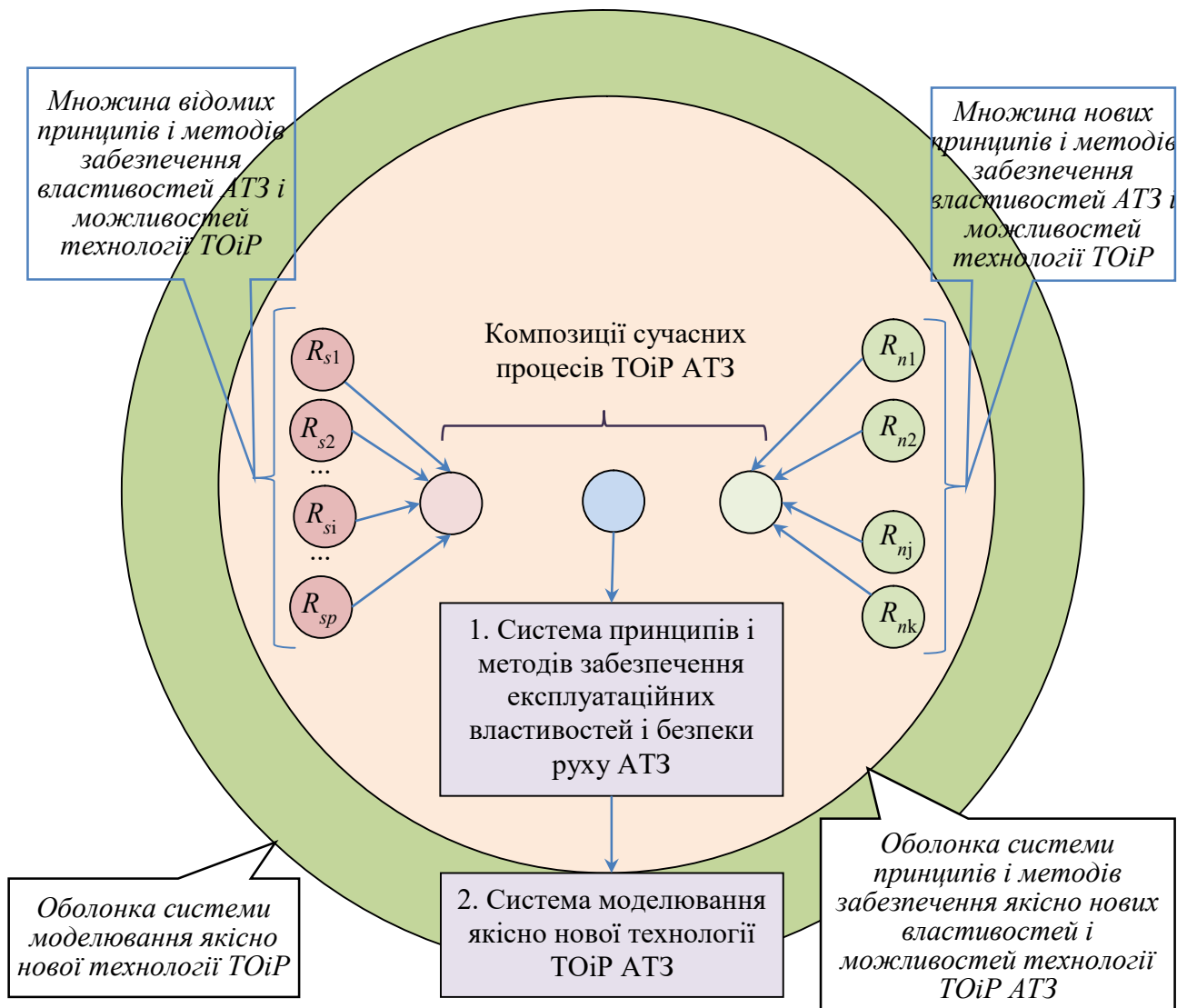


Рисунок 4 – Гіпотетична діаграма загальної методології моделювання якісної нової технології TOiP автомобілів (технологія нового покоління)

Figure 4 – Hypothetical diagram of a general methodology for modeling high-quality new car maintenance technology (next-generation technology)

Висновки. МАФР, який доповнює підхід до аналізу умов забезпечення безпеки руху та підвищення експлуатаційних властивостей АТЗ, є інноваційним методом, який використовується в авіації, медицині, ядерній енергетиці, морському або автомобільному транспорті. Він використовується для аналізу повсякденної діяльності з метою створення моделей виконання конкретних завдань. Потім ця модель може бути використана для конкретних видів аналізу з метою перевірки доцільності запропонованих рішень або втручання, щоб виявити причини помилок, можливих загроз або вузьких місць, а також зрозуміти, як здійснюється діяльність. Це може бути основою аналізу ризиків або розслідування нещасних випадків, які вже відбулися, або прогнозування можливих майбутніх подій.

Моделювання впливу технічного стану ходової частини на експлуатаційні властивості легкового автомобіля з використанням МАФР, безумовно, виявило, що обслуговування АТЗ є складним видом діяльності людини і потребує нових підходів до технологій нового покоління (автомобілі нового покоління – гібриди, електро, автономні). Модель МАФР дала уявлення про те, як

успішне та якісне виконання робіт з ТОіР автомобіля залежить від складної взаємодії декількох його частин, що працюють в технічній системі. Взаємозв'язки є настільки складними, що їх майже неможливо сприймати. Таким чином, важливі соціально-технічні механізми системи «Людина-Автомобіль-Організація системи ТОіР», що регулюють зв'язки між функціями. Це можуть бути неформальні, людські механізми, технології ТОіР нового покоління або конкретні інструменти, такі як контроль за технічним станом основних частин автомобіля, технологічний процес обслуговування, діагностування (загальне та по елементне), інструкції та регламент роботи ремонтної бригади тощо. Моделювання МАФР впливу ТС ходової частини на експлуатаційні властивості автомобіля показало, що необхідно приділяти значну увагу сучасній поелементній діагностиці, тому що це значно впливає на безпеку руху. Виконання цих функцій ґрунтується більше на сучасних знаннях про конструкцію автомобіля нового покоління та їх технологію ТОіР, таким чином, може зазнавати більшої мінливості.

Подальший розвиток. Інноваційний метод МАФР визначає основні чинники, що впливають на безпеку руху автомобіля (періодичність ТОіР; умови експлуатації; якість конструкції автомобіля; рівень кваліфікації ремонтних робітників і обладнання щодо ТОіР тощо), потребують подальшого врахування їх для забезпечення проведення своєчасних режимів ТОіР на основі повної сучасної діагностики автомобілів нового покоління.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. From FRAM (Functional Resonance Accident Model) to FRAM (Functional Resonance Analysis Method) / Hollnagel E. // Presentation at the FRAM workshop, École des Mines de Paris – Centre for Research on Risk and Crises (CRC) 20-22 February, Sophia Antipolis, France, 2008.
2. Resilient health care: turning patient safety on its head / Braithwaite J., Wears R. L., Hollnagel E. // *International Journal for Quality in Health Care*, Volume 27, Issue 5. – October 2015. – P. 418–420, <https://doi.org/10.1093/intqhc/mzv063>
3. Learning from patient safety incidents in incident review meetings: organisational factors and indicators of analytic process effectiveness / Anderson J.E., Kodate N. // *Saf. Sci.*, 80. – 2015. – P. 105–114.
4. Clay-Williams R. Where the rubber meets the road: using FRAM to align work-as-imagined with work-as-done when implementing clinical guidelines / R. Clay-Williams, J. Hounsgaard, E. Hollnagel // *Implement. Sci.*, 10 (1). – 2015. – p. 125-136.
5. Blood sampling – two sides to the story / Pickup L., Atkinson S., Hollnagel E. et al. // *Appl. Ergon.* 59. – 2017. – P. 234–242.
6. Proposing leading indicators for blood sampling: application of a method based on the principles of resilient healthcare / Raben D.C., Bogh S.B., Viskum B. et al. // *Cognit. Technol. Work*, 19 (4). – 2017. – P. 809–817.
7. Comparing a multilinear (STEP) and systemic (FRAM) method for accident analysis / Herrera I.A., Woltjer R. // *Reliability Engineering and System Safety*, 95. – 2010. – p. 1269-1275.
8. FRAM modelling of the transfer of control over aircraft / Rutkowska, P., Krzyżanowski, M. // *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 101. – 2018. – P. 159-166.
9. A software-supported process for assembling evidence and handling uncertainty in decision-making / Davis J. P., Hall J. W. // *Decision Support Systems*, 35(3). – 2003. – pp. 415-433.
10. Сакно О. П. Управління ресурсом шин засобів транспорту за рахунок удосконалення контролю зносу протектора [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / Сакно Ольга Петрівна ; Східноукр. нац. ун-т ім. Володимира Даля. – Луганськ, 2013. – 216.
11. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий машиностроения / А.Н. Михайлов. – М.: Машиностроение, 2009. – 346 с.

REFERENCES

1. Hollnagel E. From FRAM (Functional Resonance Accident Model) to FRAM (Functional Resonance Analysis Method). Presentation at the FRAM workshop, École des Mines de Paris – Centre for Research on Risk and Crises (CRC) 20-22 February, Sophia Antipolis, France, 2008.
2. Braithwaite J., Wears R. L., Hollnagel E. Resilient health care: turning patient safety on its head. *International Journal for Quality in Health Care*, Volume 27, Issue 5, October 2015, pp. 418–420, <https://doi.org/10.1093/intqhc/mzv063>
3. Anderson J.E., Kodate N. Learning from patient safety incidents in incident review meetings: organisational factors and indicators of analytic process effectiveness. *Saf. Sci.* 80, 2015. pp. 105–114.

4. Clay-Williams R., Hounsgaard J., Hollnagel E. Where the rubber meets the road: using FRAM to align work-as-imagined with work-as-done when implementing clinical guidelines. *Implement. Sci.*, 10 (1), 2015, pp. 125.
5. Pickup L., Atkinson S., Hollnagel E. et al. Blood sampling – two sides to the story. *Appl. Ergon.* 59, 2017. pp. 234–242.
6. Raben D.C., Bogh S.B., Viskum B. et al. Proposing leading indicators for blood sampling: application of a method based on the principles of resilient healthcare. *Cognit. Technol. Work*, 19 (4), 2017. pp. 809–817.
7. Herrera I.A., Woltjer R. Comparing a multilinear (STEP) and systemic (FRAM) method for accident analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 95, 2010, pp. 1269-1275.
8. Rutkowska P., Krzyżanowski M. FRAM modelling of the transfer of control over aircraft. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 101, 2018, pp. 159-166.
9. Davis J. P., Hall J. W. A software-supported process for assembling evidence and handling uncertainty in decision-making. *Decision Support Systems*, 35(3), 2003, pp. 415-433.
10. Sakno O. P. Upravlinnya resursom shy'n zasobiv transportu za raxunok udoskonalennya kontrolyu znosu protektora [Managing resources tires of transport by improving monitoring tread wear [Text]: Dis. ... candidate. Sc. Sciences: 05.22.20 / Sakno Olga; Shidnoukr. nat. University of them. Vladimir Dahl]. – Lugansk, 2013. – 216. [in Ukrainian].
11. Mihaylov A. N. *Osnovy sinteza funktsionalno-orientirovannykh tekhnologiy mashinostroeniya* [Basics of the synthesis of function-oriented engineering technologies]. Moscow: Mashinostroyeniye, 2009. 346 p. [in Russian].

РЕФЕРАТ

Сахно В.П. Метод аналізу функціонального резонансу для моделювання контролю безпеки руху автомобіля / В.П. Сахно, В.М. Поляков, О.П. Сакно, Т.М. Колеснікова // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

У статті змодельоване контролю за безпекою руху автомобіля внаслідок зміни його технічного стану в процесі експлуатації використовуючи метод аналізу функціонального резонансу.

Об'єкт дослідження – контроль за безпекою руху автомобіля внаслідок зміни його технічного стану в процесі експлуатації використовуючи метод аналізу функціонального резонансу.

Мета роботи – на основі методу аналізу функціонального резонансу змодельовати контроль за безпекою руху автомобіля внаслідок зміни його технічного стану, що впливає на погіршення керованості, стійкості, плавності та ходових якостей в процесі експлуатації.

Метод дослідження – імітаційне моделювання.

Для забезпечення справного технічного стану легкового автомобіля було проаналізовано технології його технічного обслуговування. Практична обробка статистичних даних реалізована за допомогою інструменту ResilienceDS.

На основі статистичних даних було проаналізовано причини зміни технічного стану ходової частини легкового автомобіля та їх вплив на експлуатаційні властивості.

Для рішення поставленої мети використовується технічне забезпечення ResilienceDS. Такий інструмент дозволив змодельовати соціотехнічну систему «Людина-Автомобіль-Організація системи технічного обслуговування» та сформулювати формальні моделі для постійної оцінки ефективного функціонування системи технічного обслуговування та умов підвищення експлуатації автомобілів.

Зібрані дані на фірмовому СТО легкових автомобілів були використані для розробки моделі технічного обслуговування за методом аналізу функціонального резонансу. Модель складається з набору функцій, які описують дії, що проводяться з обслуговування легкових автомобілів.

Моделювання впливу технічного стану ходової частини на експлуатаційні властивості легкового автомобіля за методом аналізу функціонального резонансу, безумовно, виявило, що обслуговування автомобіля є складним видом діяльності. Модель за методом аналізу функціонального резонансу дала уявлення про те, як успішне та якісне виконання робіт з технічного обслуговування автомобіля залежить від складної взаємодії декількох його частин, що працюють в технічній системі. Взаємозв'язки є настільки складними, що їх майже неможливо сприймати. Таким чином, важливі соціально-технічні механізми системи «Людина-Автомобіль-Організація системи технічного обслуговування», що регулюють зв'язки між функціями. Це можуть бути неформальні, людські механізми або конкретні інструменти, такі як рівень технічного стану автомобіля, технологічний процес обслуговування, інструкції та регламент роботи ремонтної бригади.

Моделювання впливу технічного стану ходової частини на експлуатаційні властивості автомобіля за методом аналізу функціонального резонансу показало, що необхідно приділяти значну увагу поелементній діагностиці. Виконання цих функцій ґрунтується більше на сучасних знаннях про конструкцію автомобіля нового покоління та його технологію технічного обслуговування, таким чином, може зазнавати більшої мінливості.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОМОБІЛЬ, КОНТРОЛЬ, БЕЗПЕКА РУХУ, ТЕХНІЧНИЙ СТАН, СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ, МЕТОД АНАЛІЗУ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО РЕЗОНАНСУ

ABSTRACT

Sakhno V.P., Poliakov V.M., Sakno O.P., Kolesnikova T.M. Functional Resonance Analysis Method modelling of the car safety control. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

In the article, the car safety control is simulated because of the change of its technical condition during operation using the functional resonance analysis method.

The object of the study is car safety control because of the change of its technical condition during operation using the functional resonance analysis method.

The purpose of the article, based on the method of functional resonance analysis, is to simulate the car safety control because of the change of its technical condition, which affects the deterioration of steerability, stability, smoothness and unning characteristics during operation.

The research method is simulation modeling.

To ensure the proper technical condition of the car, the technology of its maintenance has been analyzed. The practical processing of statistics is implemented using the ResilienceDS tool.

On the basis of statistical data, the reasons for changing the technical condition of the running gear of the car and their influence on the operational properties were analyzed.

ResilienceDS hardware is used to achieve this goal. Such a tool allowed us to model the socio-technical system "Human-Car-Organization of maintenance system" and to form formal models for the continuous evaluation of the stability and conditions of increasing the operation of cars.

The data collected on the service station of cars was used to develop a maintenance model by the functional resonance analysis method. The model consists of a set of features that describe the steps taken to service a car.

Simulation of the influence of the running gear technical condition on the performance of the car by the functional resonance analysis method has certainly revealed that car maintenance is a complex activity. The model by the functional resonance analysis method gave an idea of how successful and high-quality car maintenance works depend on the complex interaction of several of its parts that work in the technical system. Relationships are so complex that they are almost impossible to perceive. Thus, the important socio-technical mechanisms of the system "Human-Car-Organization of maintenance system" that regulate the relationship between functions. These can be informal, human mechanisms or specific tools, such as the level of technical condition of the car, the technological process of service, instructions and regulations of the repair team. The simulation of the influence of the technical condition of the undercarriage on the performance of the car by the functional resonance analysis method showed that considerable attention should be paid to elemental diagnostics. The performance of these functions is based more on current knowledge of the design of a new generation car and its maintenance technology, thus, may be more volatile.

KEYWORDS: VEHICLE, CONTROL, SAFETY, TECHNICAL CONDITION, MAINTENANCE SYSTEM, FUNCTIONAL RESONANCE ANALYSIS METHOD

РЕФЕРАТ

Сахно В.П. Метод анализа функционального резонанса для моделирования контроля безопасности движения автомобиля / В.П. Сахно, В.М. Поляков, О.П. Сакно, Т.Н. Колесникова // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье смоделировано контроль за безопасностью движения автомобиля в результате изменения его технического состояния в процессе эксплуатации используя метод анализа функционального резонанса.

Объект исследования – контроль за безопасностью движения автомобиля в результате изменения его технического состояния в процессе эксплуатации используя метод анализа функционального резонанса.

Цель работы – на основе метода анализа функционального резонанса смоделировать контроль за безопасностью движения автомобиля в результате изменения его технического состояния, что влияет на ухудшение управляемости, устойчивости, плавности и ходовых качеств в процессе эксплуатации.

Метод исследования – имитационное моделирование.

Для обеспечения исправного технического состояния легкового автомобиля были проанализированы технологии его технического обслуживания. Практическая обработка статистических данных реализована с помощью инструмента ResilienceDS.

На основе статистических данных были проанализированы причины изменения технического состояния ходовой части легкового автомобиля и их влияние на эксплуатационные свойства.

Для решения поставленной цели используется техническое обеспечение ResilienceDS. Такой инструмент позволил смоделировать социотехническую систему «Человек-Автомобиль-Организация системы технического обслуживания» и сформировать формальные модели для постоянной оценки эффективного функционирования системы технического обслуживания и условий повышения эксплуатации автомобилей.

Собранные данные на фирменном СТО легковых автомобилей были использованы для разработки модели технического обслуживания по методу анализа функционального резонанса. Модель состоит из набора функций, которые описывают действия, проводимые по обслуживанию легковых автомобилей.

Моделирование влияния технического состояния ходовой части на эксплуатационные свойства легкового автомобиля по методу анализа функционального резонанса, безусловно, выявило, что обслуживание автомобиля является сложным видом деятельности. Модель методом анализа функционального резонанса дала представление о том, как успешное и качественное выполнение работ по техническому обслуживанию автомобиля зависит от сложного взаимодействия нескольких его частей, работающих в технической системе. Взаимосвязи настолько сложными, что их почти невозможно воспринимать. Таким образом, важные социально-технические механизмы системы «Человек-Автомобиль-Организация системы технического обслуживания», регулирующих связи между функциями. Это могут быть неформальные, человеческие механизмы или конкретные инструменты, такие как уровень технического состояния автомобиля, технологический процесс обслуживания, инструкции и регламент работы ремонтной бригады. Моделирование влияния технического состояния ходовой части на эксплуатационные свойства автомобиля по методу анализа функционального резонанса показало, что необходимо уделять значительное внимание поэлементной диагностике. Выполнение этих функций основывается больше на современных знаниях о конструкции автомобиля нового поколения и его технологии технического обслуживания, таким образом, может подвергаться большему изменению.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АВТОМОБИЛЬ, КОНТРОЛЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ, ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ, СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА, МЕТОД АНАЛИЗА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО РЕЗОНАНСА

АВТОРИ:

Сахно Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри «Автомобілі», e-mail: sakhno@i.ua, тел. +38(044)280-42-52, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 301, orcid.org/0000-0002-5144-7131

Поляков Віктор Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри «Автомобілі», e-mail: poljakov_2006@ukr.net, тел. +38(044)280-42-52, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 301, orcid.org/0000-0001-7042-3066

Сакно Ольга Петрівна, кандидат технічних наук, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», доцент кафедри експлуатації та ремонту машин, e-mail: sakno-olga@ukr.net, тел. +38(050)-29-55-116, Україна, 49600, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24а, orcid.org/0000-0003-4672-6651

Колеснікова Тетяна Миколаївна, кандидат технічних наук, ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», доцент кафедри експлуатації та ремонту машин, e-mail: tnk1403@ukr.net, Україна, 49600, м. Дніпро, вул. Чернишевського, 24а, orcid.org/0000-0002-8568-4688

AUTHORS:

Sakhno Vladimir Prokhorovich, Doctor of Engineering, professor, National transport university, head of the department «Avtomobili», e-mail: sakhno@i.ua, ph. +38(044)280-42-52, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 301, orcid.org/0000-0002-5144-7131

Poliakov Viktor Mihailovich, Doctor of Engineering, assistant of professor, National transport university, professor of Avtomobili chair, e-mail: poljakov_2006@ukr.net, ph. +38(044)280-42-52, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 301, orcid.org/0000-0001-7042-3066

Sakno Olha Petrivna, candidate of technical Sciences (PhD), Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, assistant of professor of the Department of Operation and Maintenance of Machines, e-mail: sakno-olga@ukr.net, ph. +38-050-29-55-116, Ukraine, 49600, Dnipro, Chernyshevsky Str., 24A, orcid.org/0000-0003-4672-6651

Kolesnikova Tetiana Mikolaivna, candidate of technical Sciences (PhD), Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture, assistant of professor of the Department of Operation and Maintenance of Machines, e-mail: tnk1403@ukr.net, Ukraine, 49600, Dnipro, Chernyshevsky Str., 24A, orcid.org/0000-0002-8568-4688

АВТОРЫ:

Сахно Владимир Прохорович, доктор технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, заведующий кафедрой «Автомобили», e-mail: sakhno@i.ua, тел. +38(044)280-42-52, Украина, 01010, г. Киев, ул. Емельяновича-Павленко, 1, к. 301, orcid.org/0000-0002-5144-7131

Поляков Виктор Михайлович, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, профессор кафедры «Автомобили», e-mail: poljakov_2006@ukr.net, тел. +38(044)280-42-52, Украина, 01010, г. Киев, ул. Емельяновича-Павленко, 1, к. 301, orcid.org/0000-0001-7042-3066

Сакно Ольга Петровна, кандидат технических наук, ГВУЗ «Приднипровская государственная академия строительства и архитектуры», доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин, e-mail: sakno-olga@ukr.net, тел. +38(050)-29-55-116, Украина, 49600, г. Днепро, ул. Чернышевского, 24а, orcid.org/0000-0003-4672-6651

Колесникова Татьяна Николаевна, кандидат технических наук, ГВУЗ «Приднипровская государственная академия строительства и архитектуры», доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин, e-mail: tnk1403@ukr.net, Украина, 49600, г. Днепро, ул. Чернышевского, 24а, orcid.org/0000-0002-8568-4688

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гутареич Ю.Ф., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри двигунів та теплотехніки, Київ, Україна

Кравченко О.П., доктор технічних наук, професор, державний університет «Житомирська політехніка», завідувач кафедри автомобілів і транспортних технологій, Житомир, Україна

REVIEWERS:

Hutareych Yu.F., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, head of the Department of engines and heat engineering, Kyiv, Ukraine.

Kravchenko A.P., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, Zhytomyr Polytechnic state university, head of the department of automobiles and transport technologies, Zhytomyr, Ukraine

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО АЛГОРИТМУ ВИТРАТИ ПАЛИВА АВТОМОБІЛЯМИ-САМОСКИДАМИ

Светазаров О.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна, rich.adamant.55@gmail.com, orcid.com/0000-0001-9509-5038

Ковальов М.Ф. кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, mfk0146@gmail.com, orcid.com/0000-0003-4196-1871

THE THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE COMPUTATIONAL ALGORITHM OF FUEL CONSUMPTION BY DUMP TRUCKS

Svietazarov A.N., National Transport University, Kyiv, Ukraine, rich.adamant.55@gmail.com, orcid.com/0000-0001-9509-5038

Kovalev M.F., associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, mfk0146@gmail.com, orcid.com/0000-0003-4196-1871

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВИЧЕСЛИТЕЛЬНОГО АЛГОРИТМА РАСХОДА ТОПЛИВА АВТОМОБИЛЯМИ-САМОСВАЛАМИ

Светазаров А.Н., Национальной транспортной университет, Киев, Украина, rich.adamant.55@gmail.com, orcid.com/0000-0001-9509-5038

Ковальов М.Ф., кандидат технических наук, 0000-0003-4196-1871, Национальной транспортной университет, Киев, Украина, mfk0146@gmail.com, orcid.com/0000-0003-4196-1871

Вступ.

Головною метою і завданням різних видів транспорту, відповідно до основних напрямків та правил – це надання послуг та задоволення потреб підприємств державної та приватної власності та приватних осіб в перевезенні вантажів з механізованим вантажно-розвантажувальним циклом. На даний час, для виконання транспортної роботи по перевезенню вантажів з вантажно-розвантажувальним циклом є автомобіль-самоскид та автомобілі, що обладнанні краном, маніпулятором. Автомобілі-самоскиди відносяться до групи спеціального автомобільного транспорту і користується великим попитом. Фактори які впливають на попит даної спецтехніки для вантажоперевезень такі, а саме: універсальність, функціональність і ринкова ліквідність. Сьогодні в Україні зростає попит на автомобілі-самоскиди. За підсумками 2016 року продаж нових автомобілів-самоскидів становила 46%. На початку 2017 року зростання продовжилося – на 36% в порівнянні з 2016 роком. [1-2]

Мета роботи.

Мета роботи полягає в визначенні, розробці та побудові (оптимізації) алгоритму кількісних та якісних показників ефективності використання та економії палива автомобілів-самоскидів при розвантажувальному циклі.

Постановка проблеми.

Паливо є головним ресурсом енергії для виконання транспортної роботи різними транспортними засобами та спецтехнікою. В Україні, для розрахунку та встановлення витрати палива, яку витрачає автомобіль-самоскид, визначають із додатку нормативного документу «Норми витрати палива і мастильних матеріалів». Даний документ приводить загальну формулу для визначення витрати палива в літрах на 100 кілометрів, яка не показує фактичну витрату палива. Тому основним питанням по оптимізації показників та економії палива є зміни реальних режимів роботи автомобілів-самоскидів, як під час руху, так і зміни режимів вантажно-розвантажувального процесу. Питання витрати палива в режимі розвантаження на даний момент майже не вивчалось і немає конкретних відомостей, тому це питання є досить актуальним і потребує більш поглибленого вивчення з метою подальшого впровадження в транспортні підприємства сучасних методів розрахунку та обміну витрат палива.

Основний матеріал.

На ряду з усіма аспектами щодо поліпшення і підвищення продуктивності і енергозбереження в роботі автомобілів-самоскидів є економія та оптимізація показників витрат палива, так як на сьогоднішній день найбільша частка експлуатаційних витрат транспортних засобів припадає на паливно-мастильні матеріали. В свою чергу, паливо являється головним та невід'ємним компонентом для виконання різних технічних робіт, внаслідок чого паливо є головним стратегічним ресурсом для кожної розвинутої країни. При виконанні транспортної роботи та розвантажувального циклу автомобіля-самоскида впливають три основні групи факторів, від яких залежить інтенсивність витрат палива, наведені на рисунку 1.



Рисунок 1 – Групи факторів, від яких залежить витрата палива
Figure 1 – Group of factors on which the fuel consumption depends

До експлуатаційної групи, яка є найбільшою частиною за складом, відносять наступні фактори, а саме: технічний стан транспортного засобу; класифікація транспортного засобу; категорія доріг; кваліфікаційні вміння водіїв, фахівців по ремонту та обслуговуванню; інтенсивність транспортних потоків, які за останні роки в значній мірі ускладнилися з-за кількісного зростання автомобілів на транспортних магістралях. Ускладнення транспортних потоків виникає також при будівництві і виконанні ремонтних робіт по обслуговуванню та ремонту транспортних магістралей або існуючих інженерних споруд.

Витрату палива автомобілями-самоскидами можна умовно розділити на дві частини – це кількість палива, необхідної для виконання транспортної роботи та кількість палива для розвантажувального процесу. Для виконання транспортної роботи, витрата палива встановлена нормативними документами. В Україні нормування витрат палива здійснюється згідно наказу Міністерства транспорту України №43 від 10 лютого 1998 року. Цим наказом для максимально важких умовах експлуатації встановлено можливе збільшення витрат палива до 50%. [3] Однак нормативний документ не представляє можливості кількісно оцінити різні умови експлуатації.

Норми витрати палива можуть встановлюватися для кожної моделі, марки і модифікації автомобілів і з урахуванням умов експлуатації транспортних засобів, відповідно до їх класифікації та призначення. Норми включають витрату палива, необхідну для здійснення транспортного процесу. Як правило, питомий показник Q_h витрати палива розраховують в л/100 км. На даний час, згідно з наказом [3], в якості розрахунку витрати палива автомобілями-самоскидами можна визначити, використовуючи наступний вираз:

$$Q_h = 0,01 \cdot H_{\text{сам}} \cdot S \cdot (1 + 0,01 \cdot \Sigma D) + H_z \cdot Z \text{ л/100 км} \quad (1)$$

де $H_{\text{сам}}$ – норма витрати палива автомобіля-самоскида, визначається:

$$H_{\text{свант}} = H_s + H_w \cdot (G_{\text{пр}} + 0,5 \cdot q), \text{ л/100 км} \quad (2)$$

H_w – норма витрати палива на транспортну роботу автомобіля-самоскида і на додаткову масу причепа або напівпричепа, л/100 ткм або м/100 ткм;

$G_{\text{пр}}$ – власна маса причепа, напівпричепа, т;

q – вантажопідйомність причепа, т;

H_s – базова норма витрати палива автомобіля самоскида з урахуванням транспортної роботи, л/100 км;

S – пробіг автомобіля або автопоїзда, км;

H_z – додаткова норма витрати палива на кожну поїзду з вантажем автомобіля-самоскида, л;

Z – кількість поїздок з вантажем за зміну;

D – поправочний коефіцієнт, (сумарна відносна надбавка або зниження), до норми в відсотках.

При роботі автомобілів-самоскидів з самоскидними причепами, напівпричепами, норма витрати палива збільшується на кожен тону власної маси причепа, напівпричепа і половину його номінальної вантажопідйомності, (коефіцієнт завантаження – 0,5):

- бензину – до 2 л;
- дизельного палива – до 1,3 л;
- скрапленого газу – до 2,64 л;
- природного газу – до 2 м³.

Для автомобілів-самоскидів додатково встановлюється норма витрати палива (N_z) на кожен поїздку з вантажем при маневруванні в місцях навантаження і розвантаження:

- до 0,25 л рідкого палива (до 0,33 л зрідженого нафтового газу, до 0,25 м³ природного газу) на одиницю самоскидального рухомого складу;
- до 0,2 м³ природного газу і 0,1 л дизельного палива орієнтовно при газо-дизельному живленні двигуна.

Для великовантажних автомобілів-самоскидів типу «БелАЗ» додаткова норма витрати дизельного палива на кожен поїздку з вантажем встановлюється в розмірі до 1 л.

Для визначення витрат палива, автори [4,7] пропонують використовувати їхню розроблену математичну модель для розрахунку витрат палива. Дана математична модель побудована на основі теоретичних залежностей із теорії двигунів та експериментальних навантажувальних характеристик конкретного двигуна (вказано на рисунку 2).

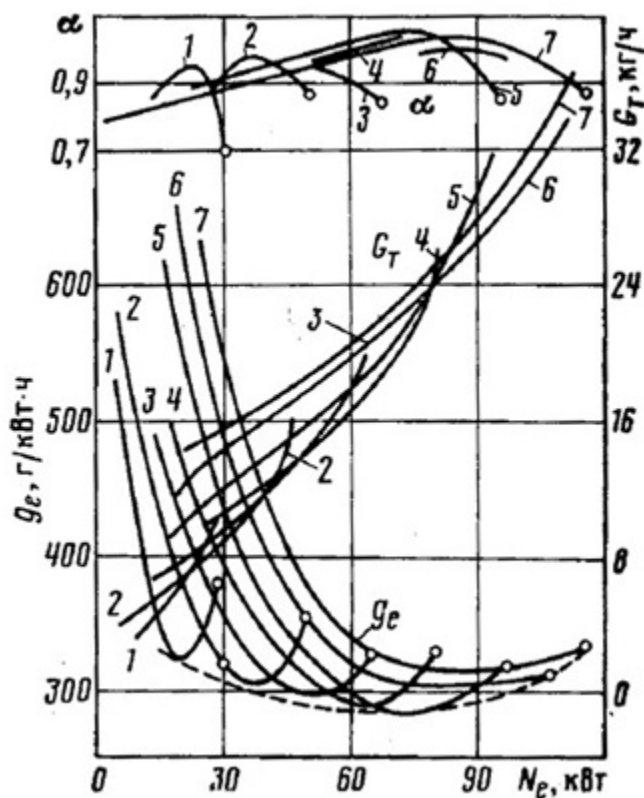


Рисунок 2 – Навантажувальні характеристики автомобіля ЗІЛ 130 при різній частоті обертання колінчастого валу, об/хв: 1 – 800; 2 – 1200; 3 – 1600; 4 – 2000; 5 – 2400; 6 – 2800; 7 – 3200

Figure 2 – Load characteristics of ZIL 130 car at different crankshaft speed, rpm: 1 – 800; 2 – 1200; 3 to 1600; 4 – 2000; 5 – 2400; 6-2800; 7 – 3200

Економічну роботу двигуна пропонують оцінювати питомою ефективністю і часовою витратою палива. Питома витрата палива g_e зменшується з підвищенням навантаження. При роботі двигуна по зовнішній характеристиці витрата палива зростає, (суміш збагачується економайзером). Мінімальна питома витрата палива на рисунку 2 показана штриховою лінією. Зі зменшенням потужності витрата палива зростає. Питома витрата палива також зростає зі збільшенням частоти обертання колінчастого

валу двигуна. Наприклад, при $N_e = 30$ кВт, питома витрата палива при максимальній частоті обертання $n = 3200$ (крива 7) – в 1,7 разів більше, ніж при $n = 1200$ об/хв (крива 2). Годинна витрата палива G_T при збільшенні навантаження зростає приблизно по закону прямої лінії. Зі зменшенням частоти обертання витрата палива знижується. [4,7]

Рівняння 1 являється загальним та приблизним, так як питома витрата палива не являється постійною величиною і завжди є різною, оскільки експлуатаційні фактори постійно змінюються. Як можна побачити з навантажувальної характеристики (рисунок 2), на питому і часову витрату палива впливає частота обертання колінчастого валу. Виходячи з цього дане рівняння не враховує показники, які є основними для розрахунку витрати палива, а саме: коефіцієнт корисної дії двигуна, передаточні числа коробки передач, інтенсивність обертання колінчастого валу та інші показники. Тому, для розробки методики щодо розрахунку витрат та економії палива потрібно детально розуміти та аналізувати процес роботи двигуна, особливо протікання робочих процесів при різних режимах, а також враховувати експлуатаційні та конструктивні фактори, та економічні методи управління на його паливну економічність.

Швидкість руху автомобіля є одним з головних експлуатаційних параметрів до складу якого входять категорії доріг, кліматичні умови, інтенсивність руху, режим регулювання що сильно змінюється в залежності від умов експлуатації та особливо впливає на витрату палива. Оптимізуючи і змінюючи в певних межах швидкість, можна вибрати найвигідніший режим руху і досягти значної економії палива.

Автор [5,7] розглядає питання щодо витрат палива з урахуванням характеристики швидкісного руху. Проведені дослідження автором [5,6,7] витрат палива з урахуванням зміни швидкості автомобіля без вантажу та з вантажем. Дослідження проводилося на рівних ділянках шосейних доріг, тобто без зміни рельєфу та категорії доріг. На рисунку 3 показані зміни окремих складових витрат палива навантаженого автомобіля в залежності від швидкості руху. Витрата палива на тертя в двигуні (крива 1), при збільшенні швидкості від 40 до 70 км / год, зростає з 6.8 до 7.7 л / 100 км. Витрата палива на подолання опору повітря (крива 3) змінюється від 4.6 до 12.1 л / 100 км. На перевіз і переміщення вантажу (крива 2) зі збільшенням швидкості – витрата палива знижується з 31 до 26,5 л / 100 км. Це пояснюється тим, що при збільшенні швидкості зростає відсоток використання потужності і індикаторний ККД. Сумарна витрата палива (крива 4) підвищується від 41,9 до 46,2 л / 100 км. [5,6,7]

При швидкості понад 70 км / год відсоток використання потужності досягає такої величини, при якій включається економайзер карбюратора і суміш різко збагачується, а індикаторні ККД знижуються до 0,28. Це зниження є причиною різкого збільшення всіх складових витрат палива.

Витрата палива на низьких передачах змінюється за законом прямих ліній. Кути нахилу пропорційні квадрату передавальних чисел. На прямій передачі в зв'язку зі збільшенням швидкості підвищується витрата палива на подолання опору повітря і тому крива загинається вгору. На рисунку 4 показаний графік зміни витрати палива в загальному вигляді при різних передаточних числах в залежності від швидкості автомобіля.

Як уже зазначалося, для кожного двигуна існує оптимальна частота обертання колінчастого валу, при якій ефективний ККД найбільший. Ця частота приблизно дорівнює тій, яка відповідає максимальному крутному моменту. Знаючи цю частоту, можна для кожної передачі визначити найбільш економічну швидкість. Якщо з'єднати точки кривих витрати палива, яким відповідають оптимальні швидкості, то отримаємо загальну криву витрати палива, в яку будуть укладатися значення витрати палива при різних середніх значеннях швидкостей і середньозважених величин передавальних чисел. Ці середні величини залежать в основному від дорожніх умов. Для навантаженого автомобіля крива витрати палива розташується вище кривої для порожнього автомобіля. Мінімум витрат палива зміщується в бік більш високих швидкостей.

На рисунку 5 показана зміна витрати палива в залежності від швидкості в різних дорожніх умовах. На цьому ж графіку штрихованими лініями вказані середні добові норми витрат палива для завантаженого і порожнього автомобілів. Як видно, діючі норми збігаються з розрахунковими кривими при швидкостях 35...40 км / год.

За допомогою отриманих математичних моделей був виконаний розрахунок витрати палива (л / 100 км) для трьох марок вантажних автомобілів, що працюють на дорогах з асфальтобетонним покриттям. [7]

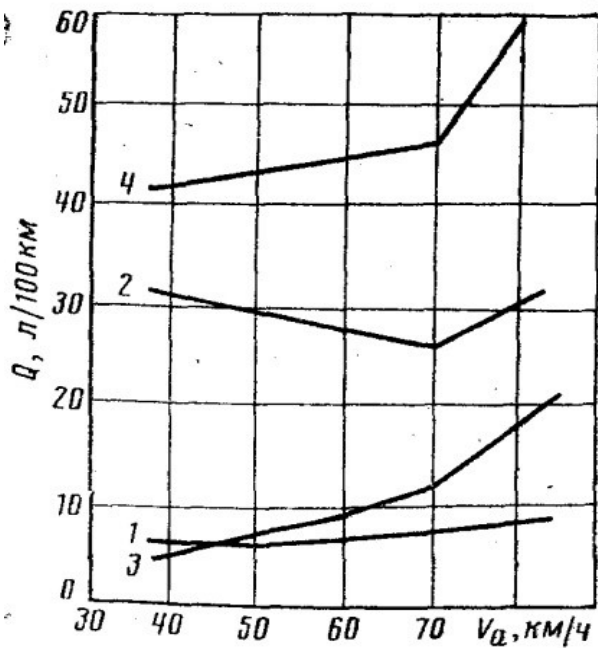


Рисунок 3 – Зміни складових витрат палива в залежності від швидкості руху
Figure 3 – Changes in fuel consumption components depending on speed

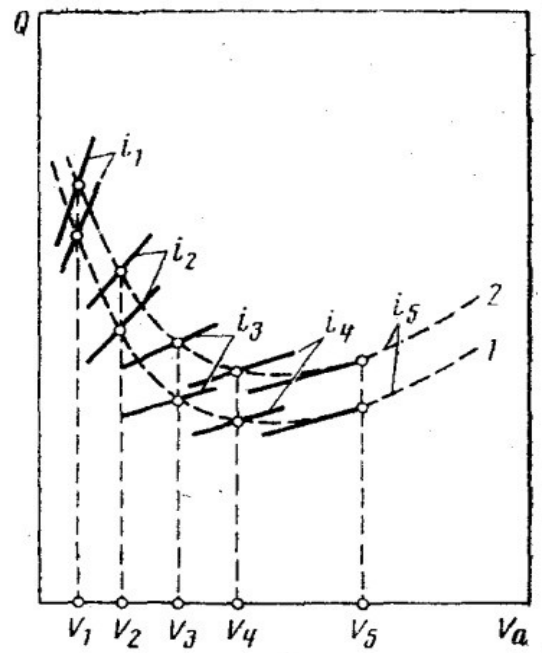


Рисунок 4 – Вплив швидкостей в і передаточних чисел на витрату палива в загальному вигляді
(1 – без вантажу; 2 – з вантажем)
Figure 4 – Influence of speeds in and ratios on fuel consumption in general
(1 – without cargo, 2 – with a load)

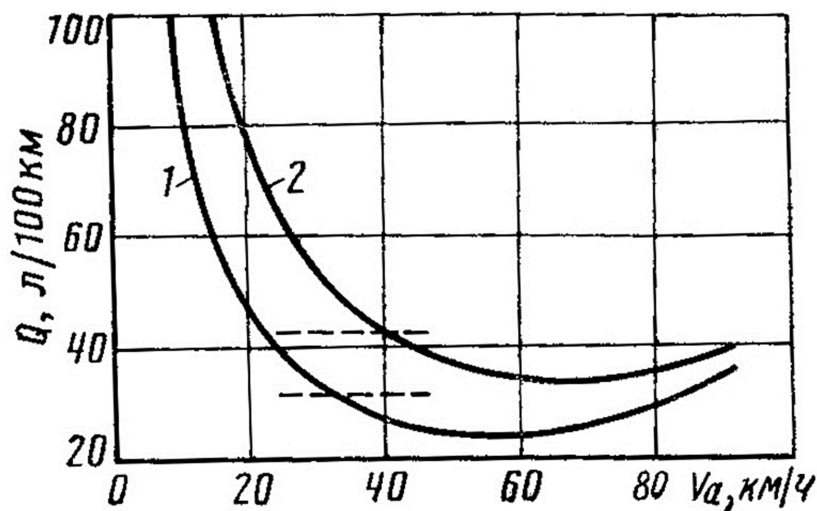


Рисунок 5 – Залежність витрати палива від середніх швидкостей
(1 – незавантажений; 2 – завантажений).
Figure 5 – Dependence of fuel consumption on average speeds (1 – unloaded, 2 – loaded).

Практика показує, що такі дані недостатньо надають повну характеристику витрат палива при перевезенні вантажу, так як реальні умови експлуатації відрізняються від умов експлуатації які розглянуті.

На основі досліджень Інституту гірничої справи Уральського відділення «ИГД УрО РАН» була розроблена експериментально-аналітична методика, яка визначає та вимірює витрату палива

автомобілями-самоскидами різної конструкції та вантажопідйомності. Це дозволяє розібрати диференційні норми витрат палива для всього параметричного ряду автомобілів-самоскидів. [8]

В експлуатаційних умовах потрібно виділити витрати палива на транспортування вантажу та пересування самого автомобілями-самоскидами, а також виконання розвантажувальної роботи. В загальному виді витрата палива за одну зміну визначають, використовуючи наступний вираз:

$$Q_{\text{доб}} = Q_0 + n \cdot (Q_{\text{зв}} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{нав}} + Q_{\text{роз}} + Q_{\text{оч}} + Q_{\text{м}})$$

де $Q_{\text{доб}}$ – загальна витрата палива за добу;

Q_0 – витрата палива за нульовий пробіг;

n – число поїздок за зміну;

$Q_{\text{зв}}$ – витрата палива на поїздку завантаженого автомобіля-самоскида;

$Q_{\text{пр}}$ – витрата палива на поїздку порожнього автомобіля-самоскида;

$Q_{\text{нав}}$ – витрата палива за час навантаження;

$Q_{\text{роз}}$ – витрата палива за час розвантаження;

$Q_{\text{оч}}$ – витрата палива за час очікування;

$Q_{\text{м}}$ – витрата палива за час маневрування.

Аналіз наведеної формули показує, що витрата палива автомобілями-самоскидами залежить від великої кількості факторів, обумовлених технічними і кліматичними умовами експлуатації. Причому, вплив цих факторів взаємопов'язаний і знаходиться в складній залежності, встановлення якої аналітичним шляхом є трудомісткою науковою задачею. Дослідження залежності витрати палива від величин, що входять в формулу, дозволило визначити основні напрямки по скороченню витрат палива на транспортування маси.

На підставі проведених досліджень були отримані залежності і фактичні величини витрат палива за елементами транспортного циклу автомобілями-самоскидами і використаної потужності двигуна N за один транспортний цикл.

Висновок.

На основі наведеного матеріалу можна зробити висновок, що витрату палива автомобілів-самоскидів розраховують в л / 100 км, з урахуванням теоретично вирахованих коефіцієнтів та відсоткових надбавок, що не дає можливості кількісно оцінити витрачене паливо у процесі розвантаження. Наданою автором [8] методикою розрахунку витрати палива автомобілями-самоскидами, враховується показник витрати палива за час розвантаження $Q_{\text{роз}}$ але інформації про даний показник немає. Показник розвантаження $Q_{\text{роз}}$ є одним із складових та невід'ємних показників, який характеризує роботу автомобіля-самоскида в процесі експлуатації. Цей показник є індивідуальною характеристикою конкретного робочого процесу і показує наскільки часто та інтенсивно використовується дана спецтехніка у роботі. Витрата палива в значній мірі залежить від впливу наступних факторів: технічного стану енергоносія (двигуна), технічного стану самоскидної установки, стану вантажу та його розміщення на платформі.

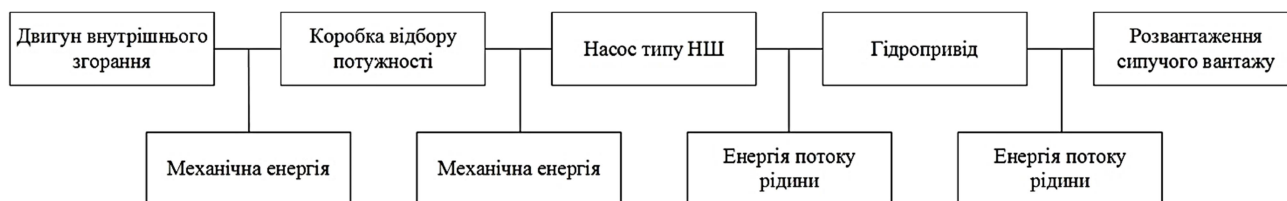


Рисунок 6 – Схема передачі механічної енергії до процесу розвантаження

Figure 6 – Scheme of mechanical energy transfer to the unloading process

Процес роботи гідроприводу, а також споживання палива автомобілем-самоскидом різне в різних процесах розвантажувальних робіт, який залежить від встановлених обертів ДВЗ, виду вантажу а також від виду завантаження платформи. Безумовно, встановити витрату палива автомобілем-самоскидом у розвантажувальному процесі набагато складніше, оскільки чітка норма витрати палива на даний процес у ньому не визначена, тому це питання, щодо розвантажувального процесу $Q_{\text{роз}}$ потребує подальшого дослідження.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Попит і актуальні конструкції автомобілів-самоскидів на світовому ринку [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://vladbmt.ru/s/samosvaly-sochljenjennyje-i-karjornyje.htm>
2. Попит на автомобілі-самоскиди в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.autoconsulting.com.ua/article.php?sid=38405>
3. Наказ Міністерства транспорту України №43 від 10 лютого 1998 року [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/v1112323-14>
4. Ховаха М. С. Автомобільні двигуни – М.: Машинобудування. 1977 р. – 599 ст.
5. Висоцький М. С., Беленький Ю. Ю., Московкин В. В. Паливна економічність автомобілів та автопоїздів – Мінськ: Наука і техніка. 1984 – 205 ст.
6. Фаробин Я. Е., Шупляков В. С. Оцінка експлуатованих властивостей автопоїздів для міжнародних перевезень. – М.: Транспорт, 1983 – 200 ст.
7. Говорущенко Н. Я. Економія палива та зниження токсичності автомобільного транспорту – М.: Транспорт. 1990 р. – 135 ст.
8. Тарасов П. І. Машина та обладнання для відкритих гірських робіт/Шляхи економії дизельного палива на кар'єрному автотранспорті.

REFERENCES

1. Demand and actual designs of dump trucks in the world market [Electronic resource]. – Access mode: <http://vladbmt.ru/s/samosvaly-sochljenjennyje-i-karjornyje.htm>
2. Demand for dump cars in Ukraine [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.autoconsulting.com.ua/article.php?sid=38405>
3. Order of the Ministry of Transport of Ukraine №43 of February 10, 1998 [Electronic resource]. – Access mode: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/v1112323-14>
4. Hovaha M. S. Automobile engines – M.: Machine-building. 1977 – p. 599. (Rus)
5. Vysotsky M. S., Belenky Yu. Yu., Moskovkin V. V. Fuel efficiency of cars and car-trains – Minsk: Science and technology. 1984 – p. 205. (Rus)
6. Fahrobin Ya. E., Shuplyakov V. S. Estimation of operational properties of car-trains for international transportation. – M.: Transport, 1983 – p. 200. (Rus)
7. Govoruschenko N. Ya. Fuel economy and road transport toxicity reduction – M.: Transport. 1990 – p. 135. (Rus)
8. Tarasov P. I. Machinery and equipment for open mining operations / Ways of saving diesel fuel on a quarry road vehicle. (Rus)

РЕФЕРАТ

Светазаров О.М. Теоретичне обґрунтування обчислювального алгоритму витрати палива автомобілями-самоскидами / О.М. Светазаров, М.Ф. Ковальов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

Мета статі полягає в визначенні, розробці та побудові (оптимізації) алгоритму кількісних та якісних показників ефективності використання та економії палива автомобілями-самоскидами при розвантажувальному циклі.

У статі розглянуто групу факторів від яких залежить витрата палива та встановлено, які фактори є пріоритетними. Проаналізований існуючий нормативний розрахунок витрат палива для автомобілів-самоскидів, який діє в Україні на державному рівні. Також у статі розглянуто витрату палива в залежності від навантажувальної характеристики автомобіля-самоскида при різній частоті обертання колінчастого валу, зміна витрати палива в залежності від швидкості руху та вплив на витрату палива передаточних чисел в загальному вигляді без вантажу і з вантажем, залежність витрати палива від середніх швидкостей незавантаженого і завантаженого автомобіля.

Проведений аналіз основного матеріалу та методів розрахунку витрат палива автомобілями-самоскидами на основі якого був зроблений висновок та представлений в статі.

Об'єкт дослідження – зміна витрати палива автомобілями-самоскидами у процесі розвантаження при різній частоті обертання колінчастого валу.

Дослідження витрати палива автомобілями-самоскидами при розвантажувальному процесі потребує детального вивчення, оскільки чітка норма витрати палива на даний процес не визначена та не вивчалася, тому питання щодо витрати, оптимізації та економії палива у розвантажувальному циклі є актуальним і потребує подальшого дослідження.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОМОБІЛЬ-САМОСКІД, ВИТРАТА ПАЛИВА, РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИЙ ПРОЦЕС

ABSTRACT

Svetazarov A.N., Kovalev M.F. Theoretical substantiation of the computational algorithm of fuel consumption by dump trucks. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The purpose of article is to determine, design and construct (optimize) algorithm of quantitative and qualitative indicators of efficiency of use and economy of fuel by dump trucks during unloading cycle.

The article considers a group of factors on which fuel consumption depends and determines which factors are the priority. An analysis of the existing normative calculation of fuel consumption for dump trucks, which operates in Ukraine at the state level. Also, in the article the fuel consumption is considered depending on the loading characteristic of the car-dumper at different speed of rotation of the crankshaft, change in fuel consumption, depending on the speed and impact on the fuel consumption of the gear ratios in the general form without cargo and with the load, dependence of fuel consumption on the average speed of unloaded and loaded vehicle.

An analysis of the main material and methods for calculating fuel consumption by dump trucks was carried out on the basis of which the conclusion was drawn and presented in the article.

The object of the study is the change in fuel consumption by dump trucks during unloading at different crankshaft rotational speeds.

The study of fuel consumption by dump trucks during the unloading process requires detailed study, since the exact fuel consumption rate for this process has not been determined and studied, therefore the issue of cost, optimization and fuel economy in the unloading cycle is relevant and requires further research.

KEYWORDS: DUMP TRUCKS, FUEL CONSUMPTION, UNLOADING PROCESS

РЕФЕРАТ

Светаза́ров А.Н. Теоретическое обоснование вычислительного алгоритма расхода топлива автомобилями-самосвалами / А.Н. Светаза́ров, М.Ф. Ковалев // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

Цель поля заключается в определении, разработке и построении (оптимизации) алгоритма количественных и качественных показателей эффективности использования и экономии топлива автомобилями-самосвалами при разгрузочном цикле.

В статье рассмотрены группу факторов от которых зависит расход топлива и установлен какие факторы являются приоритетными. Проанализирован существующий нормативный расчет расхода топлива для автомобилей-самосвалов, который действует в Украине на государственном уровне. Также в статье рассмотрены расход топлива в зависимости от нагрузочной характеристики автомобиля-самосвала при различной частоте вращения коленчатого вала, изменение расхода топлива в зависимости от скорости движения и влияние на расход топлива передаточных чисел в общем виде без груза и с грузом, зависимость расхода топлива от средних скоростей незагруженного и загруженного автомобиля.

Проведенный анализ основного материала и методов расчета расхода топлива автомобилями-самосвалами на основе которого был сделан вывод и представлен в полу.

Объект исследования – изменение расхода топлива автомобилями-самосвалами в процессе разгрузки при различной частоте вращения коленчатого вала.

Исследование расхода топлива автомобилями-самосвалами при разгрузочном процессе требует детального изучения, поскольку четкая норма расхода топлива на данный процесс не определена и не изучали, поэтому вопрос о расходах, оптимизации и экономии топлива в разгрузочном цикле является актуальным и требует дальнейшего исследования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АВТОМОБИЛИ-САМОСВАЛЫ, РАСХОД ТОПЛИВА, РАЗГРУЗОЧНЫЙ ПРОЦЕСС

АВТОРИ:

Светазаров Олександр Миколайович, аспірант кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail rich.adamant.55@gmail.com, тел. +380669574395, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к. 103, orcid.com/0000-0001-9509-5038.

Ковальов Михайло Францевич, кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: mfk0146@gmail.com, тел. +380667061713, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова, 1, к. 103, orcid.com/0000-0003-4196-1871.

AUTHORS:

Svetazarov Alexander Mykolayovych, graduate student department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: rich.adamant.55@gmail.com, tel. +380669574395, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 103, orcid.com/0000-0001-9509-5038.

Kovalev Mikhail Frantsevich, associate professor, National Transport University, professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: mfk0146@gmail.com, tel. +380667061713, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 103, orcid.com/0000-0003-4196-1871.

АВТОРЫ:

Светазаров Александр Николаевич, аспирант кафедры «Производство, ремонт и материаловедение», e-mail rich.adamant.55@gmail.com, тел. +380669574395, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к. 103, orcid.com/0000-0001-9509-5038.

Ковалев Михаил Францевич, кандидат технических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры «Производство, ремонт и материаловедение», e-mail: mfk0146@gmail.com, тел. +380667061713, Украина, 01010, г. Киев, ул. Суворова, 1, к. 103, orcid.com/0000-0003-4196-1871.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Поляков В. М., кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів Національного транспортного університету, Київ, Україна

Войтюк В. Д., доктор технічних наук, професор кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту ім. М.П. Момотенка Національного університету біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

REVIEWER:

Polyakov V. M., candidate of technical sciences, associate professor of the Department of Automobile National Transport University, Kyiv, Ukraine

Voytjuk V. D., doctor of technical sciences, professor of the department of technical service and engineering management them. M. P. Momentanka National University of Bioresources and Natural Resources of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ОПТИМІЗАЦІЯ РІВНЯ ТЕХНІЧНОЇ ГОТОВНОСТІ РУХОМОГО СКЛАДУ НА ОСНОВІ ВИТРАТ НА СЕРВІСНІ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Січко О.Є., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, sae@ua.fm, orcid.org/ 0000-0003-4027-3890

Субочев О.І. кандидат технічних наук, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна, subochev.alex@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6867-9991

Погорєлов М.Г., Донбаський державний педагогічний університет, Слов'янськ, Україна, texfak@gmail.com, orcid.org/0000-0000-0000-0000

Курніков С.І., Національний транспортний університет, Київ, Україна, kurnikov11@gmail.com, rcid.org/ 0000-0002-5024-3785

Горбань Р.А., Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро, Україна, subochev.alex@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6867-9991

OPTIMIZATION OF TECHNICAL READING LEVEL ON THE BASIS OF COSTS ON SERVICE SERVICES

Sichko O.E., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, sae@ua.fm, orcid.org/0000-0003-4027-3890

Subochev O.I., Ph.D., Dnipro State Agrarian and Economic University, subochev.alex@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6867-9991

Pogorelov M.G., Donbass State Pedagogical University, texfak@gmail.com, orcid.org/0000-0000-0000-0000

Kurnikov S.I., National Transportation University, Kyiv, Ukraine, kurnikov11@gmail.com, rcid.org/ 0000-0002-5024-3785

Gorban R.A., Dnipro State Agrarian and Economic University, subochev.alex@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6867-9991

ОПТИМИЗАЦИЯ УРОВНЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ОСНОВЕ ЗАТРАТ НА СЕРВИСНЫЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ

Сичко О.Е., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, sae@ua.fm, orcid.org/0000-0003-4027-3890

Субочев А.И., кандидат технических наук, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, Днепр, Украина, subochev.alex@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6867-9991

Погорелов М.Г., Донбасский государственный педагогический университет, Славянск, Украина, texfak@gmail.com, orcid.org/0000-0000-0000-0000

Курников С.И., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, kurnikov11@gmail.com, rcid.org/ 0000-0002-5024-3785

Горбань Р.А., Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, Днепр, Украина, subochev.alex@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6867-9991

Вступ

Продуктом основної діяльності підприємства автомобільного транспорту (ПАТ) є надання послуг перевезень технічно справним рухомим складом. Ефективне використання рухомого складу неможливе без забезпечення оптимальної технічної готовності автотранспортних засобів, яка досягається через систему технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р), та забезпечується сервісними підприємствами (СП) [1].

Забезпечення технічної готовності обумовлюється витратами та системою управління якістю ТО і Р, її застосуванням на всіх рівнях організації цих процесів, дослідженням послідовності і взаємодії. В статті, розглядається система управління ТО і Р рухомого складу.

Аналіз попередніх досліджень

Застосування процесного підходу дозволяє ефективно планувати, керувати процесами ТО і Р рухомого складу, оцінювати результати, визначати напрямки для подальшого поліпшення. Це можливо при використанні системи показників процесно-орієнтованого підходу. В даному дослідженні ця задача вирішується для рухомого складу та вивчена недостатньо [4].

Досліджуючи досвід становлення і розвитку виробничих структур автомобільного транспорту, які забезпечують відповідні види діяльності, можна дійти висновку, що поєднання останніх не є єдино прийнятним. Значна частка виробничих структур автомобільного транспорту займається лише одним видом діяльності, передаючи інші до виконання стороннім суб'єктам господарювання. Разом з тим, ряд організацій поєднують ці види діяльності в певних варіантах [5].

Сучасний етап економічного розвитку країни характеризується зростанням автопарку і стрімким розвитком автомобільного сервісу. Конкурентна боротьба, яка виникає в таких умовах, виводить на передній план для сервісних підприємств проблему економічного виживання, яка з технічних позицій зводиться до раціонального управління потенціалом виробничої потужності [6].

Постановка проблеми

Застосування процесного підходу дає можливість зробити об'єкт дослідження більш впорядкованим. Для цього потрібно визначити споживачів і постачальників процесів ТО і Р, упорядкувати входи і виходи підпроцесів діяльності, встановити відповідальних та їх взаємодію для підвищення ефективності [7].

Організація, яка приймає методологію систем менеджменту якості, забезпечує впевненість у можливостях своїх процесів та в якості своєї продукції, а також забезпечує основу для постійного їх поліпшення. Це може сприяти більшій задоволеності споживачів та інших зацікавлених сторін і успіху організації [8].

Раціональний розподіл обсягів ремонтних робіт і призначення їх періодичності необхідно провести таким чином, щоб забезпечити належний рівень технічної готовності з мінімальними витратами часу і коштів на ремонт автомобілів [8].

Мета та завдання

Мета: підвищення ефективності роботи підприємств автомобільного транспорту шляхом оптимізації технічної готовності транспортних засобів на основі розвитку системи технічного обслуговування і ремонту.

Завдання:

- розробка моделі та структури взаємодіючих процесів сервісного підприємства при проведенні технічного обслуговування і ремонту рухомого складу;
- визначення чисельних показників допоміжних і основних процесів при технічному обслуговуванні та ремонті рухомого складу;
- аналіз впливу окремих параметрів процесу технічного обслуговування і ремонту на рівень технічної готовності рухомого складу;
- розробка моделей оптимізації коефіцієнта технічної готовності рухомого складу за мінімальними витратами і максимальною ефективністю використання ресурсів.

Об'єкт дослідження: система технічного обслуговування і ремонту сервісного підприємства.

Предмет дослідження: оптимізація технічної готовності транспортних засобів

Результати вирішення основних завдань

Для забезпечення показників надійності необхідно управляти процесом їх формування, направлено впливаючи на його окремі етапи і контролюючи хід процесу. При цьому питання управління початковою якістю і надійністю виробу, як властивістю зберігати початкові показники в часі, взаємопов'язані і утворюють єдину систему.

Вимоги до системи менеджменту не залежать від категорії продукції та застосовні до організацій будь-яких галузей. Це відноситься і до систем технічного обслуговування і ремонту на транспортних підприємствах.

Процес технічного обслуговування і ремонту, на основі системного підходу, що є допоміжним по відношенню до основного процесу – перевезень, який розглядається з позиції менеджменту якості.

Продуктом даного процесу є технічна готовність автотранспортного парку. Забезпечувальними процесами для нього будуть наступні процеси: адміністративно-господарська та фінансово-

економічна діяльність, модернізація технологій, матеріально-технічна діяльність і кадрове забезпечення.

Оцінка якості процесів сервісного підприємства здійснюється з позиції процесів системи управління якістю. Менеджмент керівництва оцінюється через виконання плану робіт з ТО і Р:

$$T_{II} = \frac{N_{PB}}{N_{P3AG}}, \quad (1)$$

де N_{PB} – кількість одиниць рухомого складу, які закінчили ТО вчасно;

N_{P3AG} – кількість одиниць рухомого складу, які закінчили ТО.

Показником загального стану (рівня прогресивності) робочих місць є коефіцієнт відповідності:

$$K_c = \frac{T_d}{T_{3AG}}, \quad (2)$$

де T_d – число дотримуваних вимог;

T_{3AG} – загальна кількість вимог за переліком.

Сумарна оцінка визначається:

$$K_{3AG} = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + K_4 + K_5}{5}, \quad (3)$$

де K_1 – коефіцієнт оснащення робочих місць необхідним обладнанням;

K_2 – коефіцієнт раціональності планування робочих місць;

K_3 – коефіцієнт відповідності організації обслуговування робочих місць;

K_4 – коефіцієнт відповідності форм і методів організації праці;

K_5 – коефіцієнт відповідності умов праці і техніки безпеки.

Використовуючи коефіцієнти вагомості, розраховують середньозважені комплексні показники, які характеризують, відповідно, кваліфікацію; ставлення до виконуваної роботи; дисципліну праці та дотримання технологій кожного робітника:

$$K_k = \sum_{j=1}^n K_j \cdot K_{ej}, \quad (4)$$

де K_j – одиничні показники;

K_{ej} – показники вагомості цих показників.

Рівень якості продукту процесу кадрового забезпечення оцінюється як зведена оцінка комплексних показників (професійний потенціал робітника):

$$ПП = \sum_{i=1}^3 K_{ki} \cdot K_{vi}, \quad (5)$$

Приклад оцінки кадрового забезпечення сервісного підприємства наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Оцінка кадрового забезпечення ремонтно-механічної майстерні
Table 1 – Evaluation of staffing the mechanical repair shop

Посада	Кваліфікація	Ставлення до виконуваної роботи	Дисципліна праці і технологій	Професійний потенціал робочого
Акумуляторник	0,888	0,867	0,915	0,892
Шліфувальник	0,854	0,905	0,817	0,856
Токар	0,799	0,850	0,861	0,838
Газозварник	0,945	0,735	0,960	0,886
Електрозварник	0,945	0,966	0,960	0,957
Середній показник	0,905	0,860	0,880	0,885

Зв'язок коефіцієнта технічної готовності із показниками надійності автомобілів можна описати виразом:

$$\alpha_T = \frac{1}{1 + \overline{l_{CP}} \frac{\overline{t_{CP}}}{\overline{x_{CH}}}}, \quad (6)$$

де $\overline{l_{CP}}$ – середньорічний пробіг, км/рік;

$\overline{t_{CP}}$ – середня тривалість простоїв (годин на рік);

$\overline{x_{CH}}$ – середнє напрацювання на відмову (км).

Для оцінки технічної готовності рухомого складу використовується комплексний показник – коефіцієнт технічної готовності (КТГ). Він характеризує ймовірність готовності техніки до виконання робіт в довільний момент часу.

З позиції мінімізації витрат для їх оцінки вводиться показник питомих витрат на проведення технічного обслуговування і ремонту одиниці рухомого складу за рік:

$$\Phi = (Z_{MK} + Z_{MPC} + Z_{K3} + Z_{AGD} + Z_{MTP}) / n, \quad (7)$$

де Z_{MK} – річні витрати на менеджмент керівництва;

Z_{MPC} – річні витрати на менеджмент ресурсів;

Z_{K3} – річні витрат на кадрове забезпечення;

Z_{AGD} – річні витрати на адміністративно-господарську діяльність;

Z_{MTP} – річні витрати на матеріально-технічне постачання;

n – кількість одиниць техніки в парку.

Показник питомих витрат приймає мінімальні значення при мінімальному рівні технічної готовності, що обмежує роботу сервісного підприємства.

Питомий показник втраченого доходу:

$$Y = C_{MG} + \sum_{i=1}^m V_{TO}(Z_{TO}) / n, \quad (8)$$

де C_{MG} – вартість послуг транспорту одної машино-години, тис. грн.;

$\sum_{i=1}^m V_{TO}(Z_{TO})$ – час проведення i -го виду технічного обслуговування для всього парку, години.

Ці показники характеризують проведення технічного обслуговування комплексно, при цьому дозволяють знайти оптимальне значення КТГ та мінімізуючи витрати.

Інтегральний показник витрат:

$$A = \Phi + Y. \quad (9)$$

Загальна функція оптимізації вигляд:

$$A = (Z_{MP} + Z_{MPC} + Z_{ПЖЦ} + Z_{НАУ} + Z_{ОП} + C_{MG} \times \sum_{i=1}^m V_{TO}(Z_{TO})) / n \rightarrow \min. \quad (10)$$

Слід врахувати, що для забезпечення безперебійної роботи КТГ повинен бути не нижче коефіцієнта використання техніки (КВТ), а витрати на проведення технічного обслуговування не повинні перевищувати планового фінансування $Z_{TO\max}$.

Для цього необхідно ввести таке обмеження:

$$КТГ \geq КВТ; Z_{TO} \leq Z_{TO\max}. \quad (11)$$

Знаходження оптимальної функції надійність-вартість з позиції максимального приросту ефективності завдання сформулюється таким чином: необхідно визначити рівень надійності виробу, який відповідає максимальному приросту ефективності та задовольняє обмеженням:

$$КТГ \geq КВТ; C(КТГ) \leq Z_{TO\max}. \quad (12)$$

У загальному випадку залежність ефективності і вартості від рівня надійності має вигляд, представлений на рис. 1.

Оцінюють рівень технічної готовності базового варіанту (мінімальний рівень КТГ) рухомого складу, вивчають ефективність і вартість за даний період. За кожен наступний рік оцінюють витрати C на підвищення рівня технічної готовності, збільшення КТГ, будують залежність $C_{КТГ}$ шляхом апроксимації і визначають приріст ефективності $\Delta E_{КТГ}$. Максимальний рівень приросту ефективності буде відповідати оптимальному рівню КТГ для даної групи рухомого складу.

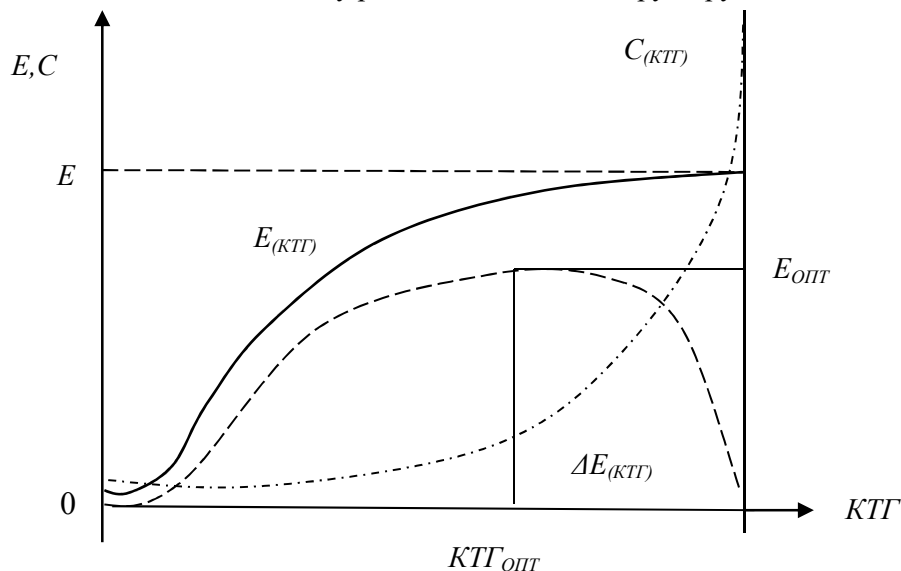


Рисунок 1 – Характер залежностей ефективності, витрат і приросту ефективності від КТГ

Figure 1 – The nature of the dependence of efficiency, cost and efficiency gains from coefficient of technical readiness (CTR)

Річні витрати на технічне обслуговування розраховуються наступним чином:

$$C = C_{МК} + C_{МРС} + C_{КЗ} + C_{АГД} + C_{МТП}, \quad (13)$$

де $C_{МК}$ – річні витрати на менеджмент керівництва;

$C_{МРС}$ – річні витрати на менеджмент ресурсів;

$C_{КЗ}$ – річні витрати на кадрове забезпечення;

$C_{АГД}$ – річні витрати на адміністративно-господарську діяльність;

$C_{МТП}$ – річні витрати на матеріально-технічне постачання.

Ефективність використання рухомого складу розраховується як прибуток від експлуатації рухомого складу:

$$E = P_{МГ} \cdot K_{МГ}, \quad (14)$$

де $P_{МГ}$ – середня вартість машино-години роботи машини, тис. грн.;

$K_{МГ}$ – кількість наданих транспортних послуг, машино-година.

Приріст ефективності повинен бути максимальним, тоді цільова функція має вигляд:

$$\square E = E(КТГ) - C(КТГ) \rightarrow \max. \quad (15)$$

Також як у формулах 11, 12, при розрахунках необхідно ввести обмеження:

$$КТГ \geq КВТ.$$

(16)

В результаті проведеного факторного аналізу виявлено вплив факторів на надійність рухомого складу для даного підприємства і виявлені несуттєві фактори. Надалі їх можна виключити з розгляду. Результати вимірювань представлені в вигляді компактної матриці коефіцієнтів кореляції (табл. 2).

Таблиця 2 – Матриця кореляцій
Table 2 – Matrix of correlations

Показник	Значення взаємних кореляцій					
	КТГ	МК	МРС	ПЖЦ	ВАП	ЗП
КТГ	1,00	0,95	0,88	-0,18	0,37	0,93
Менеджмент керівництва	0,95	1,00	0,96	-0,24	0,17	0,98
Менеджмент ресурсів	0,88	0,96	1,00	-0,38	-0,02	0,93
Кадрове забезпечення	-0,18	-0,24	-0,38	1,00	-0,22	-0,32
Адміністративно-господарська діяльність	0,37	0,17	-0,02	-0,22	1,00	0,28
Матеріально-технічне постачання	0,93	0,98	-0,32	-0,32	0,28	1,00

Для досліджуваного сервісного підприємства визначені значення значимості впливу факторів на результативну ознаку за шкалою Чеддока: дуже високий вплив на КТГ надає менеджмент керівництва і забезпечувальні процеси; високий вплив – менеджмент ресурсів; слабкий вплив – кадрове забезпечення і адміністративно-господарська діяльність.

Для оптимізації знаходимо залежність КТГ від витрат на показники якості процесів ТО і Р. Розрахунки виконувалися в програмному середовищі MATLAB. Апроксимація залежностей проводилася методикою, описаною вище.

Залежність часу простою транспорту в обслуговуванні від повних витрат на виробничі сервісні процеси наведено на рис. 2. При збільшенні повних витрат на сервісні процеси час простою в обслуговуванні має спадаючий характер.

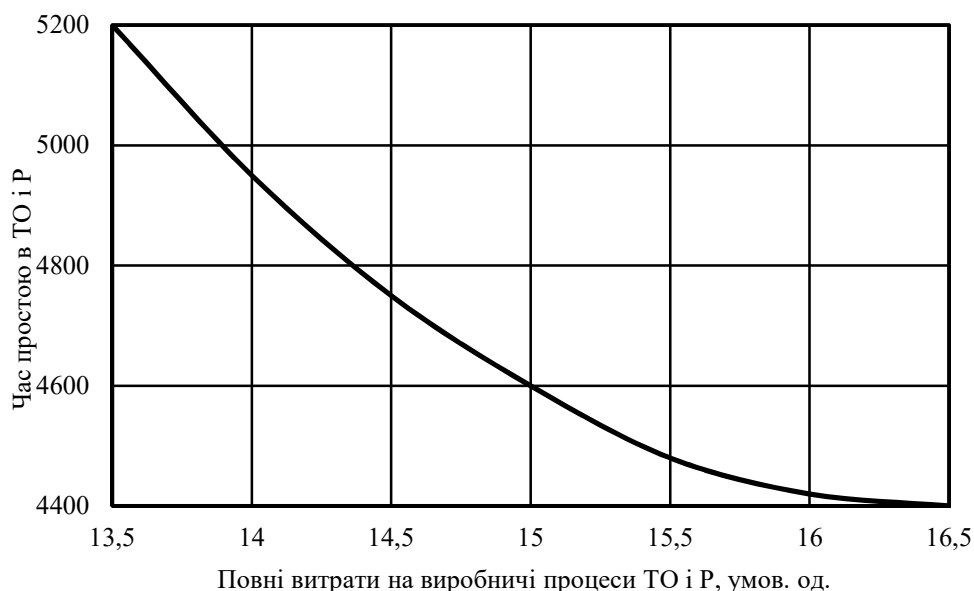


Рисунок 2 – Залежність часу простою транспорту в обслуговуванні від повних витрат на виробничі сервісні процеси

Figure 2 – The dependence of the idle time of service on maintenance from the full cost of production service processes

Залежність витрат на сервісні процеси від коефіцієнту технічної готовності (функції 10) наведено на рис. 3.

Для побудови цієї функції використовуються отримані рівняння. КТГ задається як випадкове число нормального розподілу.

При задаванні параметрів розподілу враховуються обмеження за надійністю. За використаною методикою оптимізації мінімізації витрат для даного сервісного підприємства оптимальний прогнозований рівень коефіцієнта технічної готовності знаходиться в межах 0,87 – 0,89.

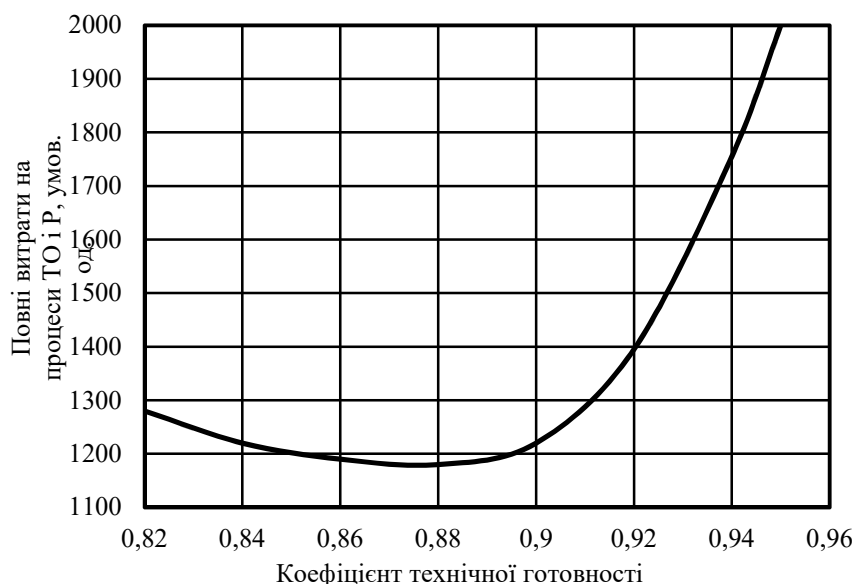


Рисунок 3 – Залежність витрат на сервісні процеси від коефіцієнту технічної готовності
Figure 3 – Dependence of expenses of service processes is on the technical readiness ratio

Для моделювання була використана статистика ПАТ за п'ять років, зокрема, коефіцієнт технічної готовності, витрати на проведення ТО і Р, середня вартість машино-години, кількість наданих послуг.

Зі значень функції повних витрат на процеси ТО і Р, отриманих під час розрахунків, обирається максимальне значення (максимальний приріст ефективності). Відповідний цьому значенню коефіцієнт технічної готовності і буде оптимальним для даного сервісного підприємства (рис. 4). Для розглянутого сервісного підприємства це значення знаходиться в межах 0,87 – 0,89.

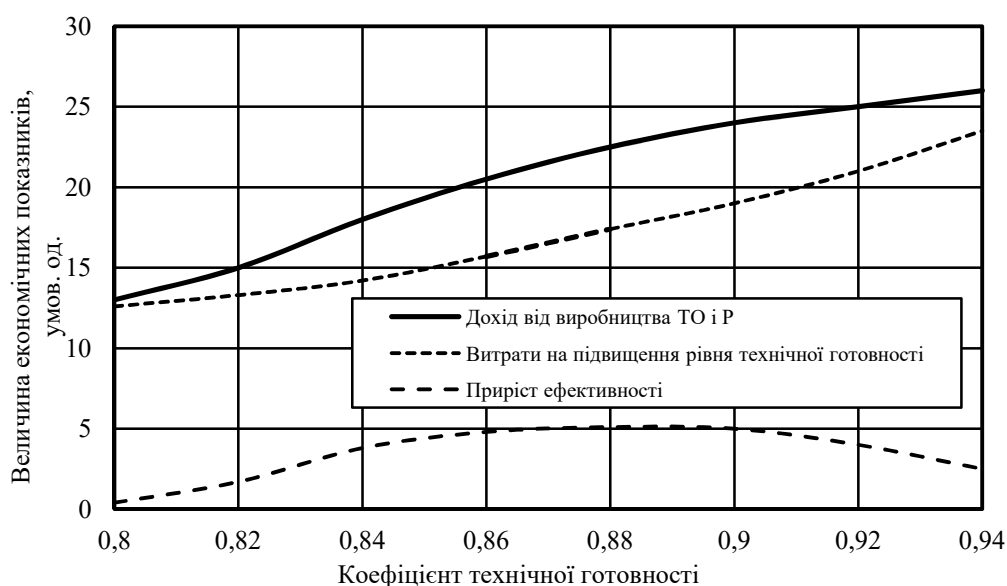


Рисунок 4 – Залежність економічних показників від коефіцієнту технічної готовності
Figure 4 – Dependence of economic indicators on the coefficient of technical readiness

Застосування двох критеріїв оптимізації (за критеріями максимальної ефективності та мінімізації витрат) дає можливість ефективно планувати розподіл ресурсів.

Достовірність розрахунків обґрунтовується шляхом порівняння результатів двох незалежних методів оптимізації. Остаточні результати представлені на рис. 4 – 10 і в табл. 3.

Таблиця 3 – Порівняльний аналіз результатів оптимізації технічної готовності рухомого складу сервісного підприємства

Table 3 – Comparative analysis of the results of optimization of technical readiness of the rolling stock of the service enterprise

Оптимальні значення коефіцієнтів КТГ, які встановлені методами		
Мінімізації витрат	Максимальної ефективності	Розбіжність результатів
0,869	0,882	1,48%

Розбіжності оптимального значення коефіцієнта технічної готовності за критеріями мінімізації витрат і максимального приросту ефективності становить менше 2%, тому можна стверджувати про достовірність моделювання результатів оптимізації.

Висновки

1. Крім встановленого значення оптимального рівня технічної готовності парку (КТГ= 0,87-0,88) були отримані залежності витрат на процеси ТО і Р, та забезпечувальні процеси від КТГ.

2. Підвищення технічної готовності рухомого складу вище оптимального рівня веде до підвищення витрат на ТО і Р і зниження ефективності (при наближенні КТГ до 1, витрати прагнуть до нескінченності).

3. Підвищення витрат на ТО і Р на 20% дає збільшення КТГ на 2,38% і скорочення часу ремонту на 2,02%.

4. Встановлено що, для рухомого складу розглядуваного ПАТ при існуючих умовах експлуатації оптимальним є КТГ = 0,87-0,88.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Subochev, Olexander; Sichko, Olexander; Pogorelov, Michael; Kovalenko, Igor; Havron, Nadiia Efficiency of managing the production capacity of service enterprises, taking into account customer motivation. *ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine*: 238-250.

2. Марков О.Д. Забезпечення контролю за технічним станом автомобілів: регламенти виробника, попит споживачів, пропозиція автосервісу / О.Д. Марков, В.В. Березняцький // Національний транспортний університет, Київ, 2018.

3. Андрусенко С.І. Оцінка ефективності інвестицій в підприємства автомобільного транспорту: навчальний посібник / С.І. Андрусенко – К.: НТУ, 2018. – 56с.

4. Березняцький В.В. Класифікація бізнес – процесів автосервісних підприємств./ В.В.Березняцький // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково – технічний збірник. – К.:НТУ, 2017. – Вип.36.

5. Сахно В.П. Форми організації моніторингу технічного стану транспортних засобів / В.П. Сахно, Д.О. Свостін-Косяк // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2017. – Вип. 37, с. 373-380.

6. Андрусенко С.І. Організація технічної експлуатації автомобілів в Україні за сучасних умов. / С.І Андрусенко, О.С. Бугайчук // Вісник НТУ: Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – Випуск 1 (34). – К.: НТУ, 2016. – С. 12-20.

7. Лудченко О.А. Управління якістю технічного обслуговування автомобілів: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / О.А. Лудченко, Я.О. Лудченко, В.В. Чередник; за ред. О.А. Лудченка. – К. : Ун-т «Україна», 2012. – 327 с.

8. Андрусенко С.І. Технології підвищення ефективності виробничо-технічної бази підприємств автомобільного транспорту: навчальний посібник./ С.І. Андрусенко, О.С. Бугайчук. – К. : Медінформ, 2017. –212 с.

REFERENCES

1. Subochev, Olexander; Sichko, Olexander; Pogorelov, Michael; Kovalenko, Igor; Havron, Nadiia Efficiency of managing the production capacity of service enterprises, taking into account customer motivation. *ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, 2019, Ternopil, Ukraine*: 238-250.
2. Markov O.D., Bereznyats'ky V.V. (2018). Zabezpechennya kontrolyu za tekhnichnim stanom avtomobiliv: reglamenti virobnika, popit spozhivachiv, propoziciya avtoservisu [Providing control over the technical condition of cars: manufacturer's regulations, consumer demand, car service offer] Nacional'nij transportnij universitet, Kiïv [in Ukrainian].
3. Andrusenko S.I. (2018). Ocinka efektyvnosti investicij v pidpriemstva avtomobil'nogo transportu [Assessment of the efficiency of investments in road transport enterprises] K.: NTU pp.56[in Ukrainian].
4. Bereznyatsky V.V. (2017). Klasifikaciya biznes – procesiv avtoservisnih pidpriemstv [Classification of business processes of autoservice enterprises] Bulletin of the National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific and technical collection. – K.: NTU Issue 36 [in Ukrainian].
5. Sakhno V.P., Svostin Kosyak D.O. (2017) Formi organizacii monitoringu tekhnichnogo stanu transportnih zasobiv [Forms of organization of monitoring of the technical condition of vehicles] The Bulletin of the National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific and technical collection. – K.: NTU, 2017. – Issue 37, 373-380 [in Ukrainian].
6. Andrusenko S.I., Bugaychuk O.S. (2016) Organizaciya tekhnichnoï ekspluatacii avtomobiliv v Ukraïni za suchasnih umov [Organization of technical exploitation of automobiles in Ukraine in modern conditions] Bulletin of the NTU: Series «Technical sciences». Scientific and technical collection. – Issue 1 (34). – K.: NTU, 12-20 [in Ukrainian].
7. Ludchenko O.A., Ludchenko Ya.O., Herdsman V.V. (2012). Upravlinnya yakistyu tekhnichnogo obslugovuvannya avtomobiliv [Quality management of car maintenance] navch. posib. dlya stud. vishch. navch. zakl K.: Un-t «Ukraïna», pp./327 [in Ukrainian].
8. Andrusenko S.I., Bugaychuk O.S. (2017). Tekhnologii pidvishchennya efektyvnosti virobnichno-tekhnichnoï bazi pidpriemstv avtomobil'nogo transportu [Technologies for increasing the efficiency of the production and technical base of road transport enterprises] K.: Medinform, pp.212 [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Січко О.Є. Оптимізація рівня технічної готовності рухомого складу на основі витрат на сервісні обслуговування/ О.Є. Січко, О.І. Субочев, М.Г. Погорєлов, С.І. Курніков, Р.А. Горбань // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки» Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

Досліджуючи досвід становлення і розвитку виробничих структур автомобільного транспорту, які забезпечують відповідні види діяльності, можна дійти висновку, що поєднання останніх не є єдино прийнятним. Значна частка виробничих структур автомобільного транспорту займається лише одним видом діяльності, передаючи інші до виконання стороннім суб'єктам господарювання. Разом з тим, ряд організацій поєднують ці види діяльності в певних поєднаннях на умовах основних або допоміжних.

Метою дослідження є підвищення ефективності роботи сервісних підприємств шляхом забезпечення технічної готовності транспортних засобів на основі розвитку системи технічного обслуговування і ремонту.

Використовуючи коефіцієнти вагомості, розраховують середньозважені комплексні показники, які характеризують, відповідно, кваліфікацію; ставлення до виконуваної роботи; дисципліну праці і технології кожної операції.

Встановлено оптимальний коефіцієнт технічної готовності для рухомого складу розглянутого сервісного підприємства при існуючих умовах експлуатації.

Підвищення технічної готовності рухомого складу вище оптимального рівня веде до підвищення витрат на технічне обслуговування та ремонт рухомого складу і зниження ефективності його експлуатації.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РУХОМИЙ СКЛАД, ТЕХНІЧНА ГОТОВНІСТЬ, ФАКТОРИ, КОМПЛЕКСНЕ ВРАХУВАННЯ.

ABSTRACT

Sichko O.E., Subochev O.I., Pogorelov M.G., Kurnikov S.I., Gorban R.A. Optimization of technical reading level on the basis of costs on service services. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

Exploring the experience of the formation and development of industrial structures of motor transport, which provide the appropriate activities, we can conclude that the combination of the latter is not the only acceptable. A significant proportion of production structures of motor transport deals with only one type of activity, transferring others to the execution of outside entities. At the same time, a number of organizations combine these activities in certain combinations on the basis of basic or auxiliary.

The purpose of the research is to increase the efficiency of service enterprises by ensuring technical readiness of vehicles on the basis of development of the maintenance and repair system.

Using weighting factors, calculate the weighted average complexity indicators, which characterize, respectively, the qualifications; attitude towards the work performed; the discipline of labor and the technology of each operation.

The optimum coefficient of technical readiness for the rolling stock of the considered service enterprise under the existing operating conditions is established.

Increasing the technical readiness of rolling stock above the optimum level leads to increased maintenance costs and repair of rolling stock and reduce the efficiency of its operation.

KEYWORDS: ROLLING STOCK, TECHNICAL READINESS, FACTORS, COMPLEX ACCOUNTING

РЕФЕРАТ

Сичко А.Е. Оптимизация уровня технической готовности подвижного состава на основе затрат на сервисные обслуживания / А.Е. Сичко, А.И. Субочев, М.Г. Погорелов, С.И. Курников, Р.А. Горбань // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

Исследуя опыт становления и развития производственных структур автомобильного транспорта, которые обеспечивают соответствующие виды деятельности, можно сделать вывод, что сочетание последних не является единственно приемлемым. Значительная часть производственных структур автомобильного транспорта занимается только одним видом деятельности, передавая другое выполнение сторонним субъектам хозяйствования. Вместе с тем, ряд организаций объединяют эти виды деятельности в определенных сочетаниях на условиях основных или вспомогательных.

Целью исследования э повышения эффективности работы сервисных предприятий путем обеспечения технической готовности транспортных средств на основе развития системы технического обслуживания и ремонта.

Используя коэффициенты весомости, рассчитывают средневзвешенные комплексные показатели, характеризующие, соответственно, квалификацию; отношение к выполняемой работе; дисциплину труда и технологии каждой операции.

Установлен оптимальный коэффициент технической готовности для подвижного состава рассматриваемого сервисного предприятия при существующих условиях эксплуатации.

Повышение технической готовности подвижного состава выше оптимального уровня ведет к повышению затрат на техническое обслуживание и ремонт подвижного состава и снижение эффективности его эксплуатации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ, ТЕХНИЧЕСКАЯ ГОТОВНОСТЬ, ФАКТОРЫ, КОМПЛЕКСНЫЙ УЧЕТ.

АВТОРИ:

Січко Олександр Євгенійович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів і автосервіс, e-mail: sae@ua.fm, тел. +380504423470, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, orcid.org/0000-0003-4027-3890.

Субочев Олександр Іванович кандидат технічних наук, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, доцент кафедри експлуатації машинно-тракторного парку, e-mail: subochev.alex@gmail.com, тел. +380501971417, Україна, 49000, м. Дніпро, вул. Сергія Єфремова, 25, orcid.org/0000-0002-6867-9991.

Погорелов Михайло Григорович, старший викладач кафедри загально-технічних дисциплін, безпеки життєдіяльності та автосправи e-mail: texfak@gmail.com, тел. +380506073441, Донбаський державний педагогічний університет, Донецька обл., 84000, м. Слов'янськ, вул. Батюка 19, orcid.org/0000-0000-0000-0000.

Курніков Сергій Іванович, пошукувач Національний транспортний університет, кафедри технічної експлуатації автомобілів і автосервіс, e-mail: kurnikov11@gmail.com, тел. +380672367160, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, orcid.org/0000-0002-5024-3785

Горбань Руслан Анатолійович, студент інженерно-технологічного факультету, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, e-mail: subochev.alex@gmail.com, тел. +380501971417, Україна, 49000, м. Дніпро, вул. Сергія Єфремова, 25, orcid.org/0000-0002-6867-9991.

AUTHORS:

Sichko Alexander Evgenievich, Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Associate professor of technical maintenance of automobiles and service, e-mail: sae@ua.fm, tel. +380504423470, Ukraine, 01010, Kyiv, Omeljanovicha-Pavlenka str. 1, orcid.org/0000-0003-4027-3890.

Subochev Alexander Ivanovich, Candidate of Technical Sciences, Dnipro State Agrarian and Economic University, Associate Professor of the Department of operation of the machine-tractor park, e-mail: subochev.alex@gmail.com, tel. +380501971417, Ukraine, 49000, Dnipro, Sergey Efremov str. 25, orcid.org/0000-0002-6867-9991.

Pogorelov Mikhail Grigorievich, Senior Lecturer of the Department of General Technical Disciplines, Safety of Life and Autodel, e-mail: texfak@gmail.com, tel. +38050607344, Donbass State Pedagogical University, Ukraine, Donetsk region, 84000, Slavyansk, Batyuk str, 19, orcid.org/0000-0000-0000-0000.

Kurnikov Sergey Ivanovich, search engine National Transport University, departments of technical operation of cars and car service, e-mail: kurnikov11@gmail.com, tel. +380672367160, Ukraine, 01010, Kyiv, str. Omeljanovich-Pavlenka 1, orcid.org/0000-0002-5024-3785

Gorban Ruslan Anatolyevich, student of the engineering faculty, Dnipro State Agrarian and Economic University, e-mail: subochev.alex@gmail.com, tel. +380501971417, Ukraine, 49000, Dnipro, Sergey Efremov str. 25, orcid.org/0000-0002-6867-9991.

АВТОРЫ:

Сичко Александр Евгеньевич, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, доцент кафедры технической эксплуатации автомобилей и сервиса, e-mail: sae@ua.fm, тел. +380504423470, Украина, 01010г. Киев, ул. Омеляновича-Павленко, 1, orcid.org/0000-0003-4027-3890.

Субочев Александр Иванович, кандидат технических наук, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, доцент кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка, e-mail: subochev.alex@gmail.com, тел. +380501971417, Украина, 49000, г. Днепр, ул. Сергея Ефремова, 25, orcid.org/0000-0002-6867-9991.

Погорелов Михаил Григорьевич, старший преподаватель кафедры обще-технических дисциплин, безопасности жизнедеятельности и автодела, e-mail: texfak@gmail.com, тел. +380506073441, Донбасский государственный педагогический университет, Украина, Донецкая обл., 84000, м. Славянск, ул. Батюка, 19, texfak@gmail.com, orcid.org/0000-0000-0000-0000

Курников Сергей Иванович, соискатель Национальный транспортный университет, кафедры технической эксплуатации автомобилей и автосервис, e-mail: kurnikov11@gmail.com, тел. +380672367160, Украина, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, orcid.org/0000-0002-5024-3785

Горбань Руслан Анатолиевич, студент инженерно-технологического факультета, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, e-mail: subochev.alex@gmail.com, тел. +380501971417, Украина, 49000, г. Днепр, ул. Сергея Ефремова, 25, orcid.org/0000-0002-6867-9991.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Ковальов М.Ф., кандидат технічних наук, професор кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства Національного транспортного університету, Київ, Україна.

Бортницький П.І., кандидат технічних наук, професор кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу Національного транспортного університету, Київ, Україна.

REVIEWER: Kovalev M. F., Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Production, Repair and Material Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Bortnitsky PI, Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Technical Operation of Automobiles and Car Services of National Transport University, Kyiv, Ukraine.

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЦЕМЕНТОБЕТОНУ ДЛЯ ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Стьожка В.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, styozhka@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5039-9852

Борковський П.П., Національний транспортний університет, Київ, Україна, utgs@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4029-7832

IMPROVING THE DURABILITY OF CEMENT CONCRETE TO COVER ROADS

Stozhka V.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, styozhka@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5039-9852

Borkowski P.P., National Transport University, Kyiv, Ukraine, utgs@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4029-7832

УЛУЧШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА ДЛЯ ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Стежка В.В., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, styozhka@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5039-9852

Борковский П.П., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, utgs@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4029-7832

Вступ. Враховуючи постійний ріст навантажень і швидкості, загальної вантажопідйомності автомобілів і їх кількості виникає потреба у будівництві нових доріг і зберіганні існуючих доріг. Осьові навантаження (11,5 – 13,0 т) стають фактично стандартами, тоді як раніш побудовані дороги були спроектовані у розрахунку на 6 – 10 т. Пропуск машин з більш високою вантажопідйомністю призводить до підвищеного зносу і руйнування доріг. Вирішувати ці проблеми можливо за рахунок будівництва доріг з цементобетонним покриттям, які мають переваги:

- високу міцність цементобетону (в 5-7 разів) і загальну жорсткість покриття у порівнянні з асфальтобетоном;
- значну довговічність цементобетону (строки роботи до капремонту – 40 – 50 років);
- нарощування міцності цементобетону у часі за рахунок поглиблення гідратації цементу;
- високу корозійну стійкість, морозостійкість і водонепроникність при застосуванні сучасних хімічних добавок;
- стабільність деформативних властивостей при дії температури навколишнього середовища;
- здатність суттєво полегшити роботу ґрунтового шару дорожнього одягу при проїзді важкого транспорту;
- необхідність досить доступного обладнання для швидкісного будівництва бетонного покриття з високими показниками рівності;
- досить стабільний показник коефіцієнта зчеплення цементобетонного покриття з колесами автомобіля і слабкою залежністю його від ступеня зволоження;
- більш низькі витрати на експлуатацію (покриття майже не потребує утримання, крім догляду за швами);
- здатність бетонної плити розподіляти навантаження від транспортних засобів на велику площу дозволяє використовувати її при будівництві на слабких ґрунтах, на дорогах, матеріал основи яких має незначний модуль деформації, на високих насапах;
- підвищена безпека руху за рахунок кращих кольорових показників видимості поверхні під час поганих умов проїзду (число ДТП на 32% менше у порівнянні з асфальтобетоном);
- нові технологічні рішення забезпечують зменшенні ціни цементобетонного покриття, що довгий час було аргументом на користь асфальтобетону.

До основних дефектів цементобетонного покриття відносять: лущення; необхідність герметизації швів; руйнування кромок; зміщення по висоті плит, що знаходяться поряд. Але ці дефекти не вказують на недоліки цементобетону, як будівельного матеріалу для дорожнього

покриття. Головними причинами появи дефектів є відставання в області матеріалів, технологій, методів проектування, культури виробництва. Досвід Франції, Німеччини, Бельгії, Великобританії, Австрії та інших держав показав, що якщо вартість бетонних покриттів трохи вище або дорівнює асфальтобетонним, то з точки зору довговічності та експлуатації більш економічними є цементобетонні покриття доріг.

Постановка проблеми. Особливий вплив на властивості цементобетонного покриття має застосування спеціальних цементів. В Україні майже відсутні необхідні види і марки дорожнього цементу, тому дослідження і застосування існуючих в'язучих з ефективними добавками є актуальною проблемою, рішення якої дозволить розширити номенклатуру цементних в'язучих для дорожнього будівництва, підвищити довговічність і стійкість цементобетонного покриття доріг, мостів і аеродромів, а також вирішувати питання безпеки руху. Для цього можливо використовувати хімічні добавки, що колюматують пори, надають поверхні бетону гідрофобізуючі властивості, втягують в бетонну суміш повітря. Базуючись на сучасних уявленнях фізико-хімії поверхневих процесів, можна зробити висновок, що введення в бетонну суміш малої кількості кремнійорганічних речовин разом з водою зачинення, дасть можливість значно покращити довговічність і стійкість проти одночасно діючих на бетон агресивних факторів і зовнішнього навантаження. На морозостійкість, корозійну стійкість і довговічність цементобетону дорожнього покриття великий вплив має характер загальної пористості бетону, розмір окремих пор, їхня форма і взаємний зв'язок між ними. Ці фактори змінюються в процесі твердіння цементобетону та його експлуатації. Впливати на ці характеристики можна хімічним і фізичним методами.

Добавки, що модифікують цементний бетон покриття доріг, повинні задовольняти певним вимогам:

- хімічні добавки, що підвищують водостійкість, морозостійкість і корозійну стійкість, повинні бути досить ефективними для того, щоб при малих дозах вони знижували капілярне підсмоктування, водопоглинання і підвищували водонепроникність бетонів дорожніх покриттів;
- дія добавок повинна бути довготривалою;
- добавки, віддозовані в оптимальній кількості і концентрації, не повинні негативно впливати на інші властивості цементобетонного покриття доріг;
- добавки повинні бути нетоксичними, доступними та економічно доцільними, а їх використання в дорожньому будівництві має бути простим, технологічним і обґрунтованим [1,2].

Добавки, що підвищують водостійкість, морозостійкість і корозійну стійкість цементобетонних покриттів можна розділити таким чином: тонкомолоті, з гідралічними властивостями або властивостями колоїдних речовин; добавки, що підвищують гідрофобність бетонів дорожніх покриттів; полімерні і добавки, що полімеризуються в бетоні; солі неорганічних кислот, що прискорюють процеси гідратації і структуроутворення цементного каменю дорожніх бетонів [3,4]. Для підвищення стійкості і витривалості цементобетону покриття доріг за кордоном, в країнах СНД і Україні широко використовують модифіковані поверхнево-активні домішки (СНВ, ССБ, СДБ, КБМ та інші.). Деякі з них є досить ефективними при втягуванні в бетонну суміш додаткової кількості повітря (3-5%). Однак кожен відсоток втягнутого в бетон повітря знижує міцність бетону при стиску на 4...6%, на розтягання при вигині – на 2...4%, що призводить до зниження несучої здатності покриття доріг.

Виникла потреба в таких добавках для бетонного покриття доріг, що не знижують його фізико-механічних властивостей, підвищують стійкість проти агресивного впливу розчинів хлористих солей, а також морозу, висихання і зволоження. Дослідження, виконані в останні роки показують, що добавки кремнійорганічних сполук (КОС) дуже ефективні, дозволяють істотно підвищити водостійкість і водонепроникність, морозо- і корозійну стійкість бетону при багаторазовому заморожуванні і відтаванні в агресивних розчинах без зниження фізико-механічних властивостей. Найширше застосування в дорожньому будівництві знайшли добавки КОС поліетилгідросилоксанового типу (ГКЖ-94); метилсиліконат натрію (ГКЖ-10); етилсиліконат натрію (ГКЖ-11). На практиці застосовувана кількість КОС у вигляді добавок коливається в дуже широких межах: від 0,01 – 1% до 1 – 5%, що вимагає уточнення їх оптимальної витрати. До загальних недоліків КОС відносять їхні порівняно високу вартість, дефіцитність для будівельної індустрії України. У той же час аналіз стану виробництва КОС показав, що при їх одержанні утворюються побічні продукти, що не знаходять практичного застосування в дорожньому будівництві. Являє науковий і практичний інтерес проведення дослідницьких робіт, спрямованих на виявлення і використання суміші кремнійорганічних речовин. Орієнтовні розрахунки показують, що їх вартість може буде дешевше, ніж чистих кремнійорганічних сполук. Їхнє застосування в дорожньому

будівництві дозволить розширити асортимент КОС; сприяти одержанню ефективних, довговічних модифікованих цементобетонних покриттів доріг; вирішувати актуальні проблеми поліпшення екологічного стану в регіонах промислового виробництва КОС в Україні (Дніпропетровська і Запорізька області).

Мета роботи. Мета роботи полягає у покращенні довговічності цементобетону для покриття автомобільних доріг за рахунок використання гідрофобних добавок.

Об'єктом дослідження є цементний бетон для покриття автомобільних доріг (класу за міцністю при стиску В35 (М 450); при згині – В_ч 4,4; морозостійкість бетону F 200.

Основна частина.

З метою покращення фізико-механічних показників цементобетонного покриття доріг (підвищення міцності, морозостійкості, зниження водопроникності) в даній роботі досліджувався вплив гідрофобізуючих добавок на властивості бетону. У дослідженнях використовували три види (КОС): поліетилгідросилоксан ГКЖ-94 (газоутворююча) /ДСТ 10834/; етилсиліконат натрію ГКЖ-10 (повітрявтягуюча) /МРТУ 6-02-271/; поліметилгідридсилоксан 136-157М (газоутворюючий та повітрявтягуючий полімер) /ТУ 6-02-6/. Перші дві КОС широко відомі, як добавки в бетон, тоді як третя – 136-157М лише недавно була використана для модифікації в'язучих. До цього ця кремнійорганічна сполука застосовувалася лише для поверхневої обробки керамічних, ситалових, шлакоситалових і цементобетонних матеріалів. Вона відзначається тим, що її проникність в щільні матеріали вище (до 5 мм у бетон), гідрофобність зберігається довше, ефект від її застосування більший за рахунок газоутворення і повітрявтягування в бетонну суміш при перемішуванні.

В якості в'язучого для проведення досліджень використовувався цемент ПЦ-1-500 Н Здолбунівського цементного заводу. В якості крупного заповнювача використовувався гранітний щебінь Малинського КДЗ, крупністю від 10 до 20 мм. В якості дрібного заповнювача використовувався пісок річковий, дніпровський. Ефективність дії добавки визначалась на зразках (4x4x16 см) дрібнозернистого бетону складу 1:3. Результати досліджень ефективності дії добавок приведені в табл. 1

Таблиця 1 – Результати досліджень ефективності дії гідрофобних добавок

Table 1 – The results of research on the effectiveness of hydrophobic additives

Вид добавки	Кількість добавки, % від ваги цементу	Міцність при стиску $R_{ст}$, МПа				Водонепроникність,		
		через діб			KE_{ϕ} ΔR^*	МПа через діб		
		1	3	28		28	90	KE_{ϕ}
								ΔW^*
Без добавки	-	5,0	11,0	20,3	-	0,4	0,8	-
ГКЖ-10	0,1	4,7	11,1	20,8	2,46	1,0	1,4	150
	0,15	4,8	11,2	20,9	2,96	1,0	1,4	150
	0,20	4,8	11,1	20,9	2,96	1,0	1,4	150
ГКЖ-94	0,1	4,6	11,3	21,0	3,45	1,0	1,4	150
	0,15	4,9	11,3	21,0	3,45	1,0	1,4	150
	0,20	4,9	11,3	21,1	3,94	1,0	1,4	150
136-157М	0,1	5,1	12,1	23,6	16,27	1,1	1,5	175
	0,15	5,2	12,3	23,6	16,27	1,1	1,5	175
	0,20	5,2	12,2	23,7	16,76	1,1	1,5	175

З даних, наведених в табл. 1 видно, що кількість гідрофобізатора в межах 0,1 – 0,2% майже не змінює міцність при стиску і водонепроникність. Тому рекомендується при майже однаковому результаті вибирати мінімальну кількість добавки. В подальших дослідках прийнята кількість добавки – 0,1% від ваги цементу з врахуванням 100% гідрофобної добавки.

Дослідження проводились на цементобетоні складу: цемент – 500 кг/м³; пісок – 650 кг/м³; щебін – 1100 кг/м³; водоцементне співвідношення (В/Ц) – 0,43. Визначали можливість зменшення В/Ц при заданій легкоукладальності; міцність при стиску (R_{ct}); міцність на розтяг при згині (R_{zt}); міцність на осьовий розтяг (R_{op}); морозостійкість (200 ц); водонепроникність, МПа; стираність, г/см²; міцність при ударі, Дж/см³. Дані про вплив гідрофобізуючих добавок на зменшення В/Ц при заданій легкоукладальності наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Вплив гідрофобної добавки на легкоукладальність бетонної суміші

Table 2 – The impact of hydrophobic additives on the light concrete mixture

Наявність добавки	Склад бетону, кг/м ³				Осадка конусу, см
	Ц	П	Щ	В/Ц	
-	500	650	1100	0,43	5-7
136-157М (0,1)	500	650	1100	0,41	5-7
-	550	600	900	0,47	15-18
136-157М (0,1)	550	600	900	0,43	15-18

З табл. 2 видно, що застосування гідрофобізуючої добавки 136-157М дозволяє зменшити В/Ц на 5% при заданій легкоукладальності для малорухливих сумішей. При використанні більш пластичних сумішей (ОК =15-18) процент зменшення В/Ц досягає 9%. Це дає можливість прогнозувати підвищену морозостійкість та водонепроникливість. Результати досліджень впливу добавки 136-157М на міцність при стиску та розтяг при згині наведені в рис. 1а видно, що міцність при стиску (R_{ct}) та осьовому розтягу (R_{op}) (рис.1б) підвищується після 28 діб на 11%...15%.

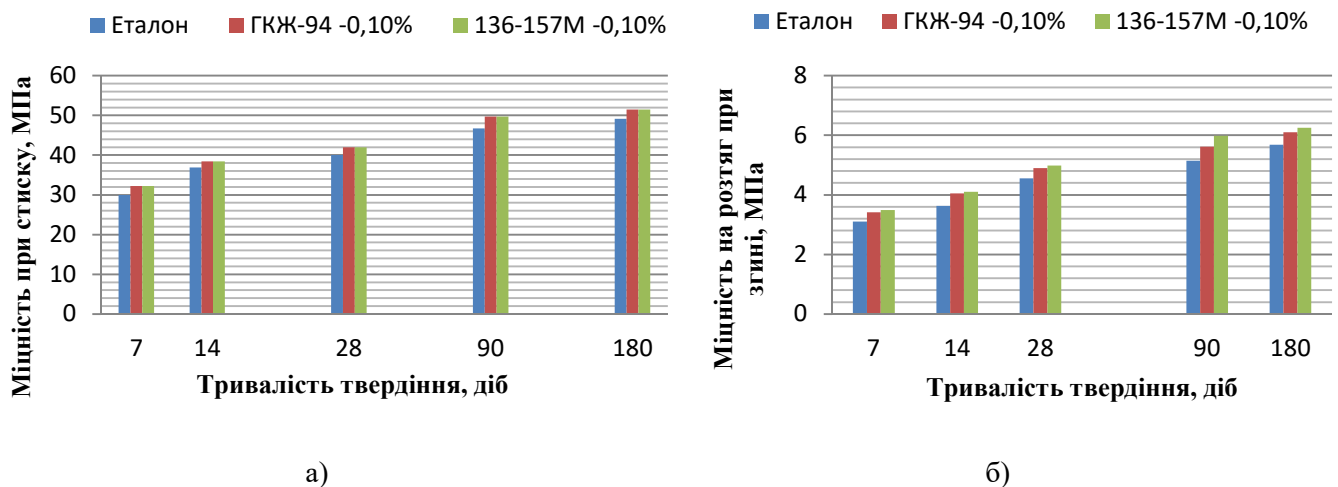


Рисунок 1 – Вплив гідрофобних добавок на міцність при стиску (а) та міцність на розтяг при згині (б) цементобетону
Figure 1 – The influence of hydrophobic additives on the compressive strength (a) and tensile strength during bending (b) of cement concrete

Дані дослідження морозостійкості, водонепроникливості, стираності та міцності на удар наведені в табл. 3. Морозостійкість досліджувалась при заморожуванні при $t = (-20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ і відтаюванні у 5%-му розчині NaCl. Водонепроникність визначалась за стандартною методикою до появи “микрої плями” на зразках. Стираність визначалося в г/см² після 840 та 1120 обертів на кругу ЛКІ-3, міцність на удар – на копрі Пейджа. За даними, наведеними в табл. 4, видно, що добавки КОС підвищують морозостійкість (на 30...45%), водонепроникність (в 2,5...3,0 рази), міцність на удар (на 26...30%) та зменшують стираність (на 50...58%), що зумовлюється впливом домішок на процеси структуроутворення бетону.

Таблиця 3 – Вплив хімічних добавок на фізичні властивості цементобетону покриття доріг

Table 3 – Influence of chemical additives on the physical properties of cement-concrete coating of roads

Наявність домішок КОС	Морозостійкість (200 циклів)			Водонепроник- ність, МПа після діб		Міцність при ударі, Дж/смз	Стираність, г/см2, після обертів
	R _{сг} , МПа	Середовище відтаювання					
		H ₂ O	5%NaCl				
		R _{сг} /K _м , МПа	R _{сг} /K _м , МПа	28	90		840 / 1120
Без добавок	57,5	50,5/0,89	42,0/0,33	0,4	0,8	2,50	0,26 / 0,32
ГКЖ-94	61,2	64,3/1,00	55,1/0,90	1,0	1,4	2,95	0,16 / 0,19
136-157М	61,8	66,4/1,00	60,8/0,98	1,2	1,4	3,15	0,11 / 0,17

Таким чином, встановлено, що добавки КОС дозволяють одержати цементобетонні покриття доріг з підвищеними фізико-механічними властивостями і значною довговічністю. Наведені дані дозволяють прогнозувати підвищену тріщиностійкість цементобетонного покриття.

Тріщиностійкість безпосередньо визначалася за допомогою відомого методу “кільце Лерміта”. Суть методу полягає в тому, що цементний камінь у середині кільця обтискує сталевий стержень, який не деформується, а тому в зразку виникають тріщини. Цей метод дозволяє оцінити вплив добавок на такі властивості: усадка, повзучість, розтяжність, модуль пружності і міцність цементного каменю. Поряд з цим методом тріщиностійкість оцінювалася на зразках-призмах 4x4x16 см, виготовлених з цементного розчину з металевим стержнем.

Досліджувався вплив гідрофобізуючих добавок на цементний камінь нормальної густини та розчин (1:3 з В/Ц = 0,4). Час, коли з'явилися перші тріщини, визначався візуально. На зразках цементного каменю без добавок вже через 2,5 год. з'явилася перша прямолінійна тріщина з розкриттям 0,5 – 0,8 мм. У зразках з гідрофобізуючими добавками тріщини з'явилися після 13 – 16 год., при цьому вони розгалужувалися, перетворюючись на систему дрібних тріщин із розкриттям 0,1 – 0,3 мм. У цементному розчині без добавок поява тріщини зафіксована після 28 год. і через 120 год. у зразках з гідрофобізуючими добавками. Зменшення тріщиноутворення досягається за рахунок зниження деформації усадки; зменшення концентрації внутрішніх напружень, що гальмує зростання тріщин, їхню кількість і ступінь розкриття.

Гідрофобізуючі добавки дозволяють частково перерозподілити концентрацію напружень не лише в процесі структуроутворення бетону, але і під час його навантаження, що добре підтверджується даними міцності цементного бетону на стиск і розтяг осьовий та при згині, що дозволяє прогнозувати підвищене зчеплення розчину з заповнювачем, арматурою та старим бетоном.

У зв'язку з тим, що цементобетонне покриття доріг твердіє в природних умовах, були проведені дослідження механічних властивостей цементного розчину, який тверднув в умовах відносної вологості 65...70 % та $t = 20^{\circ}\text{C}$. Фіксувалася усадка призми, час утворення тріщин кільцевим методом, випробувалися зразки-вісімки на осьовий розтяг. З результатів досліджень видно, що без добавок тріщиноутворення почалося через 5 годин, з добавкою 0,1% ГКЖ-94 – через 30 год., з добавкою 0,1% 136-157М – через 82 год.

Дані по випробуванню деформативності бетону при осьовому розтягу показують, що підвищення однорідності бетону та зниження дефектності кристалоутворень і контактів їх зрощування за рахунок застосування гідрофобних добавок веде до значного підвищення деформативності при осьовому розтягу на 20 % при незначному підвищенні міцності на стиск. Завдяки зміні характеру структури і розподілу пор вдалося підвищити щільність і однорідність, розтяжність та міцність на осьовий розтяг, зменшити усадку, що зумовлює підвищення тріщиностійкості та довговічності цементобетону покриття доріг модифікованих кремнійорганічними добавками.

Межі внутрішнього мікротріщиноутворення в бетоні без добавок і з гідрофобізуючими добавками в процесі навантаження зразків визначалися за методикою О.Я. Берга (показники меж мікроруйнувань і меж мікротріщиноутворень). Одним із шляхів визначення цих показників є метод ультразвукових вимірів. Розвиток мікроруйнувань у структурі бетону приводить до зниження швидкості ультразвукових коливань, які розширюються поперек лінії дії стискаючого напруження.

Таким чином, навантаження R_{0t} відповідає початку зменшення швидкості ультразвуку, і візуально фіксуються появою мікротріщин на поверхні зразка. Областю умовної пружної роботи бетону є час від початку навантаження до напружень, при яких утворюються перші мікротріщини по поверхні зчеплення цементного каменю з заповнювачем. При цьому межа пружної роботи відповідає найбільшому скороченню часу проходження ультразвуку. При подальшому підвищенні навантаження мікротріщини утворюються в цементному камені з появою пластичних деформацій. Верхня межа області розвитку пластичних деформацій відповідає підвищенню коефіцієнта поперечної деформації, тобто максимального значення теоретично можливого для суцільного тіла. Крива приросту швидкості проходження ультразвукового імпульсу проходить через екстремум і наближується до початкового значення, характерного для ненавантаженого бетону і прийнятого за умовний нуль. Підвищення верхньої межі тріщиноутворення (R_{vt}) дозволяє прогнозувати більш високу витривалість і довговічність цементного бетону дорожнього покриття під дією багаторазового прикладання навантажень [5,6]. Таким чином, проведеними дослідженнями встановлена висока ефективність застосування КОС у технології дорожнього цементобетона, зростання фізико-механічних властивостей, довговічності і тріщиностійкості цементобетонного покриття доріг. В зв'язку з тим, що бетонна суміш для влаштування цементобетонного покриття транспортується деякий час, необхідно перевіряти, як впливає витримка бетонної суміші на кінетику набору міцності при стиску [7,8]. Для цього з тільки що приготовленої бетонної суміші з гідрофобною добавкою і без неї виготовляють зразки, які досліджували через 3, 5, 8, 12 годин та 1, 3, 7 і 28 діб. Частина бетонної суміші витримувалась 20 і 40 хвилин, після чого з неї також готувалися зразки. Результати цих досліджень наведені в табл. 4.

Згідно даних наведених в табл. 5 видно, що цементобетон з добавкою КОС має міцність вищу у порівнянні з еталоном під час досліджень кінетики набору міцності, тобто таку суміш можна транспортувати до місця укладання без зменшення міцності.

Таблиця 4 – Вплив часу витримання бетонної суміші з гідрофобними добавками та міцність при стиску

Table 4 – The influence of time withstand concrete mix with hydrophobic additives and durability in compression

Час витримання суміші в хв.	Наявність добавки	Міцність при стиску, МПа							
		годин				діб			
		3	5	8	12	1	3	7	28
-	еталон	0,2	0,5	1,7	3,9	9,7	19,3	29,1	34,1
	136-157M	0,2	0,4	1,6	3,8	9,8	20,4	30,3	36,0
20	еталон	0,3	0,6	1,7	4,2	9,9	22,4	31,0	34,8
	136-157M	0,3	0,6	1,9	4,8	10,5	23,8	33,7	38,9
40	еталон	0,4	0,7	1,9	4,8	11,2	24,4	34,9	35,0
	136-157M	0,4	0,8	2,2	5,4	12,6	26,9	37,8	41,1

Висновок. Таким чином, в результаті проведення досліджень встановлено:

- гідрофобізуюча добавка 136 – 157M позитивно сприяє проходженню фізико-хімічних процесів гідратації цементу у порівнянні з еталоном і добавкою ГКЖ-94;
- оптимальна кількість добавки знаходиться в межах 0,1- 0,15% від ваги цементу;
- застосування гідрофобізуючої добавки 136 – 157M дозволяє за рахунок повітрявтягування і газоутворення зменшити В/Ц при заданій легкоукладальності;
- гідрофобізуюча добавка 136 – 157M дозволяє підвищити механічні властивості бетону (через 28 діб міцність при стиску на 5%; міцність на розтяг при згині на 9%; міцність на осьовий розтяг, на 11,7%);
- водонепроникність бетону з гідрофобізуючою добавкою через 28 діб підвищилася майже в 2 рази, а морозостійкість на 40 %;
- водопоглинання зменшилось на 70 %; тріщиноутворення зменшилось в 5 разів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. – Москва: Стройиздат. – 1990. – 400 с.
2. Дорошенко Ю.М., Дорошенко О.Ю. Кремнийорганические добавки – эффективные модификаторы цементного бетона покрытия дорог // Бетон и железобетон. – 2013. – №1 (18). – С.56 – 60.
3. Чистяков В.В., Шургая А.Г., Дорошенко Ю.М., Чиженко Н.П., Сербін В.П., Дулевич Я.О. Вплив комплексної добавки на особливості твердіння і властивості цементобетону для покриття доріг. // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2011. – №39 – с.115 – 122.
4. Дорошенко Ю.М., Дорошенко О. Ю., Борковський П.П., Чиженко Н.П., Куцоконь О., Наконешна Я. Технологічні методи регулювання властивостей бетону // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2014. – №51. – С.50 – 54.
5. Хигерович М.И., Байер В.В. Гидрофобно-пластифицирующие добавки для цементов, растворов и бетонов. – Москва: Стройиздат. – 1979. – 126 с.
6. Карибаев К.К. Поверхностно-активные вещества в производстве вяжущих материалов. – Алма-Ата: Наука. – 1980. – 336 с.
7. Пашченко А.А., Свидерский В.А. Кремнийорганические покрытия для защиты от биокоррозии. – Киев: Техника. – 1988. – 136 с.
8. Защепин А.Н., Янбух Н.Н. Рекомендации по применению кремнийорганических добавок при строительстве цементобетонных покрытий дорог и аэродромов. – Союздорнии. Балашиха – 6. – Московская обл. – 1970. – 20 с.

REFERENCES

1. Batrakov V.G. Modified concretes. – Moscow: Construction. – 1990. 400 s.
2. Higerovich M.I., Bayer V.V. Hydrophob-plasticizing additives for cements, solutions and concrete. – Moscow: Construction. – 1979. – 126 s.
3. Chistyakov v., Shurgaya A. G., Doroshenko Yu. M., Chyzenko N. P., Sertin v. P., Dulevych i. O. Influence of a complex additive on peculiarities of hardening and properties of cement concrete to cover the roads. Construction materials, products and sanitary engineering. – 2011. -No39 – P. 115 – 122.
4. Doroshenko Yu. M., Doroshenko O. Yu., Borkovsky P. P., Chyzenko N. P., Kutsokon O., Nakuszna I. Technological methods of regulating the properties of concrete//building materials, products and sanitary equipment. – 2014. -No51. – P. 50 – 54.
5. Higerovich M.I., Bayer V.V. Hydrophobe-plasticizing additives for cements, solutions and concrete. – Moscow: Construction. – 1979. – 126 s.
6. K.K. Surface-active substances in the production of astringent materials. – Alma-Ata: Science. – 1980. – 336 s.
7. Pashchenko A.A., Svidersky V.A. Silicon Organic Coatings to protect against biocorrosion. – Kiev: Techniques. – 1988. – 136 s.
8. A.N., Yanbykh N.N. Recommendations for the use of silicon-organic additives in the construction of cementconcrete coatings of roads and airfields. – Soyuzdornia. Moscow Region. – 1970. 20 s.

РЕФЕРАТ

Стьожка В.В. Підвищення довговічності цементобетону для покриття автомобільних доріг / В.В Стьожка, П.П. Борковський // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

Стаття присвячена проблемі покращення довговічності цементобетону для покриття автомобільних доріг за рахунок використання гідрофобних добавок.

Мета роботи – покращення довговічності цементобетону для покриття автомобільних доріг за рахунок використання гідрофобних добавок.

Об'єкт дослідження – цементобетон для покриття автомобільних доріг.

Метод дослідження: статистичний аналіз наукових видань, технічної та нормативної літератури.

В Україні майже відсутні необхідні види і марки дорожнього цементу, тому дослідження і застосування існуючих в'язучих з ефективними добавками є актуальною проблемою, рішення якої дозволить розширити номенклатуру цементних в'язучих для дорожнього будівництва, підвищити довговічність і стійкість цементобетонного покриття доріг, мостів і аеродромів, а також вирішувати питання безпеки руху. Для цього можливо використовувати хімічні добавки, що колюматують пори, надають поверхні цементобетону гідрофобізуючі властивості, втягують в бетонну суміш повітря.

Базуючись на сучасних уявленнях фізико-хімії поверхневих процесів, можна зробити висновок, що введення в бетонну суміш малої кількості кремнійорганічних речовин разом з водою зачинення, дасть можливість значно покращити довговічність і стійкість проти одночасно діючих на цементобетон агресивних факторів і зовнішнього навантаження.

Досліджено вплив добавок гідрофобізаторів на фізичні, механічні властивості цементобетону для покриття автомобільних доріг. На основі експериментальних результатів встановлено, що застосування 0,1 – 0,15% гідрофобної добавки 136-157М підвищує довговічність цементобетону для покриття автомобільних доріг.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЦЕМЕНТОБЕТОННЕ ПОКРИТТЯ, ГІДРОФОБНІ ДОБАВКИ, МОРОЗОСТІЙКІСТЬ, ВОДОНЕПРОНИКНІСТЬ, МІЦНІСТЬ, ДОВГОВІЧНІСТЬ.

ABSTRACT

Stozhka V.V., Borkovsky P.P. Improving the durability of cement concrete to cover roads. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article is devoted to the problem of improving the durability of cement concrete to cover the road through the use of additives.

The purpose of the work-improving the durability of cement concrete to cover roads through the use of hydrophobic additives.

Object of study-cement-concrete to cover roads.

Method of research: statistical analysis of scientific publications, technical and normative literature.

In Ukraine, there are almost no necessary types and brands of road cement, so the research and application of existing binders with effective additives is an urgent problem, the solution of which will expand the nomenclature of cement binders for road Construction, improve the durability and resistance of cement concrete covering roads, bridges and airfields, as well as to solve security issues. For this, it is possible to use chemical additives that kolatating pores, give the surface of concrete water-repellent properties, involve in the concrete mixture of air. Based on the modern representations of the physical-chemistry of superficial processes, it can be concluded that the introduction to the concrete mix of small-scale kremnijorganičnih substances together with the water of the closing, will allow to significantly improve the durability and strength against At the same time for the concrete of aggressive factors and load.

The influence of hydrophobic additives on physical, mechanical properties of cement concrete to cover roads is investigated. Based on the experimental results, it is determined that the application of 0.1-0.15% hydrophobic additives 136-157 M has a significant increase in the durability of cement concrete for the seal of roads.

KEYWORDS: CEMENT CONCRETE PAVEMENT, HYDROPHOBIC ADDITIVES, FROST RESISTANCE, WATER RESISTANCE, STRENGTH, DURABILITY.

РЕФЕРАТ

Стежка В.В. Улучшение долговечности цементного бетона для покрытия дорог / В.В. Стежка, П.П. Борковский // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

Статья посвящена проблеме повышения долговечности цементного бетона для покрытия дорог с использованием гидрофобных добавок.

Цель работы – повышения долговечности цементного бетона для покрытия дорог с использованием гидрофобных добавок.

Объект исследования -цементбетон для покрытия дорог.

Метод исследования: статистический анализ научных публикаций, технической и нормативной литературы.

В Украине практически нет необходимых видов и марок дорожного цемента, поэтому исследование и применение существующих связующих с эффективными добавками является актуальной проблемой, решение которой расширит номенклатуру цементных связующих для дорог, повышение долговечности и устойчивости цементного бетона для покрытий автомобильных дороги, мостов и аэродромов, а также решение вопросов безопасности. Для этого можно использовать химические добавки, которые колматируют поры, придают поверхности бетонные водоотталкивающие свойства, вовлекая в бетонную смесь воздух. Основываясь на современных представлениях физико – химии поверхностных процессов, можно сделать вывод, что введение в бетонную смесь небольшого количества кремнийорганических веществ вместе с водой затвердения,

позволит значительно улучшить долговечность и прочность против действия агрессивных факторов и нагрузки.

Исследуется влияние гидрофобных добавок на физические, механические свойства цементного бетона для покрытия дорог. На основе экспериментальных результатов установлено, что применение 0,1 – 0,15% гидрофобных добавок 136-157 м повышает долговечность цементного бетона для покрытия дорог.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЦЕМЕНТОБЕТОННОЕ ПОКРЫТИЕ, ГИДРОФОБНЫЕ ДОБАВКИ, МОРОЗОСТОЙКОСТЬ, ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ, ПРОЧНОСТЬ, ДОЛГОВЕЧНОСТЬ.

АВТОРИ:

Стьожка Віталій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: styozhka@ukr.net, тел. +30442803942, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 139, orcid.org/0000-0002-5039-9852.

Борковський Павло Петрович, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: utgs@ukr.net, тел. +30442859528, Україна, 01010, м. Київ, вул.Бойчука, 42, к. 110.

AUTHOR:

Stozhka V.V., Ph.D., National Transport University, Associate professor of the Department of Transport Construction and property management, e-mail: styozhka@ukr.net, tel. +30442803942, Ukraine, 01010, m. Kyiv, M. Omyanovicha-Pavlenko Str., 1, K. 139, orcid.org/0000-0002-5039-9852.

Borkowski P.P., National Transport University, Senior Lecturer in the Department of Road Construction materials and chemistry, e-mail: utgs@ukr.net, tel. ++30442859528, Ukraine, 01010, m. Kyiv, Boychuk St., 42, K.110.

АВТОРЫ:

Стежка Виталий Владимирович, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, доцент кафедры транспортного строительства и управления имуществом, эл. почта: styozhka@ukr.net, тел. +30442803942, Украина, 01010, Киев, Вул. М. Омелянович-Павленко, 1, 139, orcid.org/0000-0002-5039-9852.

Борковский Павел Петрович, Национальный транспортный университет, старший преподаватель кафедры дорожно-строительных материалов и химии, e-mail: utgs@ukr.net, тел.: 30442859528, Украина 01010, г. Киев, ул. Бойчука, 42, к. 110.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Кузьмінець М.П., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерної, інженерної графіки та дизайну, Національного транспортного університету, Київ, Україна.

Давиденко О.О., кандидат технічних наук, доцент кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд Національного транспортного університету, Київ, Україна.

REVIEWER:

Kuzminets M. P., Doctor of Technical Sciences, Professor, head of the Department of Computer, engineering graphics and design, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Davydenko O. O., Ph.D, Associate Professor of Department of Bridges, tunnels and hydraulic structures, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

ПОБУДОВА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ МОДЕЛІ АВТОСЕРВІСНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Тарандушка Л.А., кандидат технічних наук, Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна, tarandushkal@ukr.net, orcid.org/0000-0002-1410-9088

CREATING OF AUTOSERVICE ENTERPRISES FUNCTIONAL MODEL

Tarandushka L.A., Ph.D. in Engineering, Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine, tarandushkal@ukr.net, orcid.org/0000-0002-1410-9088

ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ АВТОСЕРВИСНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Тарандушка Л.А., кандидат технических наук, Черкасский государственный технологический университет, Черкасы, Украина, tarandushkal@ukr.net, orcid.org/0000-0002-1410-9088

1 Постановка проблеми.

Сьогодення транспортної галузі України обумовлюється рівнем автомобілізації та процесом підтримання транспортних засобів у справному стані. Підтриманням робочого стану транспортних засобів займаються автосервісні підприємства. Конкуренція автосервісних підприємств заключається в наданні якісних послуг. Для того, щоб була можливість коригувати рівень якості виконуваних послуг на автосервісних підприємствах (АСП) необхідно розуміти як функціонує підприємство. Для цього потрібно розробити функціональну модель, де буде відображено основні процеси роботи та вхідні і вихідні дані на кожному етапі. За допомогою функціональної моделі можна буде наглядно відобразити всі фактори, що впливають на роботу автосервісних підприємств, визначити як внутрішні та зовнішні фактори взаємодіють і чи можна на них впливати, розділити всі виробничі процеси на рівні, які обов'язково мають вхідні та вихідні дані, за допомогою яких можна впливати на якість їх виконання.

2 Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Даним питанням займалися такі науковці як В.Є. Канарчук, О.А. Лудченко, А.Д. Чигринець [1], С.І. Андрусенко, О.С. Бугайчук [2]. В роботі [3] автори наполягали на тому, що виробничий процес автосервісу насамперед залежить від дій замовників. В роботі [4] наведено схематично всі конструкторські рішення будівельних особливостей автосервісу, розроблена послідовність виробничих процесів, але не наведено способу вдосконалення та поліпшення якості виконуваних послуг. В дослідженні [5] науковці стверджують, що до 2025 року в Європі та Америці транспортна галузь зазнає величезних змін, а саме будуть використовуватись електромобілі, які будуть автономними (матимуть штучний інтелект), будуть у спільному користуванні (тобто клієнт може користуватись будь-яким автомобілем в найближчому доступі), автомобіль буде аналізувати автомобілепотік на дорозі та пов'язаний з автосервісом, що приведе до стрімких інновацій в автомобільній галузі. Дані тенденції теж треба враховувати при розробці функціональної моделі АСП. В зв'язку з постійним розвитком технологій необхідно враховувати запити клієнтів через мобільні додатки [6]. Для побудови функціональної моделі було проаналізовано їх різновиди в роботах [7,8].

3 Вклад основного матеріалу

В процесі дослідження роботи автосервісних підприємств було виділено основні процеси на різних рівнях функціонування (А, В, С, D, E, F, G, H): «Планування та забезпечення діяльності АСП»; «Забезпечення виконання технологічних процесів»; «Контроль за діяльністю АСП»; «Оптимізація діяльності АСП». Кожен з цих процесів має вхідні і вихідні дані (рис.1). Кожен рівень функціонування має своє цільове призначення. Рівні А, С, E, G відповідають за виконання процесів, а В, D, F, H – за їх вдосконалення.

Перед плануванням та забезпеченням діяльності АСП необхідно провести певний аналіз вхідних даних на рівні А: Провести аналіз ISO 9000:2015, ISO 9001:2015 – Система менеджменту якості. Основні положення та вимоги. ISO 19011:2011 – Рекомендації щодо проведення аудиту систем менеджменту (Env1). Це необхідно для формування настанови з якості (НЯ) для конкретного АСП; визначити розмір інвестиційних фондів та прибутку, які можна задіяти для фінансування

діяльності (розвитку) АСП (Env2); визначитись з віковими групами транспортних засобів регіону, що будуть обслуговуватись (цю інформацію отримують з регіонального сервісного центру) (Env3); проаналізувати найчастіші пошкодження автомобілів (статистичні дані, дані мобільних додатків та система діагностування V2I) (Env4), розрахувати оптимальні витрати матеріальних та енергетичних ресурсів (Env5).

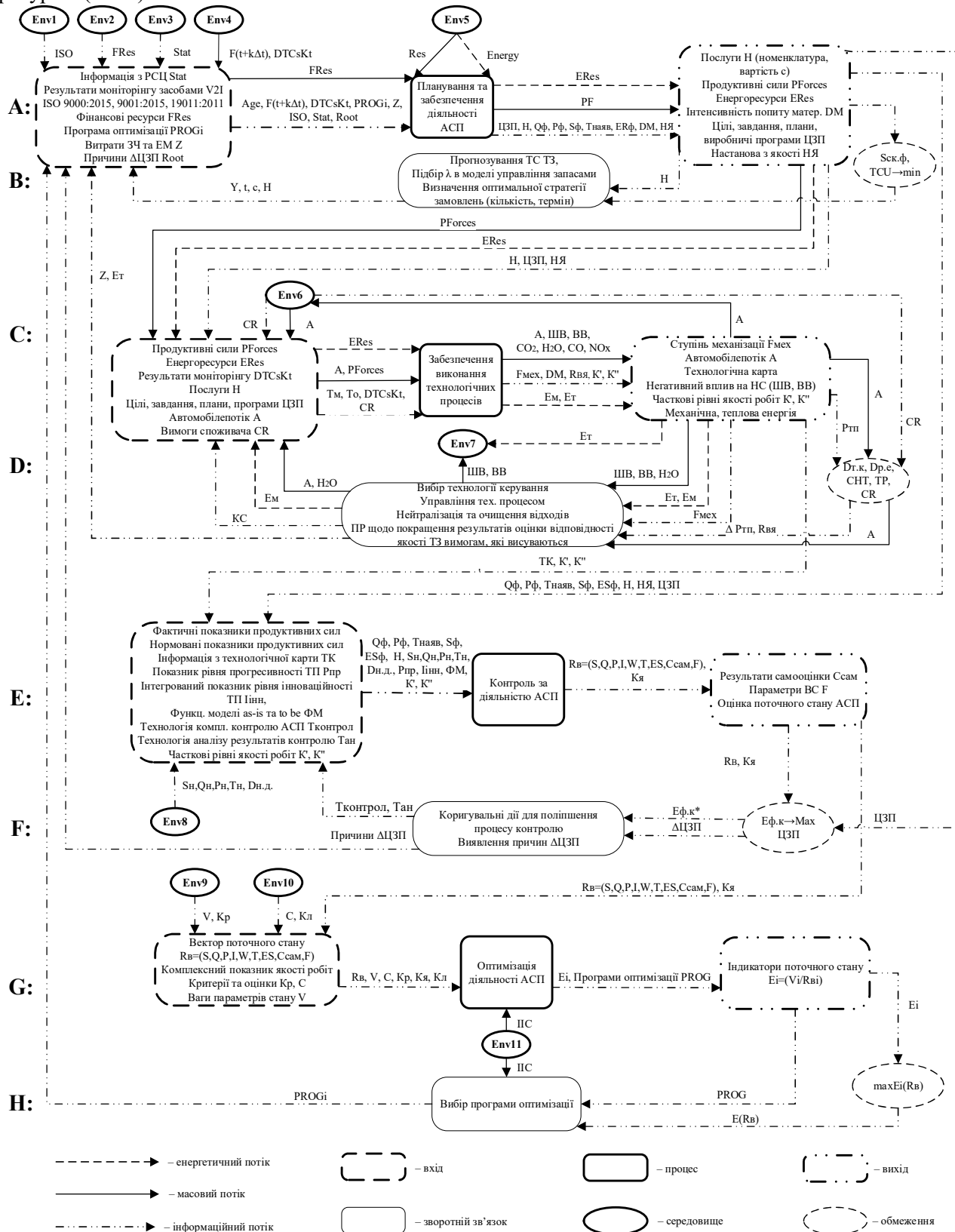


Рисунок 1 – Функціональна схема автосервісних- підприємств
Figure 1 – Autoservice enterprises functional diagram

Тобто вхідними даними для процесу «Планування та забезпечення діяльності АСП» є статистичні данні, отримані з регіонального сервісного центру (РЦС Stat), результати моніторингу засобами V2I та мобільних додатків. Дані з ISO 9000:2015, ISO 9001:2015, ISO 19011:2011, фінансові ресурси (FRes), статистичні дані витрат запасних частин (ЗЧ) та механічної енергії (ЕМ) за попередній період.

На основі вхідних даних починається процес «Планування та забезпечення діяльності АСП» необхідно забезпечити автосервісне підприємство всіма ресурсами, що увійдуть до складу продуктивних сил (трудові, матеріальні ресурси та ін.) (Res) та енергетичними ресурсами (Energy), що формуються в зовнішньому середовищі (Env5).

В результаті процесу рівня **A** здійснюються дії по забезпеченню АСП енергетичними ресурсами (ERes), продуктивними силами (засоби праці, предмети праці, персонал) (PF), формуються цілі, завдання щодо функціонування АСП, плани та виробничі програми (ЦЗП), складається номенклатура послуг, що пропонуються клієнтам АСП (H), прогнозується кількість устаткування (Qф), кількість персоналу (Рф), необхідні площі (Sф), кількість матеріальних ресурсів (Тнаяв), обсяг енергетичних ресурсів (ERф), інтенсивність попиту матеріалів (DM), що планується використовувати при виконанні технологічних процесів.

В результаті акумулювання вихідних потоків отримуємо вихідні дані: послуги (H) (номенклатура, вартість), продуктивні сили (PForces), енергоресурси (ERes), інтенсивність попиту матеріалів (DM) (матеріальні ресурси), цілі, завдання, плани, виробничі програми (ЦЗП).

На рівні **B** відбувається перевірка обмежень та формується зворотний зв'язок для оптимізації процесу «Планування та забезпечення діяльності АСП». Тут перевіряється, щоб значення розрахованої площі складських приміщень не перевищувало фактичної площі складських приміщень (Сск.ф) та проводиться контроль, щоб загальні витрати на придбання та зберігання запасних частин (ЗЧ) та експлуатаційних матеріалів (ЕМ) прагнули до мінімуму ($TCU \rightarrow \min$).

Після перевірки обмежень, на рівні зворотного зв'язку, формуються функції прогнозування технічного стану (ТС) транспортних засобів (ТЗ), підбирається множник Лагранжа в математичній моделі управління запасами, визначається оптимальна стратегія замовлень. Потім відбувається оптимізація процесу «Планування та забезпечення діяльності АСП», тобто з'являється настанова з якості (НЯ) для даного АСП.

На рівні **C** відбувається процес «Забезпечення виконання технологічних процесів». Вхідними даними для нього є продуктивні сили (засоби праці, предмети праці, персонал) (PForces), енергетичні ресурси (ERes), результати моніторингу (DTCsKt – коди несправностей з системи V2I та запити з мобільних додатків), інформація про послуги (H), що надаються АСП (номенклатура, вартість, нормування операцій, тобто визначення трудомісткості механізованих операцій виробничого процесу (Тм) та визначення загальної трудомісткості всіх операцій виробничого процесу (То)), цілі, завдання, плани, виробничі програми (ЦЗП), автомобілепотік (A), який формується з зовнішнього середовища (Env6).

На основі вхідних даних проводиться процес «Забезпечення виконання технологічних процесів». Результатом даного процесу є наступні вихідні дані: ступінь механізації виробничого процесу (Fмех), автомобілепотік (A), заповнена технологічна карта, негативний вплив на навколишнє середовище (НС) шкідливих відходів (ШВ) та виробничих відходів (ВВ), механічної енергії та теплової енергії, що надходить в зовнішнє середовище (Env7).

На рівні **D** відбувається перевірка наявності необхідної технологічно-конструкторської документації (Дт.к), необхідної кількості керівництв по ремонту та експлуатації марок автомобілів, що обслуговуються (Dr.е), наявності сучасних новітніх технологій (СНТ) у виробничому процесі АСП, дотримання технічних регламентів (ТР), врахування вимог споживача (CR), що надходять з зовнішнього середовища (Env6).

Визначивши всі невідповідності відбувається зворотний зв'язок, який має на меті оптимізувати процес «Забезпечення виконання технологічних процесів».

На основі невідповідності існуючих параметрів технологічних процесів до регламентованих (ДРтп) визначають технологію керування виробничим процесом та відбувається коригування управління технологічними процесами. На базі результатів оцінки відповідності якості транспортних

засобів до вимог споживачів, технічних умов, технічних регламентів, нормативної документації (Рв_я) приймаються рішення щодо покращення результатів оцінки відповідності якості ТЗ вимогам, які висуваються. Також після нейтралізації та очищення шкідливі та виробничі відходи поступають у зовнішнє середовище (Env7).

Якщо в автомобілепоточці було виявлено транспортний засіб, що не відповідає вимогам якості, то передається сигнал про прийняті рішення щодо покращення технічного стану автомобіля на вхідні дані рівня С та інформація про додаткові витрати запасних частин (Z) і використання теплової енергії (Et) на рівень А. Після повторного забезпечення виконання технологічних процесів визначається частковий показник рівня якості робіт, що виконано відповідно до вимог нормативно-технічної документації і було здано до ВТК (K') та частковий показник рівня якості виконаних робіт, який визначено як мінімальний з коефіцієнтів схвальних оцінок замовників послуг (K''). Вони передаються на вхідні дані рівня Е.

Рівень Е відповідає за процес «Контроль за діяльністю АСП». Вхідними даними даного процесу є: фактичні показники продуктивних сил, нормативні показники продуктивних сил (розраховуються з використанням інформації, що характеризує нормативні показники продуктивних сил (Env8)), інформація з технологічних карт (ТК), показники рівня прогресивності технологічного процесу (Рпр), інтегрований показник рівня інноваційності технологічного процесу (Іінн), функціональні моделі «as-is» та «to be», часткові рівні якості робіт (K' та K''). На основі вхідних даних виконується процес «Контроль за діяльністю АСП». Після виконання даного процесу формуються вихідні дані. Це результати самооцінки АСП (Ссам), параметри вектора F, що описує виробничий процес АСП, оцінки кожного параметру поточного стану АСП.

На рівні F перевіряється ефективність процесу контролю (Еф.к→Max) та відповідність цілей, завдань щодо функціонування АСП, планів, виробничих програм (ЦЗП) до тих, які було передано з рівня А. Після визначення відхилень від цілей та завдань (ΔЦЗП) та оптимальних значень складових показників ефективності процесу контролю (Еф.к*) формується зворотний зв'язок до контролю за діяльністю АСП та передається інформація про причини відхилень від цілей, завдань щодо функціонування АСП, планів, виробничих програм (Root) на вхідні дані рівня А. Інформація про технологію проведення комплексного контролю за діяльністю АСП (Тконтроль) та технологію аналізу результатів контролю (Тан) передають на вхідні дані рівня Е. Після повторного проведення контролю за діяльністю АСП формуються вихідні дані щодо вектору поточного стану (Rv) та комплексного показника якості виконаних послуг (Кя), які передаються на рівень G.

Рівень G відповідає за оптимізацію діяльності АСП. Вхідний потік даного підпроцесу містить наступні складові:

- вектор поточного стану $R_v = (S, Q, P, I, W, T, ES, C_{сам}, F)$, де S – рівень забезпеченості підрозділів АСП необхідною площею, Q – рівень забезпеченості виробничих дільниць обладнанням та оснащенням, P – рівень забезпеченості підрозділів АСП кваліфікованим персоналом, I – оцінка руху та повноти інформаційних потоків та наявної документації, W – оцінка повноти послуг, T – рівень забезпеченості матеріальними ресурсами, ES – рівень екологічної безпеки, C_{сам} – самооцінка підприємства, F – оцінка виробничого процесу [9];
- комплексний показник якості робіт (Кя);
- споживчі критерії і виробничі критерії (Кр) та вектор вагів параметрів стану V [10], що надходять з зовнішнього середовища (Env9);
- споживчі оцінки (C) та коефіцієнт лояльності споживачів (Кл), які надходять з зовнішнього середовища (Env10).

На основі цих даних відбувається процес «Оптимізація діяльності АСП». Вихідними даними цього процесу є індикатори кожного параметру вектору поточного стану АСП, $E_i = (V_i / R_{v_i})$ – i-й індикатор поточного стану, де V_i – вага i-го параметру поточного стану, R_{v_i} – значення i-го параметру поточного стану [10].

На рівні H відбувається визначення максимального значення з індикаторів поточного стану $\max E_i(R_v)$ та з множини програм оптимізації (PROG – програми, що стосуються кожного параметру з вектору поточного стану АСП) обирається та, яка стосується параметра з найбільшим значенням індикатора E_i . Вибір програми оптимізації та сам процес «Оптимізація діяльності АСП» керуються

ззовні (Env11) за допомогою інтелектуальної інформаційної система (ІС). Інформаційний потік з вибраною програмою оптимізації поступає на вхід рівня А. Таким чином, забезпечується постійне вдосконалення виробничого процесу автосервісного підприємства.

4 Висновки.

Розроблена функціональна модель надає можливість наглядно представити множину факторів, що впливають на якість виконуваних послуг, їх взаємодію та відображає вплив зовнішніх чинників на роботу АСП. Запропонована модель є базою для автоматизації розрахунків витрат матеріальних, фінансових, енергетичних ресурсів за певний період часу та прогнозування витрат на майбутні періоди, а також контролю та вдосконалення виробничого процесу автосервісів з метою поліпшення якості виконуваних послуг.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Основи технічного обслуговування та ремонту автомобілів. Організація, планування й управління / В.С. Канарчук, О.А. Лудченко, А.Д. Чигринець. – Київ: Вища шк., 1994. – 383с.
2. Андрусенко С.І. Моделювання бізнес процесів підприємства автосервісу: монографія. / С.І. Андрусенко, О.С. Бугайчук. – Київ: Кафедра, 2014. – 328 с.
3. Lande C. Customer participation and the performance of the production process: the case of automobile after-sales service / Abramovici M. // International Journal of Youth Economy. – 2017. – Issue 1, Vol 1. – P. 1-22. Access Mode: DOI: <http://dx.doi.org/10.18576/010101>.
4. Vehicle operations and maintenance vehicle facilities design guide [Electronic resource]. – Available at: <https://www.wbdg.org/FFC/AF/AFDG/ARCHIVES/vehicleoperationsmaintenance.pdf>. – Date of Access: 3 January 2020.
5. Kuhnert F. Five trends transforming the Automotive Industry [Electronic resource] / C. Stürmer, A. Koster, 2018. Available at: <https://eu-smartcities.eu/sites/default/files/2018-03/pwc-five-trends-transforming-the-automotive-industry.compressed.pdf>. – Date of Access: 4 January 2020.
6. Chavan Sh., Service Center Management System [Virtual Resource] / Shilpa Chavan, Saket Adhav, Rushikesh Gujar, Mayur Jadhav, Tushar LimboreAutomobile // Automobile International Journal of Scientific and Research Publications. – 2014. – Volume 4, Issue 3, 4p. – Access Mode: <http://www.ijsrp.org/research-paper-0314.php?rp=P272479> – Date of Access: 4 January 2020.
7. ERDEN M.S., A review of function modeling: Approaches and applications / Komoto H., Van Beek T.J., D'amelio V., Echavarria E., Tomiyama T.// Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing. – 2008. Vol 22, P. 147–169. Access Mode: DOI: 10.1017/S0890060408000103.
8. Vermaas, P., Accepting Ambiguity of Engineering Functional Descriptions / Proceedings of 18th International Conference on Engineering Design, ICED, 2011, P.98–107.
9. Тарандушка Л.А. Трирівнева модель системи менеджменту якості автосервісних підприємств /Л.А. Тарандушка, Н.Л. Костян // Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів. Збірник наукових праць Всеукраїнської науково-практичної конференції, (20-22 вересня 2018 року). – Коблево, 2018 – С.65-67.
10. V.P. Mateichyk, L.A Tarandushka, N.L. Kostian , Optimization of autoservice enterprises activity based on the current state indicators. Systems and means of car transport. Problems of exploitation and diagnostics 14, 2018, С. 91-99.

REFERENCES

1. Kanarchuk V.Y., Ludchenko O.A. & Chyhrynets A.D. (1994). *Osnovy tekhnichnoho obsluhovuvannia ta remontu avtomobiliv. Orhanizatsiia, planuvannia y upravlinnia [Basics of car maintenance and repair. Organization, planning and management]*. Kyiv: Vyshcha shk. [in Ukrainian].
2. Andrusenko S.I. & Buhaichuk O.S. (2014). *Modeliuvannia biznes protsesiv pidpriemstva avtoservisu: monohrafiia [Simulation of business processes car service company: a monograph]*. Kyiv: Kafedra [in Ukrainian].

3. Lande C. & Abramovici M. (2017). Customer participation and the performance of the production process: the case of automobile after-sales service [Customer participation and the performance of the production process: the case of automobile after-sales service]. *International Journal of Youth Economy – International Journal of Youth Economy*, 1, 1-22 [in English] DOI: <http://dx.doi.org/10.18576/010101>.
4. Vehicle operations and maintenance vehicle facilities design guide. – Available at: <https://www.wbdg.org/FFC/AF/AFDG/ARCHIVES/vehicleoperationsmaintenance.pdf> (Accessed 3 January 2020).
5. Kuhnert F. Stürmer C., & Koster A. (2018) *Five trends transforming the Automotive Industry*. - Available at: <https://eu-smartcities.eu/sites/default/files/2018-03/pwc-five-trends-transforming-the-automotive-industry.compressed.pdf> (Accessed 4 January 2020).
6. Chavan Sh., Service Center Management System. *Automobile International Journal of Scientific and Research Publications*, 2014. 4p. – Available at: <http://www.ijsrp.org/research-paper-0314.php?rp=P272479>. (Accessed 4 January 2020).
7. ERDEN M.S., Komoto H., Van Beek T.J., D'amelio V., Echavarria E. & Tomiyama T. (2008) A review of function modeling: Approaches and applications [A review of function modeling: Approaches and applications]. *Artificial Intelligence for Engineering Design. Analysis and Manufacturing – Artificial Intelligence for Engineering Design. Analysis and Manufacturing*, 22, 147–169 [in English]. DOI: 10.1017/S0890060408000103.
8. Vermaas, P. (2011) Accepting Ambiguity of Engineering Functional Descriptions / Proceedings from 18th International Conference on Engineering Design. (P.98–107). ICED [in English].
9. Tarandushka L.A. (2018) Tryrivneva model systemy menedzhmentu yakosti avtoservisnykh pidpriemstv [Three-level model of autoservice enterprises quality management system]. Proceedings from MIIM '18: *Vseukrainska naukovo-praktychna konferentsiia «Novitni shliakhy stvorennia, ekspluatatsii, remontu i servisu avtomobiliv» – All-Ukrainian scientific and practical conference «Newest ways to create, operate, repair and service cars»*. (pp. 65-67.), Sumy: Koblevo [in Ukrainian].
10. Mateichyk V.P., Tarandushka L.A., Kostian N.L. Optimization of autoservice enterprises activity based on the current state indicators. *Systems and means of car transport. Problems of exploitation and diagnostics 14*, 2018, pp. 91-99. [in English].

РЕФЕРАТ

Тарандушка Л.А. Побудова функціональної моделі автосервісного підприємства / Л.А. Тарандушка // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

В даній статті проаналізовано останні тенденції розвитку транспортної галузі та інформаційних технологій. Побудовано функціональну модель автосервісного підприємства (АСП), що у сукупності з його параметричним та морфологічним описом надає можливість оцінювати внутрішні та зовнішні фактори, які впливають на якість виконуваних послуг, а також визначати варіанти поліпшення властивостей підприємства. Процес функціонування АСП було розділено на 8 рівнів, кожен з яких має своє цільове призначення. Рівні **A, C, E, G** відповідають за виконання підпроцесів, а **B, D, F, H** – за їх вдосконалення. У складі головного процесу було виділено наступні основні підпроцеси: «Планування та забезпечення діяльності АСП», «Забезпечення виконання технологічних процесів», «Контроль за діяльністю АСП», «Оптимізація діяльності АСП на базі інтелектуальної системи». Окрім цього, для всіх підпроцесів визначено моменти двостороннього впливу зовнішнього середовища та процесів роботи АСП. Зв'язок між зазначеними підпроцесами і зовнішнім середовищем забезпечується зовнішніми та внутрішніми енергетичними, масовими та інформаційними потоками, які формують базу вхідних та вихідних даних. Кожен підпроцес може бути вдосконалений за рахунок корегування даних після аналізу обмежень. Вдосконалення підпроцесів відбувається на основі методів та моделей оптимізації, зокрема моделі управління запасами з обмеженою місткістю складу. Передбачено використання інтелектуальних систем керування технологічними процесами та систем підтримки прийняття рішень.

На базі запропонованої функціональної моделі та її опису стає можливим здійснити математичний опис основних підпроцесів функціонування АСП, розробити алгоритми програмних модулів автоматизованого контролю за виконанням виробничого процесу автосервісів та їх вдосконалення, що увійдуть до складу інтегрованої системи управління якістю.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОСЕРВІСНЕ ПІДПРИЄМСТВО, ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ, ВИРОБНИЧИЙ ПРОЦЕС, ЯКІСТЬ.

ABSTRACT

Tarandushka L.A. Creating of autoservice enterprises functional model. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

This article analyzes the latest trends in the transport industry and information technology. Functional model of auto-service enterprise (ASE) has been constructed, which together with its parametric and morphological description gives an opportunity to evaluate internal and external factors that affect the quality of services performed and to identify options for improving the properties of the enterprise. The process of ASE functioning was divided into 8 levels, each of which has a specific purpose. Levels A, C, E, G are responsible for executing subprocesses and B, D, F, H for improving them. In the main process, the following main subprocesses were identified: “Planning and maintenance of the activity of the ASE”, “Ensuring the implementation of technological processes”, “Control over the activity of the ASE”, “Optimization of the activity of the ASE on the basis of the intellectual system”. In addition, for all subprocesses the moments of bilateral influence of the environment and the processes of operation of the ASE are defined. The connection between these subprocesses and the external environment is provided by external and internal energy, mass and information flows that form the database of input and output data. Each subprocess can be improved by correcting the data after analyzing the constraints. Improvement of subprocesses is based on optimization methods and models, including models of inventory management with limited storage capacity. The use of intelligent process control systems and decision support systems is envisaged.

On the basis of the proposed functional model and its description, it becomes possible to carry out a mathematical description of ASE main operation subprocesses, to develop algorithms of software modules for automated control over the production process of car services and their improvement, which will be included in the integrated quality management system.

KEYWORDS: AUTOSERVICE ENTERPRISE, FUNCTIONAL MODEL, PRODUCTION PROCESS, QUALITY.

РЕФЕРАТ

Тарандушка Л.А. Построение функциональной модели автосервисного предприятия / Л.А. Тарандушка// Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В данной статье проанализированы последние тенденции развития транспортной отрасли и информационных технологий. Построено функциональную модель автосервисного предприятия (АСП), что в совокупности с его параметрическим и морфологическим описанием позволяет оценивать внутренние и внешние факторы, влияющие на качество выполняемых услуг, а также определять варианты улучшения свойств предприятия. Процесс функционирования АСП был разделен на 8 уровней, каждый из которых имеет свое целевое назначение. Уровни А, С, Е, G отвечают за выполнение подпроцессов, а В, D, F, H – по их совершенствованию. В составе главного процесса было выделено следующие основные подпроцессы: «Планирование и обеспечение деятельности АСП», «Обеспечение выполнения технологических процессов», «Контроль за деятельностью АСП», «Оптимизация деятельности АСП на базе интеллектуальной системы». Кроме этого, для всех подпроцессов определены моменты взаимного влияния внешней среды и процессов работы АСП. Связь между указанными подпроцессами и внешней средой обеспечивается внешними и внутренними энергетическими, массовыми и информационными потоками, которые формируют базу входных и выходных данных. Каждый подпроцесс может быть усовершенствован за счет

корректировки данных после анализа ограничений. Совершенствование подпроцессов происходит на основе методов и моделей оптимизации, в частности модели управления запасами с ограниченной вместимостью склада. Предусмотрено использование интеллектуальных систем управления технологическими процессами и систем поддержки принятия решений.

На базе предложенной функциональной модели и ее описания становится возможным осуществить математическое описание основных подпроцессов функционирования АСП, разработать алгоритмы программных модулей автоматизированного контроля за выполнением производственного процесса автосервисов и их совершенствования, которые войдут в состав интегрированной системы управления качеством.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АВТОСЕРВИСНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ, ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ, ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС, КАЧЕСТВО.

АВТОР:

Тарандушка Людмила Анатоліївна, кандидат технічних наук, доцент, Черкаський державний технологічний університет, завідувач кафедри автомобілів та технологій їх експлуатації, e-mail: tarandushkal@ukr.net, тел. +380664286503, Україна, 18006, м. Черкаси, бул. Шевченка 333, к.206, orcid.org/ 0000-0002-1410-9088.

AUTHOR:

Tarandushka Lyudmila Anatolivna, Ph.D., associate professor Cherkasy State Technological University, head of vehicles and technologies for their exploitation department, e-mail: tarandushkal@ukr.net, tel. +380664286503, Ukraine, 18006, Cherkasy, br Shevchenko, 333, of. 206, orcid.org/ 0000-0002-1410-9088.

АВТОР:

Тарандушка Людмила Анатольевна, кандидат технических наук, доцент, Черкасский государственный технологический университет, заведующая кафедры автомобилей и технологий их эксплуатации, e-mail: tarandushkal@ukr.net, тел. +380664286503, Украина, 18006, м. Черкасы, бул. Шевченка 333, к.206, orcid.org/ 0000-0002-1410-9088.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Ситник О.О., доктор технічних наук, професор, Черкаський державний технологічний університет, завідувач кафедри електротехнічних систем, Черкаси, Україна.

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

REVIEWER:

Sytnyk O.O., Doctor of Technical Sciences, Professor, Cherkasy State Technological University, Head of Electrical Systems Department, Cherkasy, Ukraine.

Sakhno V. P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of Automobiles Department, Kyiv, Ukraine.

РОЗРОБКА ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ АВТОМОБІЛЯ З ДИСТАНЦІЙНИМ КЕРУВАННЯМ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОМОБІЛІВ

Тімков О.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, alex_127@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7925-7030

Яценко Д.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, y_d2@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3674-0089

DEVELOPMENT OF PHYSICAL MODEL VEHICLE WITH REMOTIONAL CONTROL FOR EXPERIMENTAL STUDIES OF VEHICLE PROPERTIES

Timkov O.M., PhD, National Transport University, Kyiv, Ukraine, alex_127@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7925-7030

Yashchenko D.M., PhD, National Transport University, Kyiv, Ukraine, y_d2@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3674-0089

РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АВТОМОБИЛЯ С ДИСТАНЦИОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЯ

Тимков А.Н., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, alex_127@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7925-7030

Яценко Д.Н., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, y_d2@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3674-0089

Постановка проблеми.

Експериментальні дослідження належать до основних засобів для одержання нових наукових знань, особливо в технічних науках. До їх основи закладено експеримент, що являє собою науковий дослід або спостереження у точно контрольованих умовах. Вони дозволяють прослідкувати послідовно за його перебігом, керувати експериментом, проводити його при повторенні в адекватних умовах. Від звичайного пасивного спостереження явищ експеримент відрізняється активним впливом дослідника на процес або об'єкт, які треба вивчити.

Головна мета експерименту – перевірка теоретичних положень (підтвердження робочої гіпотези), накопичення числових значень параметрів для досліджуваних об'єктів, виявлення їх властивостей. Експеримент намагаються провести в стислі строки, з мінімальною витратою матеріальних і трудових ресурсів.

Подібність фізичних процесів і систем широко використовується в техніці для дослідження методом моделювання. Відомі роботи Сахно В.П., Дячука М.В., Абрамова Л.С. та інших вчених присвячені використанню експериментальних моделей в наукових дослідженнях [1, 2, 3].

У тих випадках коли математичне рішення задачі ускладнене, а то й просто неможливе, цілком природним є звернення до експериментального дослідження на моделях з подальшим перерахунком отриманих результатів на натуру, яка є прототипом моделі. При цьому модель і натура повинні перебувати між собою у відношеннях подібності [4 – 8].

Дослідження на моделях дозволяє прискорити або сповільнити процеси, які в природних умовах розвиваються зі швидкістю, що ускладнюють спостереження за ними. При проведенні експерименту безпосередньо на натурі майже завжди доводиться відмовлятися від активного пошуку оптимальних конструктивних рішень, бо це пов'язано зі значними витратами коштів, а не рідко і просто не можливо.

Ці принципи полягають у дотриманні умов, які визначають співвідношення між параметрами моделі і натурі, а також правила перерахунку досліджуваних величин з моделі на натуру і назад. Однак, відомо, що жодна модель не може з абсолютною точністю відтворити досліджуваний оригінал — для цього має бути повна їх тотожність. Тому при моделюванні намагаються зберегти в моделі принаймні ті характеристики натурі, які є найбільш важливими у загальній картині фізичного процесу, забезпечуючи задану точність результатів. Тому метою досліджень є розробка фізичної

моделі автомобіля з дистанційним керуванням оснащеною вимірювальною та реєструючою апаратурою, для експериментального дослідження властивостей автомобілів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Принцип механічної подібності може бути покладений в основу побудови однотипних машин. Якщо будь-яку машину прийняти за зразок (модель) та завдатися коефіцієнтом подібності, то можна побудувати ряд подібних машин. Закон механічної подібності повинен вказати масштаби, в яких потрібно змінити розміри різних частин, щоб отримати машини, подібні даному зразку. Вибір коефіцієнтів подібності базується на наступних міркуваннях:

$$\rho = mj = m \frac{\Delta V}{\Delta t} = m \frac{\Delta l}{\Delta t^2} .$$

Теорія подібності охоплює всі механічні явища, які можуть бути різноманітні по відношенню до якої-небудь механічної величини. Наприклад, сили можуть залежати: 1) від часу, 2) від відстані, 3) від швидкості, 4) від маси, 5) залишатися постійними.

Для машин коефіцієнтом подібності можна визначити деяку механічну величину. При цьому машини, подібні в одному відношенні, можуть виявитися не подібними в іншому, наприклад нерівномісними. А так як міцність для машин має суттєве значення, то порушення подібності у відношенні до міцності повинно бути завжди перевірено і може бути вирішальним для вибору коефіцієнта подібності.

Фізичною моделлю автомобіля є зменшена копія об'єкта дослідження, наділена тими ж фізичними властивостями, що і оригінал, експеримент проводиться з моделлю. Для фізичної моделі не обов'язкова модель математична, отже це спрощує розрахунки, а дані можна отримувати напряму з об'єкту дослідження, використовуючи датчики, записуючі елементи і т.п., а рух задавати виконавчими пристроями [9].

В роботі розроблена модель легкового автомобіля категорії М1 для проведення експериментальних досліджень (рис. 1).

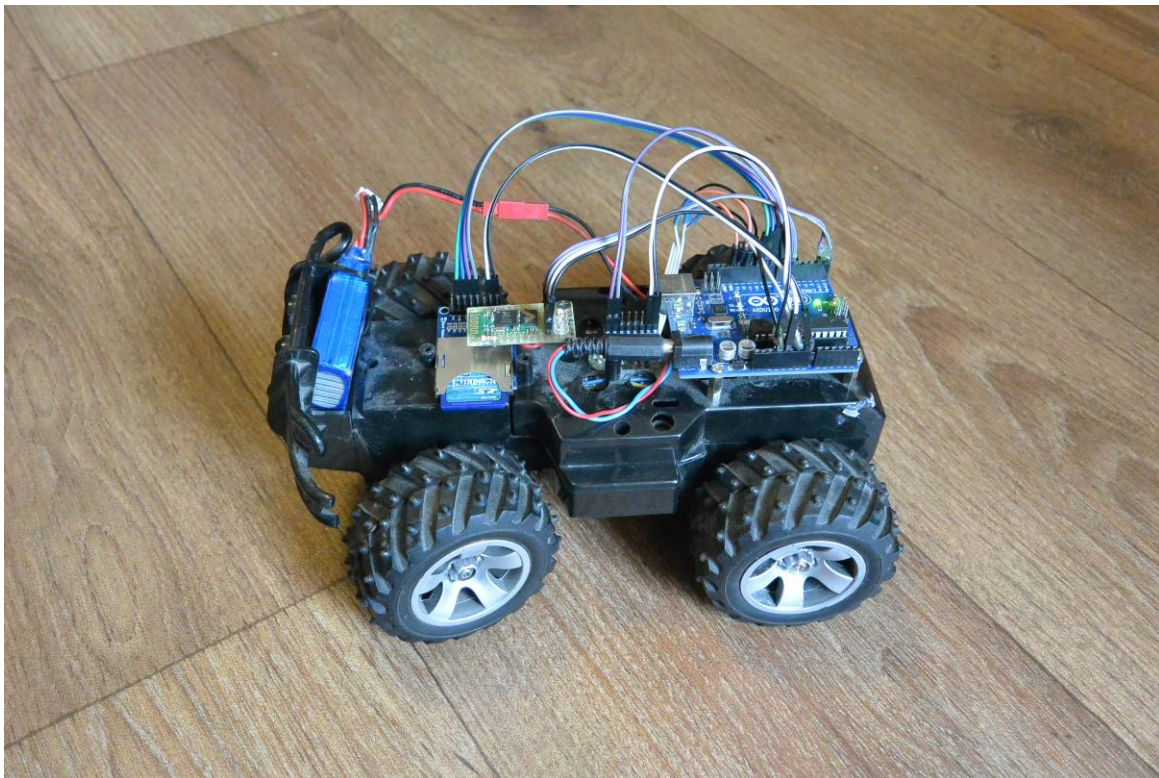


Рисунок 1 – Модель автомобіля з керованим колісним модулем
Figure 1 – Vehicle model with controllable wheel module

Прототипом для фізичної моделі легкового автомобіля було обрано легковий автомобіля категорії M1 Daewoo Lanos 1.5. Це автомобіль з колісною формулою 4x2. Його повна маса 1595 кг, власна маса 1070 кг. Довжина складає 4237 мм, колія 1405 мм, база 2520 мм.

Для розробки моделі перш за все потрібно визначити розмірність елементів (розмірна чи безрозмірна величина) і похідність (які величини будуть прийняті за базові, а які можна визначити з інших). Для вивчення механічних явищ достатньо ввести три основні одиниці виміру: для довжини, маси або сили і часу. Залежність одиниці виміру похідної величини від одиниць виміру базових величин можна представити у вигляді формули розмірності. Для визначення фізичної подібності найбільше поширена на даний час система розмірності СГС [9].

У даній системі розмірності всіх фізичних величин мають вигляд степеневого одночлена:

$$L^l M^m T^t.$$

При розрахунку подібності прийнято використовувати π -теорему, згідно з якою для побудови моделі необхідно і достатньо $p=n-k$ безрозмірних величин, де n – кількість фізичних змінних, які описуються за допомогою k фундаментальних фізичних величин. З π -теореми випливає, що якщо дві динамічні системи описані однаковими диференціальними рівняннями, то рішення диференціальних рівнянь буде масштабно незмінним при тих самих π групах. Щоб модель була динамічно подібна до оригіналу, величини цих π груп повинні бути однакові для обох систем. Базуючись на цій ідеї, можна визначити параметри моделі відповідні реальним [9].

Обрано масштаб для зменшення 1:18 його визначений за базою автомобіля. Колісна база шасі реального і зменшеного автомобіля є фіксованою. Довжина фізичної моделі автомобіля 235 мм, колісна база 137 мм, колія 117 мм. Розмір шин фізичної моделі розраховується прирівнюванням π групи, що відповідає розміру шин зменшеної копії, до π групи реального автомобіля, що є

$$(R/I)_{\text{оригіналу}} = (R/I)_{\text{моделі}}.$$

Розмір шин автомобіля 155/80 R13 або 175/70 R13. Підставляючи значення оригіналу, отримуємо $R_{\text{моделі}} = 38$ мм. Ширина шин моделі тягача 38 мм. Для обчислення маси моделі припускаємо, що густина моделі та оригіналу однакова, тоді з подібності

$$(\rho l^3/m)_{\text{моделі}} = (\rho l^3/m)_{\text{оригіналу}},$$

отримуємо споряджену масу фізичної моделі автомобіля 0,615 кг.

За основу фізичної моделі взято шасі від моделі автомобіля. Поворот керованих коліс задає сервопривод Blade Inductrix, який приводить у рух поздовжню тягу рульової трапеції, котра, у свою чергу, повертає цапфи керованих коліс. Фізична модель приводиться до руху одним колекторним електромотором Motor (RC 473) з механічним редуктором, від якого крутний момент передається на задню ведучу вісь.

Швидкість руху та кут повороту керованих коліс фізичної моделі задає оператор за допомогою пульта керування, який реалізовано на базі Android пристрою. Команди з пульта передаються за Bluetooth каналом через приймальний модуль до мікроконтролера Arduino Uno. Який, після обробки отриманих сигналів керування та виконання заданих алгоритмів, передає керуючий сигнал до драйверу електромоторів (рис. 2). Після підсилення керуючого сигналу за струмом відбувається керування електромоторами ведучої осі та керованих коліс. Мікроконтролер Arduino Uno дозволяє запрограмувати необхідні дії роботи електромоторів на мові програмування C++.

У даному випадку алгоритм програми складений наступним чином: по-перше, перевіряється наявність зв'язку з пультом керування за Bluetooth каналом, при розриві з'єднання фізична модель припиняє виконання будь-яких попередніх команд і відразу ж зупиняється. При відновленні зв'язку виконання команд починається з початку. В першу чергу обробляється команда заданої швидкості руху. По-друге, виконується команда повороту керованих коліс, якщо модель рухається прямо, то працює лише електромотор ведучої осі. Якщо ж, надходить команда повороту керованих коліс і модель має повертати, то одночасно працюють обидва електромотори.

Зважаючи на те, що модель розроблено для оцінки маневрених властивостей автомобіля за розробленою математичною моделлю з переднім керованим колісним модулем при русі з різними швидкостями, елементи підвіски не моделюються.

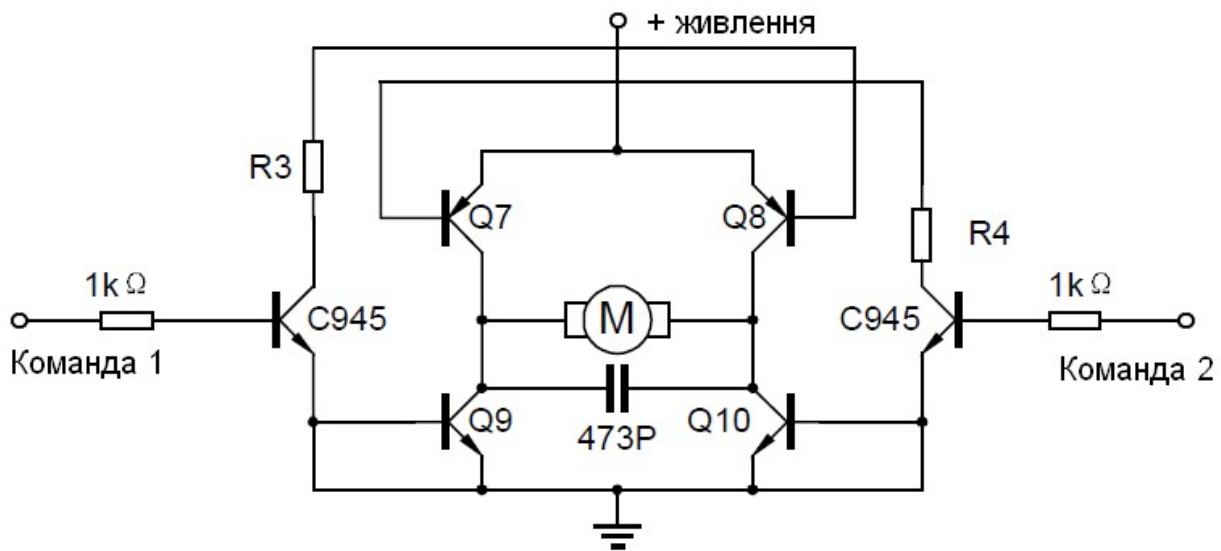


Рисунок 2 – Електрична схема транзисторного драйверу колекторного електромотора
Figure 2 – Electrical circuit diagram of transistor driver collector electric motor

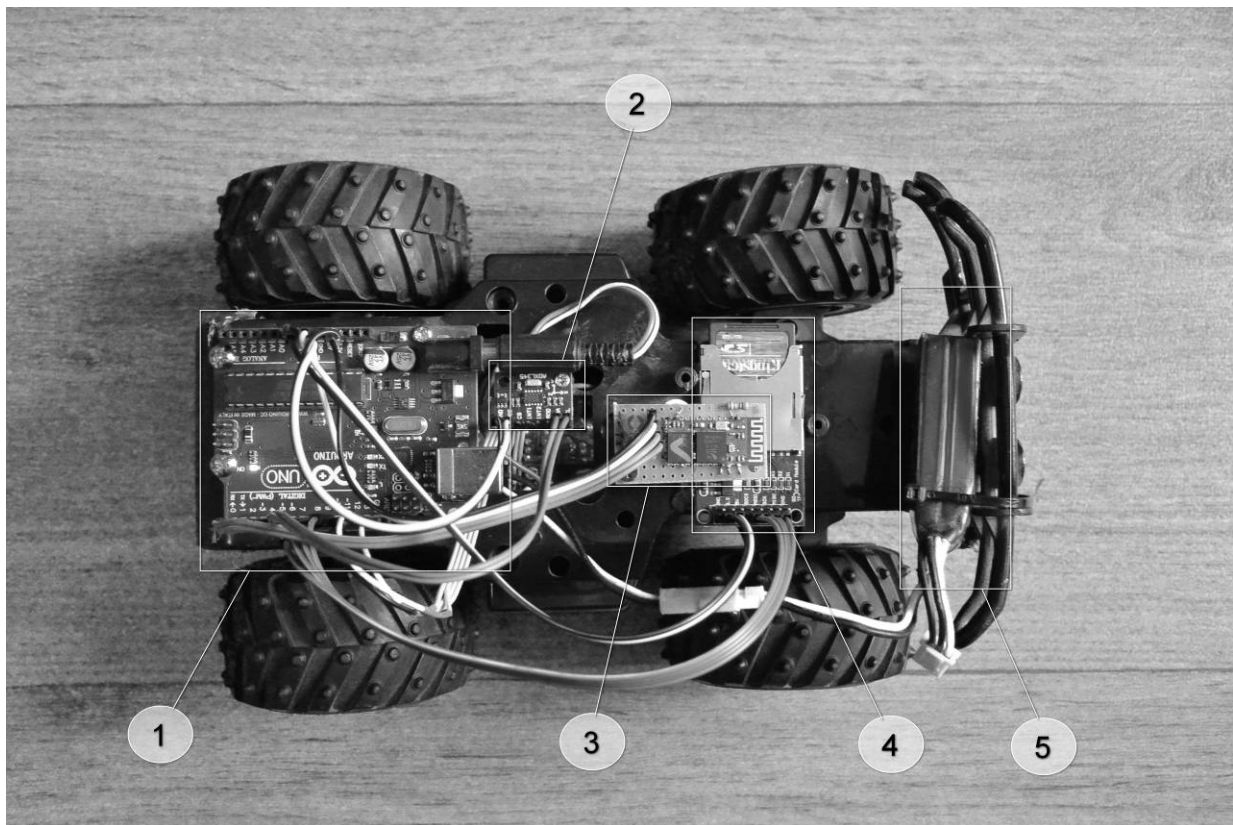


Рисунок 3 – Розташування елементів на моделі автомобіля:
1 Arduino uno, 2 акселерометр ADXL345, 3 Bluetooth модуль HC – 06, 4 Модуль SD карти пам'яті, 5 літієва батарея живлення 7,4В.
Figure 3 – Location of the elements on the vehicle model:
1 Arduino uno, 2 accelerometer ADXL345, 3 Bluetooth module HC – 06, 4 SD memory card module, 5 lithium battery 7,4 V power supply.

Фізична модель автомобіля (рис. 3) оснащено такими приладами.

1. Плата для програмування Arduino Uno з мікроконтролером Atmel 328PU. Зовнішній вигляд якої наведено на рис. 4, а технічну характеристику представлено у табл. 1. Мікроконтролер має 14

цифрових входів / виходів (6 з яких можуть використовуватися як виходи широтно-модульованого (ШИМ) сигналу), 6 аналогових входів, 1 послідовний порт UART, при необхідності можуть бути програмно задіяні інші цифрові порти, кварцовий генератор 16 МГц, USB конектор, роз'єм живлення, роз'єм ICSP і кнопка перезавантаження. Для роботи необхідно підключити мікроконтролер до комп'ютера за допомогою кабелю USB або подати живлення за допомогою адаптера DC. Arduino Uno сумісна з усіма платами розширення, розробленими для платформ Uno або Duemilanove [10].

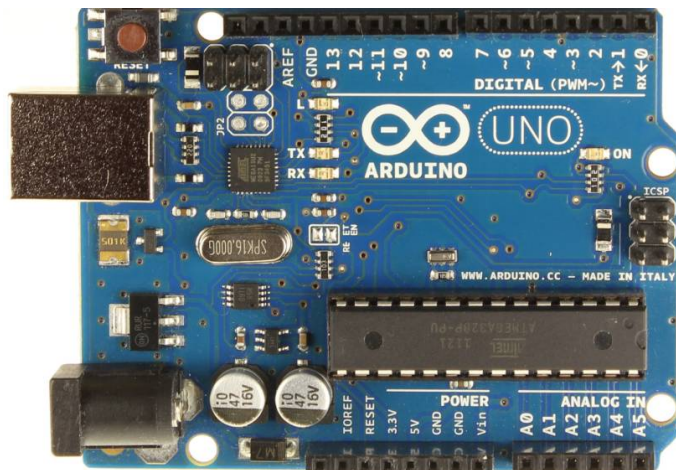


Рисунок 4 – Мікропроцесорна плата Arduino Uno
Figure 4 – Microprocessor board Arduino Uno

На платформі Arduino Uno встановлено декілька пристроїв для забезпечення зв'язку з комп'ютером, іншими пристроями Arduino або мікроконтролерами. Atmel 328PU підтримують послідовний інтерфейс UART TTL (5В), що здійснюється виводами 0 (RX) та 1 (TX). Встановлена на платі мікросхема ATmega8U2 конвертує даний інтерфейс в USB протокол, програми на стороні комп'ютера "спілкуються" з платою через віртуальний COM порт.

Середовищем розробки плат Arduino є багатоплатформовий Java додаток, що заснований на мові Processing. Синтаксис даного середовища подібний до C++, але використовує деякі додаткові бібліотеки. Після успішної компіляції програма передається у процесор засобами віртуального COM-порту. Вбудований у середовище розробки монітор порту дозволяє реалізувати зворотній зв'язок із платою у процесі виконання програми. Можлива передача команд процесору, а також зчитування та відображення даних.

Таблиця 1 – Технічна характеристика Arduino Uno
Table 1 – Technical characteristics of Arduino Uno board

Параметр	Значення
Розміри	68 x 53 x 15 мм
Частота	16 МГц
Флеш пам'ять	32Кб
Діапазон робочих температур	-30 ... +60 °C
Робоча напруга	7 ... 12 В
Маса	55 г

2. Акселерометр ADXL345 – крихітний мікропотужний акселерометр з вимірюванням по трьом вісям, який має високу роздільну здатність (13 біт). Діапазон вимірювання прискорення становить до ± 16 g. Результат вимірювання подається у вигляді 16-розрядних чисел в додатковому коді через цифрові інтерфейси SPI або I2C [11].

Даний акселерометр ADXL345 ідеально підходить для використання в мобільних пристроях – він вимірює статичне прискорення (викликане гравітацією) в задачах визначення відхилення, або динамічного прискорення, викликане рухом або ударами. Заявлена висока чутливість акселерометра – $4 \cdot 10^{-3}$ g/LSB, тому він дозволяє точно відслідковувати зміну відхилення менш ніж на 1.0° . Режим

зниженого енергоспоживання датчика дозволяє реалізувати інтелектуальне управління живленням системи. Зовнішній вигляд датчика наведено на рис. 5, а технічна характеристика в табл. 2.

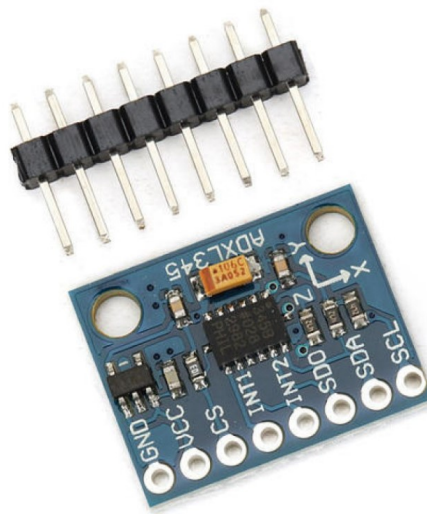


Рисунок 5 – Акселерометр ADXL345

Таблиця 2 – Технічна характеристика акселерометра ADXL345
Table 2 – Technical characteristics of accelerometer ADXL345

Параметр	Значення
Розміри	20x15мм
Діапазон вимірювання	+ / - 16g
Інтерфейси що підтримує	I2C, SPI
Чутливість	13bit, 4 мг / LSB
Діапазон робочих температур	-30 ... +60 °C
Робоча напруга	3 ... 5 V

Калібрування чипів ADXL здійснюється на фабриці до рівня точності, достатньої для більшості цілей. Для критичних сфер застосувань, де потрібна більша точність, можна встановити калібрування датчика самостійно. Калібрування не змінює вихід датчика. Але дозволяє визначити, який вихід датчика відповідає якій опорної вісі та в якому напрямі. Знаючи це, можна визначити виправлену вихідну величину зчитування датчика. Методика калібрування докладно описана в роботі [12] для роботи з платою потрібно використовувати відповідні набори бібліотек з командами, їх можна завантажити за посиланнями [13, 14].

3. Bluetooth модуль HC – 06, забезпечує безпроводне підключення Arduino Uno до інших пристроїв за bluetooth каналом зв'язку. Зовнішній вигляд модуля наведено на рис. 6, а його технічна характеристика в табл. 3 [15, 16].

Модуль HC – 06 працює в пасивному режимі, тобто спочатку потрібно виконати команду пошуку на керуючому (Master) пристрої (ноутбук, телефон), знайти пристрій HC – 06 (за замовчуванням його ім'я HC – 06), після цього в Майстер-пристрої з'явиться послідовний порт, в подальшому все що буде надіслано до нього з'явиться на вашому Arduino Uno, і навпаки, все що Arduino Uno надішле вам буде прийнято на вашому пристрої. Якщо необхідно, можна налаштувати всі параметри модуля за допомогою AT команд, які наведено в роботі [17]. Приклад роботи з модулем HC – 06 наведено в статті [18].

Зручніше за все підключити модуль HC – 06 через перехідник USB-Serial до комп'ютера, підключитися терміналом до створеного послідовного порту на швидкості 9600 і спробувати відправити тестову AT команду "AT" (важливо: відсилати треба саме великі літери, інакше модуль не відповість), у відповідь має прийти "OK", якщо це так значить все налаштовано вірно, якщо у відповідь нічого не прийшло, треба перевірити підключення, зокрема чи правильно підключені лінії Rx та Tx, та чи правильно подано живлення (при включенні, на модулі HC – 06 мають блимати світлодіоди).



Рисунок 6 – Bluetooth модуль HC – 06
Figure 6 – Bluetooth module HC – 06

Таблиця 3 – Технічна характеристика Bluetooth модуля HC – 06
Table 3 – Technical characteristics of Bluetooth module HC – 06

Параметр	Значення
Розміри	50x33 мм
Інтерфейси що підтримує	SPI
Діапазон робочих температур	-30 ... +60 °C
Робоча напруга	5 ... 10 В

4. Модуль SD карти пам'яті, керування модулем здійснюється за протоколом SPI. Модуль має вбудований лінійний стабілізатор напруги на 3.3В AMS1117-3.3. Всі виходи SD модуля карти пам'яті підключені до штирового роз'єму та мають позначення. Модуль SD карти пам'яті має два отвори для кріплення. Зовнішній вигляд модуля наведено на рис. 7, а його характеристика в табл. 4, [19]. З прикладом налаштування модуля карти пам'яті можна ознайомитися за посиланням [20].

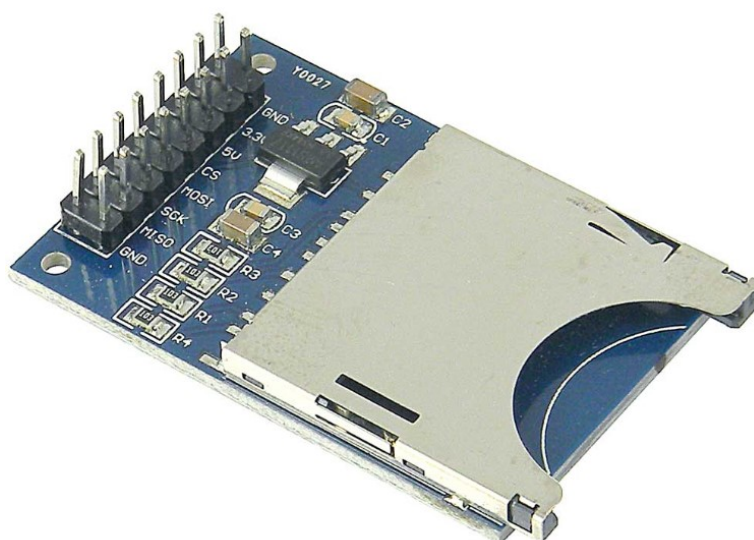


Рисунок 7 – Модуль SD карти пам'яті
Figure 7 – Module SD memory card

Таблиця 4 – Технічна характеристика модуля SD карти пам'яті
Table 4 – Technical characteristics of SD memory card module

Параметр	Значення
Розміри	50x33 мм
Інтерфейси що підтримує	SPI
Діапазон робочих температур	-30 ... +60 °C
Робоча напруга	5 ... 10 В

5. Літієва батарея для живлення електронних модулів фізичної моделі автомобіля має номінальну напругу 7,4 В.

Програмне забезпечення розробленої фізичної моделі автомобіля складається з програми записаної безпосередньо до пам'яті мікроконтролера Arduino Uno, Воно дозволяє вести діалог із користувачем, котрий вводить команди із сенсорного телефону або планшету та бази Android (рис. 8). Вимірянні дані про кут повороту керованих коліс, швидкість, прискорення за трьома координатними вісями зберігаються на SD карту пам'яті у цифровому вигляді безпосередньо в процесі руху моделі.

Алгоритм керуючої програми складається з двох функціональних частин, до першої частини відноситься код який здійснює керування рухом фізичної моделі та відповідає за обмін даними за Bluetooth каналом з мобільним пристроєм. Код цієї частини детально описаний в роботі доступною за посилання [21], інтерфейс програми на пристрої користувача наведено на рисунку 8. Додаток “Arduino Bluetooth RC Car” для встановлення на Android пристрій доступний для завантаження з Google Play за посиланням [22].

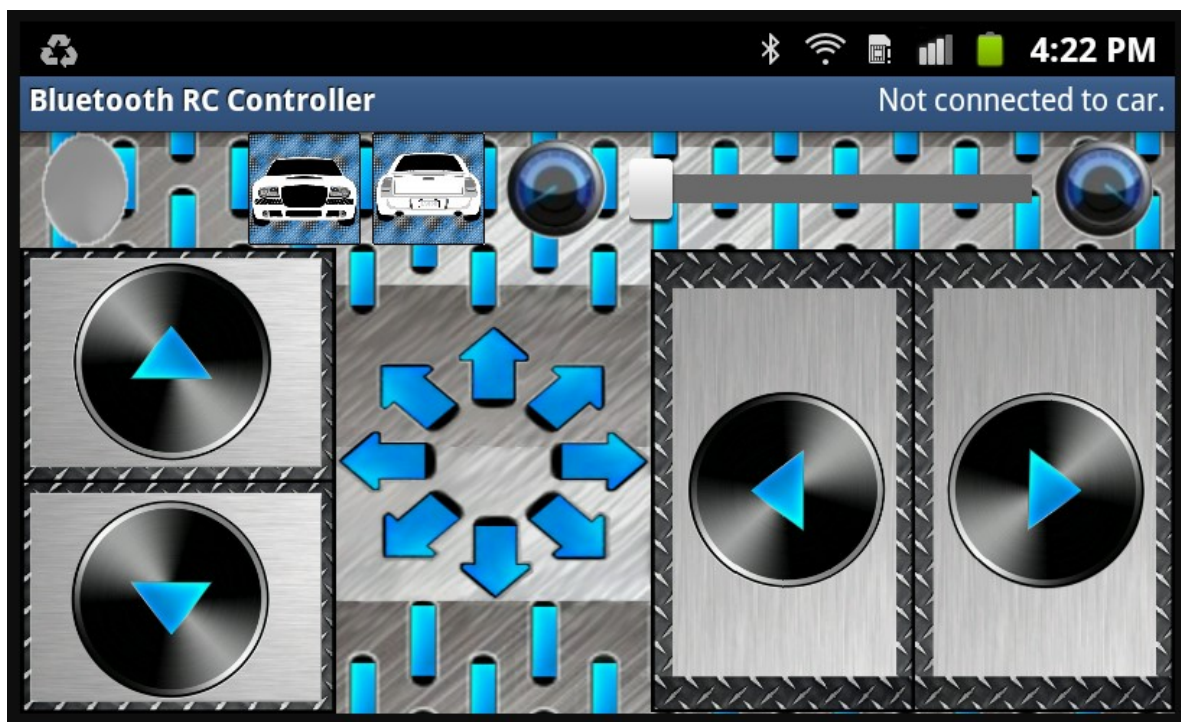


Рисунок 8 – Інтерфейс програми для Android пристрою
Figure 8– Interface program for Android device

Друга частина алгоритму присвячена проведенню вимірювально-реєструючих дій в процес руху фізичної моделі, цей код є розробкою кафедри автомобілів НТУ. Здійснюється реєстрація параметрів руху фізичної моделі автомобіля, а саме прискорення за трьома координатними вісями, кут повороту керованих коліс та швидкість, всі дані записуються в цифровому вигляді на карту пам'яті. В подальшому отримані дані обробляються на комп'ютері, проводиться їх аналіз та побудова відповідних графічних залежностей.

Висновки.

Розроблена самохідна масштабна фізична модель автомобіля, що відтворює легковий автомобіль категорії М1, з керованим колісним модулем та задньою ведучою віссю. Фізична модель обладнана вимірювальною, реєструючою та апаратурою дистанційного керування. Програмне забезпечення дозволяє реалізувати як ручне керування так і за заданим алгоритмом. Отримані результати зможуть дозволити вдосконалити не тільки математичну модель, а також експериментальну фізичну модель та перейти в подальшому до дослідження властивостей гібридних автопоїздів з активною причіпною ланкою.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дослідження керованості автомобіля на моделі з трьома ступенями свободи /М.В. Дячук, Д.І. Петренко // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2008. – № 6–7. – С. 55–59. – рис. 4. – Бібліогр.: (3 назв.).
2. Сахно В.П., Костенко А.В. Вибір факторів при плануванні експерименту для дослідження курсової стійкості руху // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Науковий журнал. – 2006. – №3. – С. 137-140.
3. Імітаційна модель руху транспортних засобів при маневруванні /Л.С.Абрамова, С.В.Капінус // Научно-технический сборник "Коммунальное хозяйство городов". Выпуск 69. Серия: Технические науки и архитектура. – С. 221 – 228. – Режим доступа: <http://eprints.kname.edu.ua/1691/>
4. Бриджмен П. Анализ размерностей. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. 2 –е изд., 148 с.
5. Седов Л. И. Методы подобия и размерности в механике. — 10-е изд., доп. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987 г. — 432 с.
6. Веников В.А., Веников Г.В. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики): Учебник для вузов по спец. «Кибернетика электр. систем». — 3-е изд., переработанное и доп. — М.: Высшая школа, 1984. — 439 с., ил.
7. Кирпичев М.В. Теория подобия. — Изд. АН СССР, 1953. — 94 с.
8. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. — М.: Высшая школа, 1976. — 479 с.
9. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике /Л.И.Седов// М.: Наука, 1967. – 428 с.
10. [Електронний ресурс]: Джерело. – Режим доступа: <https://arduino.ua/prod32-arduino-uno-rev3>
11. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL345.pdf>
12. Programming and Calibration [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://learn.adafruit.com/adxl345-digital-accelerometer/programming>
13. Бібліотека [Електронний ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/adafruit/Adafruit_ADXL345
14. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: https://github.com/adafruit/Adafruit_Sensor
15. DataSheet [Електронний ресурс]. – Режим доступа: https://arduino.ua/docs/BT0417C_datasheet.pdf
16. Джерело. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://arduino.ua/prod936-bluetooth-hc-06>
17. Список АТ-команд. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: https://arduino.ua/docs/BT0417C_ATcommand.pdf
18. Bluetooth-модуль HC-05. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://robocraft.ru/blog/electronics/587.html>
19. Джерело. [Електронний ресурс]. – Режим доступ: <https://arduino.ua/prod589-modyl-sd-card>
20. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://randomnerdtutorials.com/guide-to-sd-card-module-with-arduino/>
21. Bluetooth modules and Arduino code. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <https://sites.google.com/site/bluetoothreccar/home/3BluetoothModulesAndArduinoCode>
22. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: https://play.google.com/store/apps/details?id=braulio.calle.bluetoothRCcontroller&feature=search_result

REFERENCES

1. Investigation of car's handling on a model with three degrees of freedom / MV. Diachuk, D.I. Petrenko // Bulletin of the Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture. – Dnipropetrovsk: PSACEA, 2008. – № 6–7. – P. 55–59. – fig. 4. – ref.: (3 item.). [in Ukrainian].

2. Sakhno V.P, Kostenko A.V. Choice of factors when planning an experiment to study the exchange rate stability of the project management, system analysis and logistics. Scientific Journal. – 2006. – №3. – P. 137 – 140. [in Ukrainian].
3. Imitation model of vehicle movement under maneuvering / L.S Abramova, S.V Kapinus // Scientific and technical collection "Utilities of cities". Issue 69. Series: Technical Sciences and Architecture. – C. 221 – 228. – [Electronic resource]. – Access mode: <http://eprints.kname.edu.ua/1691/>. [in Ukrainian].
4. Bridgeman P. Dimensional analysis. – Izhevsk: SIC "Regular and chaotic dynamics", 2001. 2 – e ed., 148 p.. [in Russian].
5. Sedov L.I. Methods of similarity and dimension in mechanics. – 10th ed., Ext. – M.: Science. Ch. ed. Phys. – Math. Lit., 1987 – 432 p. [in Russian].
6. Venikov V.A., Venikov G.V. The theory of similarity and modeling (applied to the problems of the power industry): A textbook for universities on spec. "Cybernetics electr. systems. " – 3rd ed., Revised and dop. – M.: Higher school, 1984. — 439 p., fig. [in Russian].
7. Kirpichev M.V. Similarity theory. – Ed. USSR Academy of Sciences, 1953. – 94 p. [in Russian].
8. Venikov V.A. The theory of similarity and modeling. – M.: Higher School, 1976. — 479 p. [in Russian].
9. Sadov L.I. Methods of similarity and dimension in mechanics / L.I. Sedov // M.: Science, 1967. – 428 p. [in Russian].
10. Library [Electronic resource]. – Access mode: <https://arduino.ua/prod32-arduino-uno-rev3> [in Ukrainian].
11. Library. [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADXL345.pdf> [in English].
12. Programming and Calibration [Electronic resource]. – Access mode: <https://learn.adafruit.com/adxl345-digital-accelerometer/programming> [in English].
13. Library. [Electronic resource]. – Access mode: https://github.com/adafruit/Adafruit_ADXL345 [in English].
14. Library. [Electronic resource]. – Access mode: https://github.com/adafruit/Adafruit_Sensor [in English].
15. DataSheet. [Electronic resource]. – Access mode: https://arduino.ua/docs/BT0417C_datasheet.pdf [in English].
16. Library. [Electronic resource]. – Access mode: <https://arduino.ua/prod936-bluetooth-hc-06> [in English].
17. Lasting AT command. [Electronic resource]. – Access mode: https://arduino.ua/docs/BT0417C_ATcommand.pdf [in English].
18. Bluetooth module HC-05. [Electronic resource]. – Access mode: <http://robocraft.ru/blog/electronics/587.html> [in English].
19. Library. [Electronic resource]. – Access mode: <https://arduino.ua/prod589-modyl-sd-card> [in English].
20. Library. [Electronic resource]. – Access mode: <https://randomnerdtutorials.com/guide-to-sd-card-module-with-arduino/> [in English].
21. Bluetooth modules and Arduino code. [Electronic resource]. – Access mode: <https://sites.google.com/site/bluetoothrcar/home/3BluetoothModulesAndArduinoCode> [in English].
22. Library. [Electronic resource]. – Access mode: https://play.google.com/store/apps/details?id=braulio.calle.bluetoothRCcontroller&feature=search_result [in English].

РЕФЕРАТ

Тімков О.М. Розробка фізичної моделі автомобіля з дистанційним керуванням для експериментальних досліджень властивостей автомобілів / О.М. Тімков, Д.М. Ященко// Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

Стаття присвячена розробці фізичної моделі автомобіля, оснащеному вимірювальною, реєструючою та апаратурою дистанційного керування, для експериментального дослідження властивостей автомобілів. Детально описана конструкція фізичної моделі та використаних електронних модулів, наведено посилання на прикладні бібліотеки та код першої частини програми з дистанційного керування.

Метою дослідження є розробка фізичної моделі автомобіля, оснащення вимірювальною, реєструючою та апаратурою дистанційного керування, для експериментального дослідження властивостей автомобілів.

Матеріали та методи дослідження: розробка і проектування (експериментальні дослідження властивостей автомобілів на фізичній моделі); дистанційне керування; колісний керований модуль.

Розроблена самохідна масштабна модель автомобіля, що відтворює легковий автомобіль категорії М1, з керованим колісним модулем та задньою ведучою віссю. Модель обладнана необхідною вимірювально-реєструючою та апаратурою дистанційного керування. Програмне забезпечення моделі дозволяє реалізувати як ручне керування та і за заданим алгоритмом.

В подальшому планується розробка математичної моделі руху легкового автомобіля та перевірка її адекватності на розробленій фізичній моделі. Отримані результати зможуть дозволити вдосконалити не тільки математичну модель, а також експериментальну фізичну модель та перейти в подальшому до дослідження властивостей гібридних автопоїздів з активною причіпною ланкою.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОМОБІЛЬ, ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ, ЕКСПЕРИМЕНТ, ДОСЛІДЖЕННЯ, МОДУЛЬ, КАРТА ПАМ'ЯТІ, АКСЕЛЕРОМЕТР, ПРОГРАМА.

ABSTRACT

Timkov O.M., Yashchenko D.M. Development of physical model vehicle with remotional control for experimental studies of vehicle properties. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article is devoted to the development of the physical model of the vehicle, the equipment of the measuring, recording and remote control equipment for the experimental study of the properties vehicles. The construction of the physical model and the used electronic modules is described in detail, references are given to the application libraries and the code of the first part of the program for remote control. In the future, it is planned to develop a mathematical model of the movement of a passenger vehicle and to check its adequacy in conducting experimental studies on maneuverability on a physical model.

The aim of the article is developed the physical model of the vehicle, equipped with measuring, recording and remote control equipment, for the experimental study of the properties of vehicle.

Materials and research methods: development and designing (experimental research of properties of vehicles on the physical model); remote control; wheeled controlled module.

The self-propelled large-scale model of the vehicle, reproducing a passenger car of the category M1, with a controlled wheelbase and a rear drive axle, has been developed. The model is equipped with the necessary measuring and recording equipment and remote control equipment. The software of the model allows you to implement both control manual and the given algorithm.

In the future, it is planned to develop a mathematical model of the vehicle motion and to check its adequacy on the developed physical model. The obtained results will allow to improve not only the mathematical model, but also the experimental physical model and proceed further to the study of the properties of hybrid road trains with an active trailer link.

KEY WORDS: VEHICLE, PHYSICAL MODEL, EXPERIMENT, STUDY, MODULE, MEMORY CARD, ACCELEROMETER, PROGRAM.

РЕФЕРАТ

Тимков А.Н. Разработка физической модели автомобиля с дистанционным управлением для экспериментальных исследований свойств автомобиля/ А.Н. Тимков, Д.М. Яценко // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье рассмотрен вопрос разработки физической модели автомобиля который оборудован измерительной, регистрирующей и аппаратурой дистанционного управления, для экспериментальных исследований свойств автомобилей. Детально описана конструкция физической модели и использованных электронных модулей, приведены ссылки на прикладные библиотеки и программный код первой части программы дистанционного управления.

Целью исследования является разработка физической модели автомобиля оборудованного измерительной, регистрирующей и аппаратурой дистанционного управления для экспериментальных исследований свойств автомобилей.

Материалы и методы исследования: разработка и проектирование (экспериментальные исследования свойств автомобилей на физической модели); дистанционное управление; колесный управляемый модуль.

Разработана самоходная масштабная модель автомобиля которая имитирует легковой автомобиль категории М1 с управляемым колесным модулем. Модель оборудована необходимой измерительно-регистрирующей и аппаратурой дистанционного управления. Программное обеспечение физической модели позволяет реализовать не только ручное управление, но и по заданному алгоритму.

В дальнейшем планируется разработка математической модели движения легкового автомобиля и проверка ее адекватности на физической модели. Полученные результаты позволят усовершенствовать не только математическую модель, но также и экспериментальную физическую модель автомобиля и перейти в дальнейшем к исследованиям свойств гибридных автопоездов с активным прицепным звеном.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АВТОМОБИЛЬ, ФИЗИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ЭКСПЕРИМЕНТ, ИССЛЕДОВАНИЯ, МОДУЛЬ, КАРТА ПАМЯТИ, АКСЕЛЕРОМЕТР, ПРОГРАММА.

АВТОРИ:

Тімков Олексій Миколайович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри автомобілів, e-mail: alex_127@ukr.net, тел. +380442804252, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 306, orcid.org/0000-0002-7925-7030.

Ященко Дмитро Миколайович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри автомобілів, e-mail: y_d2@ukr.net, тел. +380442804252, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 306, orcid.org/0000-0003-3674-0089.

AUTHOR:

Timkov O.M., PhD, National Transport University, associated professor of automobile, e-mail: alex_127@ukr.net, tel. +380442804252, Ukraine, 01010, Kyiv, Omeljanovicha-Pavlenka str. 1, of. 306, orcid.org/0000-0002-7925-7030.

Yashchenko D.M., PhD, National Transport University, associated professor of automobile, e-mail: y_d2@ukr.net, tel. +380442804252, Ukraine, 01010, Kyiv, Omeljanovicha-Pavlenka str. 1, of. 306, orcid.org/0000-0003-3674-0089.

АВТОРЫ:

Тимков Алексей Николаевич, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, доцент кафедры автомобилей, e-mail: alex_127@ukr.net, тел. +380442804252, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляна-Павленко, 1, к. 306, orcid.org/0000-0002-7925-7030.

Ященко Дмитрий Николаевич, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, доцент кафедры автомобилей, e-mail: y_d2@ukr.net, тел. +380442804252, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляна-Павленко, 1, к. 306, orcid.org/0000-0003-3674-0089.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

Григоращенко О.В., кандидат технічних наук, спеціаліст з навчання, відділ сервісу ТОВ “Порше Україна”, Київ, Україна.

REVIEWER:

Sakhno V.P., Doctor of Engineering, Professor, Department, National Transport University, Head of the department automobile, Kyiv, Ukraine.

Grygorashenko O.V., Ph.D., Training specialist, Department of education and service “Porsche Ukraine” GmbH, Kyiv, Ukraine.

**УДОСКОНАЛЕННЯ БОРТОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ
АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНЕРЦІАЛЬНИХ ДАТЧИКІВ
ТА ІМОВІРНІСНО-ГЕОМЕТРИЧНИХ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ**

Топольський Є.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, topol@bigmir.net, orcid.org/0000-0001-5587-3069

Беляєвський Л.С., доктор технічних наук, Транспортна академія України, Київ, Україна, bls0522@meta.ua, orcid.org/0000-0002-3238-2272

Сердюк А.А., кандидат технічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ, Україна, aserdik@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0787-3889

**IMPROVEMENT OF NAVIGATION SYSTEMS OF VEHICLES BY MEANS OF INERTIAL SENSORS
AND INFORMATION PROCESSING USING PROBABILITY-GEOMETRIC METHODS**

Topolskov E.A., PhD, National Transport University, Kiev, Ukraine, topol@bigmir.net, orcid.org/0000-0001-5587-3069

Beljaevskiy L.S., Doctor of Technical Science, Transport Academy of Ukraine, Kiev, Ukraine, bls0522@meta.ua, orcid.org/0000-0002-3238-2272

Serdjuka A.A., PhD, National technical university of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute», Kyiv, Ukraine, aserdik@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0787-3889

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БОРТОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ
АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ И
ВЕРОЯТНОСТНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ**

Топольсков Е.А., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, topol@bigmir.net, orcid.org/0000-0001-5587-3069

Беляевский Л.С., доктор технических наук, Транспортная академия Украины, Киев, Украина, bls0522@meta.ua, orcid.org/0000-0002-3238-2272

Сердюк А.А., кандидат технических наук, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», Киев, Украина, aserdik@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0787-3889

Актуальність напрямку досліджень та постановка проблеми

Останніми роками спостерігається зростання зацікавленості в широкому застосуванні навігаційних систем автомобільного транспорту, що використовують глобальні навігаційні супутникові системи (ГНСС). Велике різноманіття приймачів сигналів ГНСС активно встановлюється на автотransпортні засоби (АТЗ) для особистих потреб і відпочинку, а також для вирішення комерційно-логістичних задач та при управлінні громадським транспортом. На сьогоднішній день переважна більшість АТЗ використовують лише технологію супутникової навігації, яка має певні обмеження та проблеми при експлуатації супутникових приймачів у несприятливих для радіонавігації умовах. Особливо це проявляється під час проведення моніторингу руху автотransпортних засобів у міських умовах, при русі автомобілів у тунелях, районах з висотною забудовою, або просто у щільному транспортному потоці. Періодична втрата сигналів навігаційних супутників або багатопромежне їх поширення, що викликані впливом внутрішніх (в самій навігаційній системі) та зовнішніх факторів (природних перешкод або навмисно створюваних завад) призводить до неточного визначення навігаційних параметрів автотransпортних засобів або взагалі неможливості їх визначення. У зв'язку з цим виникає необхідність удосконалення навігаційних систем автотransпортних засобів шляхом створення бортових навігаційних комплексів, що використовують окрім приймачів сигналів ГНСС додаткові апаратні засоби, зокрема механічні, акустичні та оптичні датчики, а також інерціальні навігаційні системи (ІНС). Останні роки багато ІТ компаній разом з конструкторськими бюро автовиробників, почали розробку та випробовування

складних бортових навігаційних комплексів, які забезпечують не тільки високоточне та безперебійне місцевизначення АТЗ, а ще й можливість автоматичного керування їх рухом у складних експлуатаційних умовах. Проте вартість практичної реалізації та надійність функціонування таких систем у найближчій перспективі не дозволять розпочати їх серййне виробництво та встановлення на АТЗ загального призначення. Тому на сьогоднішній день важливою практичною задачею є пошук економічно вигідних шляхів удосконалення бортових навігаційних систем АТЗ, що використовуються населенням у повсякденних задачах.

Шляхи вирішення проблеми

Першим напрямком забезпечення високоточної навігації для АТЗ, що не потребує значних економічних витрат, є застосування удосконаленого варіанту диференціального режиму, який був раніше запропонований авторами [1,2]. Це гарантовано дозволяє зменшити похибки визначення координат автотransпортних засобів до 3-4 м. при оптимальній геометрії розташування супутників (робоче сузір'я з 5-6 супутників та $HDOP < 2$) порівняно з похибками 10-20 м. у номінальному режимі. Єдиною додатковою вимогою по відношенню до звичайного варіанту навігаційної системи АТЗ, що працює у номінальному режимі, є наявність двостороннього online каналу з опорною станцією диференціального режиму. Враховуючи достатнє покриття та високу пропускну здатність сучасних 3G/4G мереж стільникового зв'язку, ця умова є абсолютно прийнятною і може бути легко реалізована для великої кількості АТЗ.

Другим напрямком є використання удосконалених методів та алгоритмів комплексної обробки надлишкової навігаційної інформації, що отримується від додаткових робочих сузір'їв навігаційних супутників ГНСС та додаткових навігаційних пристроїв АТЗ, наприклад, ІНС. Враховуючи можливості сучасних інтегрованих приймачів сигналів ГНСС працювати одночасно з декількома сузір'ями супутників різних систем, цей напрямок є дуже важливим та актуальним. Авторами публікації розроблено удосконалений імовірісно-геометричний метод та відповідні алгоритми обробки навігаційної інформації [4-6], що забезпечують суттєве зниження слабкорельованих складових похибок навігаційних вимірювань координат АТЗ. Даний метод дозволяє отримати результати на рівні калмановської фільтрації, але із значно меншими обчислювальними витратами та вищою стабільністю роботи [7]. Застосування розробленого методу стане особливо актуальним, коли будуть повністю введені в експлуатацію перспективні ГНСС Galileo та Compass. Це дасть можливість використовувати для навігаційних визначень одночасно 4-8 сузір'їв навігаційних супутників з декількох ГНСС.

Однак використання ефективних методів та алгоритмів обробки великої кількості навігаційних вимірювань від множини сузір'їв навігаційних орієнтирів також може бути недостатньо ефективним в експлуатаційних умовах з регулярним екрануванням (затінненням) радіосигналів. Тому важливою задачею є створення економічно вигідного бортового навігаційного комплексу АТЗ, що включає сучасний приймач ГНСС та ІНС. У такій системі навігація здійснюється на основі сигналів, що отримуються від датчиків транспортного засобу (одометрів, колісних датчиків АБС, гіроскопів і акселерометрів), а також даних ГНСС про місце розташування, швидкість і час, які в умовах стійкого радіозв'язку з навігаційними супутниками використовуються для уточнення параметрів ІНС.

Хоча бортовий навігаційний комплекс ГНСС+ІНС і вирішує основну проблему звичайної навігаційної системи АТЗ, яка використовує тільки приймач ГНСС, але при цьому постає питання забезпечення надійності функціонування ІНС та її економічної доцільності. Вартість високоточних та надійних інерційних датчиків (прецизійних гіроскопів), які використовуються, наприклад, в авіації, неприйнятна для їх широкого застосування на АТЗ загального призначення, а точність та надійність роботи дешевих датчиків є недостатньо високою. Тому у більшості випадків обробка сигналів від колісних датчиків (одометрів) і акселерометрів АТЗ, що входять до складу системи АБС сучасних АТЗ, є єдиним економічно вигідним і достатньо точним способом визначення навігаційних параметрів наряду із застосуванням приймача ГНСС.

Питання зниження вартості ІНС вирішується шляхом відмови від дорогих прецизійних гіроскопів та застосування методики визначення спрямовуючого кута АТЗ за даними бортового приймача ГНСС, а також приросту цього кута за даними двох акселерометрів та колісних датчиків АТЗ. Функціональна схема такого навігаційного комплексу зображена на рис.1.

Функціонування такого бортового навігаційного комплексу можна описати наступним чином.

Після запуску апаратури навігаційної системи в ній починають визначатись координати поточного положення АТЗ за допомогою приймача ГНСС (блок 7) та наближені прирости координат у квазіодометричному каналі (КОК) (блок 17), які потім уточнюються за результатами порівняння

модулів радіус-векторів (R) і спрямовуючих кутів (α) радіус-векторів від КОК і приймача ГНСС (блоки 10 і 11).

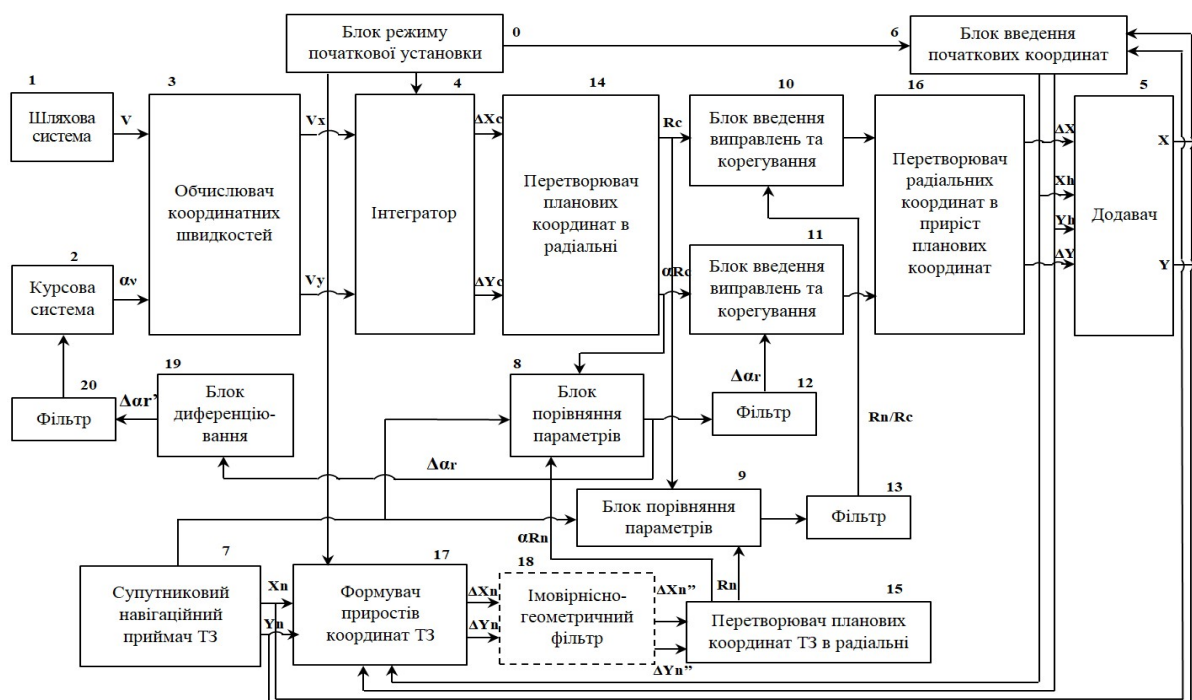


Рисунок 1 – Схема комплексної навігаційної системи, що використовує приймач ГНСС і спрощену ІНС

Figure 1 – Scheme of an integrated navigation system using GNSS receiver and simplified INS

Вихідні сигнали перетворювача радіальних координат у прирости планових координат (блок 16) мають вигляд:

$$\Delta X = R \cos \alpha_R, \quad \Delta Y = R \sin \alpha_R$$

Вихідні сигнали блоків введення виправлень і корегування 10 та 11 мають вигляд:

$$R = R_{\text{КОК}} k, \quad \alpha = \alpha_{\text{РКОК}} + \Delta \alpha$$

Вихідні сигнали блоків порівняння параметрів 8 та 9 мають вигляд:

$$k = \frac{R_{\text{ГНСС}}}{R_{\text{КОК}}}, \quad \Delta \alpha = \alpha_{\text{РГНСС}} - \alpha_{\text{РКОК}}.$$

Вихідні сигнали перетворювачів планових координат у радіальні 14 і 15 мають вигляд:

$$R_{\text{КОК}} = \sqrt{\Delta X_{\text{КОК}}^2 + \Delta Y_{\text{КОК}}^2}, \quad \alpha_{\text{РКОК}} = \arctg \frac{\Delta X_{\text{КОК}}}{\Delta Y_{\text{КОК}}},$$

$$R_{\text{ГНСС}} = \sqrt{\Delta X_{\text{ГНСС}}^2 + \Delta Y_{\text{ГНСС}}^2}, \quad \alpha_{\text{РГНСС}} = \arctg \frac{\Delta X_{\text{ГНСС}}}{\Delta Y_{\text{ГНСС}}}.$$

За нормальних умов поширення радіосигналу навігаційних супутників для позиціонування АТЗ використовується приймач сигналів ГНСС. При втраті сигналів навігаційних супутників або зниженні точності місцевизначення АТЗ блоки порівняння параметрів 8 та 9 блокуються і в блоках введення виправлень і корегування 10 та 11 залишаються останні значення k і $\Delta \alpha$. З цього моменту вихідні координати АТЗ вимірюються КОК. Оскільки у КОК використовуються неточне значення початкового спрямовуючого кута, що апріорно закладається у пам'ять блоку 0, то виправлення до нього зменшує його похибку.

Для вимірювання приросту спрямовуючого кута використовується той факт, що під час руху по криволінійній траєкторії кожна точка АТЗ рухається по траєкторії, зберігаючи певну кутову швидкість поворотання АТЗ:

$$\omega_{\text{АТЗ}} \approx \frac{V}{R_{\text{тр}}} = \frac{V}{\sqrt{(R_{\text{ц0}} + \Delta R_{\text{дш}})^2 + I_{\text{дш}}^2}}$$

де $R_{\text{ц0}}$ - радіус кривизни траси для центру поворотання АТЗ,

$\Delta R_{\text{дш}}$, $I_{\text{дш}}$ - віддаль датчиків швидкості від центру поворотання уздовж і поперек $R_{\text{ц0}}$,

$R_{\text{тр}}$ - радіус кривизни траєкторії АТЗ.

Різниця показів двох датчиків швидкості 16 і 17, встановлених у різних точках АТЗ дорівнює:

$$\begin{aligned} V_1 - V_2 &\approx \omega_{\text{АТЗ}} \left[\sqrt{(R_{\text{ц0}} + \Delta R_1)^2 + I_1^2} - \sqrt{(R_{\text{ц0}} + \Delta R_2)^2 + I_2^2} \right] = \\ &= \omega_{\text{АТЗ}} \left[R_{\text{ц0}} \sqrt{1 + 2 \frac{\Delta R_1}{R_{\text{ц0}}} + \frac{\Delta R_1^2 + I_1^2}{R_{\text{ц0}}^2}} - R_{\text{ц0}} \sqrt{1 + 2 \frac{\Delta R_2}{R_{\text{ц0}}} + \frac{\Delta R_2^2 + I_2^2}{R_{\text{ц0}}^2}} \right] = \\ &= \omega_{\text{АТЗ}} \left[R_{\text{ц0}} + \Delta R_1 + \frac{\Delta R_1^2 + I_1^2}{2R_{\text{ц0}}} - R_{\text{ц0}} - \Delta R_2 - \frac{\Delta R_2^2 + I_2^2}{2R_{\text{ц0}}} \right] = \omega_{\text{АТЗ}} (\Delta R_1 - \Delta R_2), \text{ а} \\ S_1 - S_2 &= \int_0^T (V_1 - V_2) dt = (\Delta R_1 - \Delta R_2) \Delta \alpha \end{aligned}$$

Звідси отримуємо вираз для визначення приросту спрямовуючого кута:

$$\Delta \alpha = \frac{\Delta S}{\Delta R_1 - \Delta R_2}$$

В якості датчиків швидкості можна використовувати одометри лівих та правих коліс, доплерівські датчики повздовжньої швидкості на лівій та правій стороні АТЗ або акселерометри з інтегровально-обчислювальним блоком 4.

Для підвищення точності оцінки приростів координат АТЗ (блок 17) авторами також пропонується застосування імовірно-геометричної фільтрації (блок 18), що працює за алгоритмами рекурентної обробки інформації, одержаної від множини сузір'їв навігаційних супутників різних ГНСС (GPS, Glonass, Galileo та Compass) та інерціальних датчиків АТЗ.

Кожна навігаційна підсистема (сузір'я навігаційних супутників чи група бортових навігаційних датчиків) забезпечує стандартизовану фігуру (формат) похибок у вигляді опуклих множин – еліпса, кола, прямокутника, квадрата, а в трьохвимірному евклідовому просторі – у вигляді об'ємних геометричних фігур: еліпсоїда, кулі, паралелепіпеда, куба та ін.), розміри яких визначаються заданою імовірністю оцінки місцезнаходження споживача (МС) (рис.2).

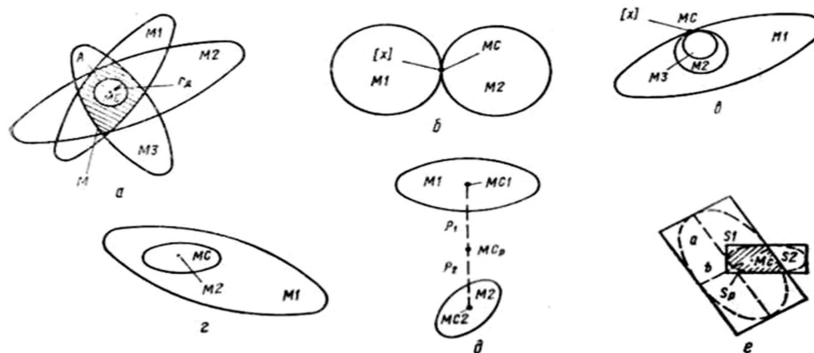


Рисунок 2 – Варіанти взаємного розташування форматів похибок позиціонування об'єктів
Figure 2 – Variants of relative layout of error formats in objects positioning

Кожний формат похибок являє собою геометричну фігуру, конфігурація якої визначається перетинами m -мірного тіла, що відображає заданий закон розподілу щільності ймовірностей похибок навігаційних визначень в цьому просторі. Для кожного формату існують свої найбільш імовірні координати МС, що визначаються з певним рівнем достовірності відповідно закону розподілу щільності конкретного формату похибок.

У практичних задачах навігації важливо оцінити імовірність правильного вибору, елементарного формату з припустимими розмірами, у межах якого розташовується об'єкт. При цьому доцільно використовувати геометричний підхід до обчислення імовірностей подій [7,8].

Пропонується один з варіантів побудови алгоритму рекурентної імовірнісно-геометричної обробки навігаційної інформації. Вихідними даними для роботи алгоритму є: координати місця розташування об'єкта на площині x_{0i}, y_{0i} (отримані, наприклад, з використанням МНК, МНМ, або за апіорними даними); формат похибок місцевизначення у виді прямокутника (рис. 2е) зі сторонами a, b , що апроксимує при нормальному законі розподілу похибок відповідний еліпс похибок, рівновеликий по площі, або описаний, та кут орієнтації великої сторони прямокутника α_i (великої осі еліпса) відносно осі ОХ (рис. 3).

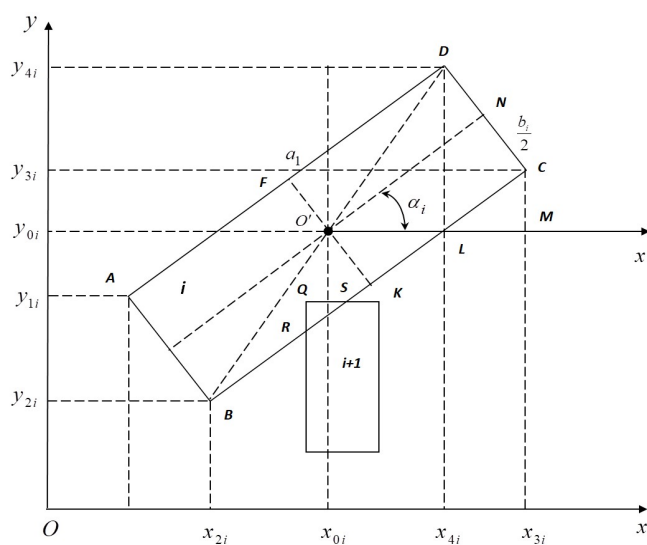


Рисунок 3 – Проектування форматів похибок позиціювання об'єктів
Figure 3 – Projection of error formats in objects positioning

Якщо площу формату елементарної комірки, що характеризує точність і дозвільну здатність РНС при визначенні координат об'єкта, позначити як S_H і виразити через площі більшого S_1 , меншого S_2 форматів, то імовірності перебування РО в межах кожного з них будуть відповідно дорівнювати P_H, P'_H, P''_H (при рівноімовірному влучанні об'єкта в будь-яку i -ю комірку), тобто:

$$P_{Hi} = S_i / S_1; \quad P'_{Hi} = S_i / S_2 = P_{Hi} (S_1 / S_2);$$

$$P''_{Hi} = S_i / S_p = P_{Hi} (S_1 / S_p).$$

Визначимо з рис. 3 координати вершин формату похибок через координати місця розташування (центра) x_{0i}, y_{0i} і кут орієнтації α_i . З трикутника $KO'L$ знайдемо

$$KL = 0,5b_i \operatorname{ctg} \alpha_i \quad (1)$$

З трикутника LCM , у якому $LC = a_i/2 - (b_i \operatorname{ctg} \alpha_i)/2$, визначимо:

$$CM = (a_i \sin \alpha_i)/2 - (b_i \cos \alpha_i)/2. \quad (2)$$

Тоді координата y_{3i} вершини C запишеться з урахуванням (2):

$$y_{3i} = y_{0i} + (a_i \sin \alpha_i)/2 - (b_i \cos \alpha_i)/2. \quad (3)$$

Аналогічно, з трикутників $KO'L$ і LCM , визначаючи $O'L$ і LM , знайдемо координату x_{3i} вершини C :

$$x_{3i} = x_{0i} + (a_i \cos \alpha_i)/2 + (b_i \sin \alpha_i)/2. \quad (4)$$

Таким чином, використовуючи (1)-(4), можна визначити координати усіх вершин формату похибок місцевизначення об'єкта:

$$\left. \begin{aligned} y_{ni} &= y_{0i} + \prod_{j=1}^n (-1)^j (a_i \sin \alpha_i)/2 + \prod_{i=1}^{n+3} (-1)^j (b_i \cos \alpha_i)/2; \\ x_{ni} &= x_{0i} + \prod_{j=1}^n (-1)^j (a_i \cos \alpha_i)/2 + \prod_{j=1}^{n+1} (-1)^j (b_i \sin \alpha_i)/2, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

де $i = \overline{1, m}$; $n = \overline{1, 4}$ - відповідно номер формату похибок і його вершини.

Далі, по відомих вершинах i -го формату похибок $\{x_{ni}, y_{ni}\}$; $i = \overline{1, m}$; $n = \overline{1, 4}$ визначимо рівняння сторін i -го формату. Як відомо [7,10], рівняння прямої, що проходить через дві точки з координатами x_i, y_i і x_{i+1}, y_{i+1} записується у такому виді

$$(x - x_i)(y - y_i) - (x_{i+1} - x_i)(y_{i+1} - y_i) = 0 \quad (6)$$

Відповідно до (6) визначаємо рівняння сторін i -го формату:

$$\left. \begin{aligned} y &= y_{0i} - \operatorname{ctg} \alpha_i x + \operatorname{ctg} \alpha_i x_{0i} + (-1)^{\frac{k+1}{2}} (a_i / 2 \sin \alpha_i), & k = 1, 3; \\ y &= y_{0i} + \operatorname{tg} \alpha_i x - \operatorname{tg} \alpha_i x_{0i} + (-1)^{\frac{j}{2}} (b_i / 2 \sin \alpha_i), & j = 2, 4, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

де $k = 1, 3$ відноситься до менших сторін i -го формату (a_i) (рис. 3), а $j = 2, 4$ - до більших (b_i).

Вирішуючи (7) для пар форматів, тобто для i -го і $(i+1)$ -го, з використанням методу Гауса або LU -розкладання [10], одержуємо чотири групи рівнянь, тобто 16 точок перетинання сторін i -го і $(i+1)$ -го форматів виду $\{x_{lm}, y_{lm}\}$; $l = \overline{1, 4}$; $m = \overline{1, 4}$, де l і m - сторони i -го і $(i+1)$ -го форматів відповідно:

$$\left\{ \begin{aligned} x_{1ki} &= \frac{C_{ki} + C_{ji+1}}{\operatorname{ctg} \alpha_i - \operatorname{ctg} \alpha_{i+1}}, & k = 1, 3; \\ y_{1ki} &= \frac{C_{ji+1} \operatorname{ctg} \alpha_i - C_{ki} \operatorname{ctg} \alpha_{i+1}}{\operatorname{ctg} \alpha_i - \operatorname{ctg} \alpha_{i+1}}, & j = 1, 3; \end{aligned} \right. \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{aligned} x_{2ki} &= \frac{C_{ki} - D_{ji+1}}{\operatorname{ctg} \alpha_i + \operatorname{tg} \alpha_{i+1}}, & k = 1, 3; \\ y_{2ki} &= \frac{C_{ki} \operatorname{tg} \alpha_{i+1} + D_{ji+1} \operatorname{ctg} \alpha_i}{\operatorname{ctg} \alpha_i + \operatorname{tg} \alpha_{i+1}}, & j = 2, 4; \end{aligned} \right. \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{3ki} = \frac{C_{ki} - D_{ji+1}}{tg\alpha_i + ctg\alpha_{i+1}}, \quad k = 2, 4; \\ y_{3ki} = \frac{C_{ki}tg\alpha_i + D_{ji+1}ctg\alpha_{i+1}}{ctg\alpha_{i+1} + tg\alpha_i}, \quad j = 1, 3; \end{array} \right. \quad (10)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{4ki} = \frac{D_{ki} - D_{ji+1}}{tg\alpha_{i+1} - tg\alpha_i}, \quad k = 2, 4; \\ y_{4ki} = \frac{D_{ki}tg\alpha_{i+1} - D_{ji+1}tg\alpha_i}{tg\alpha_{i+1} - tg\alpha_i}, \quad j = 2, 4. \end{array} \right. \quad (11)$$

У (8)-(11) kj -я координата відповідає перетинанню k -ї сторони i -го прямокутника і j -ї сторони $(i+1)$ -го прямокутника. Значення коефіцієнтів C_{ki}, D_{ki} визначаються як:

$$C_{ki} = y_{0i} + x_{0i}ctg\alpha_i + (-1)^{\frac{k+1}{2}} \frac{a_i}{2\sin\alpha_i}; \quad (12)$$

$$D_{ki} = y_{0i} - x_{0i}tg\alpha_i + (-1)^{\frac{j}{2}} \frac{b_i}{2\cos\alpha_i}. \quad (13)$$

За формулами (12) і (13) можна визначити масиви точок перетину сторін i -го і $(i+1)$ -го форматів (прямокутників), з яких вибирають точки, що належать завданим інтервалам відповідних сторін прямокутників (точки R і S). Потім шукають вершини i -го формату похибок, що належать $(i+1)$ -му формату (точка Q), і визначають координати вершин $\{x_l, y_l\}$; $l = \overline{1, f}$, результуючого багатокутника похибок ($f \geq 3$ - кількість вершин багатокутника).

Слід зазначити, що доцільність обробки i -го і $(i+1)$ -го форматів при $f < 3$ залежить від припустимої величини коефіцієнта кореляції між i -м і $(i+1)$ -м форматами, який можна розрахувати з урахуванням властивостей метричних відстаней:

$$r_{i,i+1} = \cos\Theta_{i,i+1} = (R_{mi}, R_{mi+1}), \quad (14)$$

де $r_{i,i+1}$ - коефіцієнт кореляції векторів до центрів i -го і $(i+1)$ -го форматів; $\Theta_{i,i+1}$ - кут між відповідними векторами; (R_{mi}, R_{mi+1}) - скалярний добуток векторів R_{mi} і R_{mi+1} .

На підставі виразу (14) з урахуванням $r_{\min g} \leq r_{i,i+1} \leq r_{\max g}$ можна оцінити доцільність обробки рознесених форматів (рис. 2д).

При $f \geq 3$ знаходять площу результуючого багатокутника і центр його ваги, тобто найбільш достовірні координати об'єкту:

$$x_0 = \sum_{i=1}^{f-2} x_i S_i / S_{\Sigma}; \quad y_0 = \sum_{i=1}^{f-2} y_i S_i / S_{\Sigma}, \quad (15)$$

де x_i, y_i - координати центра ваги i -х трикутників, з яких складається багатокутник (рис. 4);

$S_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{f-2} S_i$ - площа багатокутника; S_i - площа i -го трикутника (рис. 5), яку можна виразити через координати вершин:

$$S_i = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} x_{i+1} - x_i & y_{i+1} - y_i \\ x_{i+2} - x_i & y_{i+2} - y_i \end{vmatrix}. \quad (16)$$

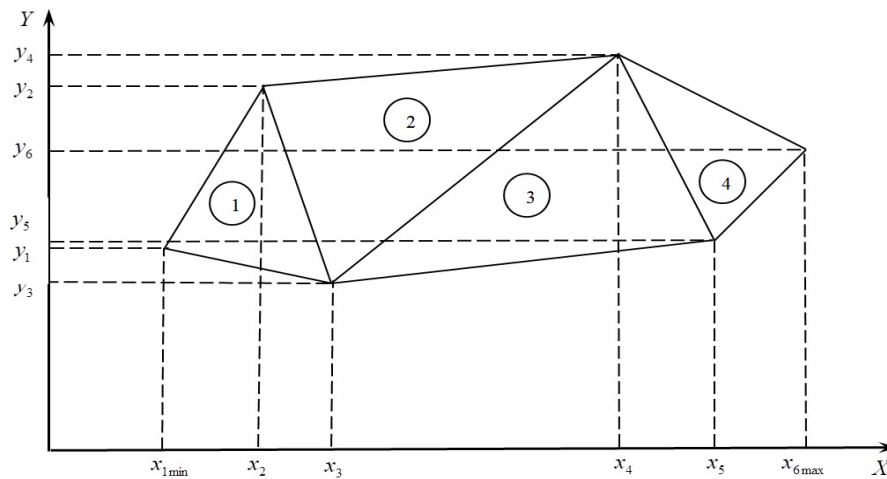


Рисунок 4 – Багатокутник похибок
Figure 4 – Polygon of errors

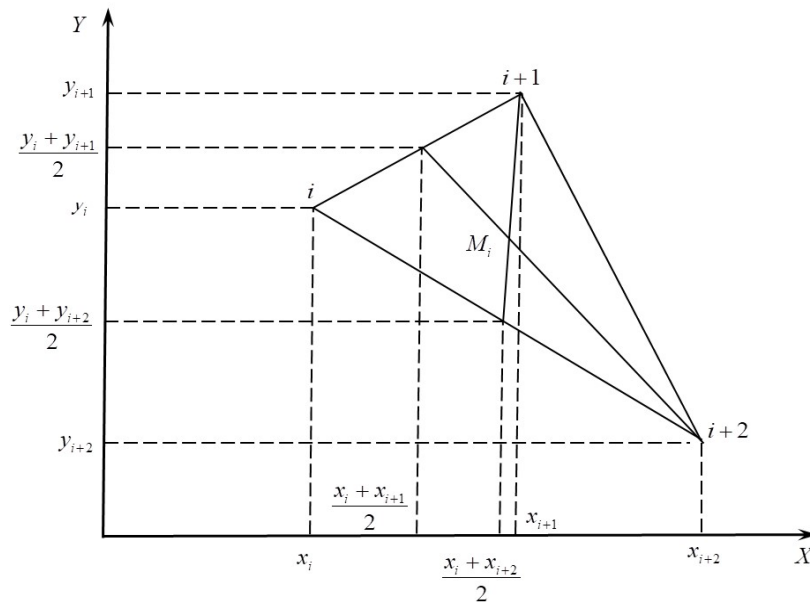


Рисунок 5 – Трикутник похибок
Figure 5 – Triangle of errors

Визначимо центр ваги i -го трикутника через координати вершин. Оскільки центр його ваги лежить на перетині медіан, то, вирішуючи систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{y - (y_i + y_{i+1})/2}{y_{i+2} - (y_i + y_{i+1})/2} = \frac{x - (x_i + x_{i+1})/2}{x_{i+2} - (x_i + x_{i+1})/2}, \\ \frac{y - (y_i + y_{i+2})/2}{y_{i+1} - (y_i + y_{i+2})/2} = \frac{x - (x_i + x_{i+2})/2}{x_{i+1} - (x_i + x_{i+2})/2}, \end{cases} \quad (17)$$

визначаємо координати центра ваги i -го трикутника:

$$\begin{cases} y_{mi} = \frac{C_{i,i+2}DA - C_{i,i+1}EB + d_{i+1,i+2}BA}{2(AD - BE)}; \\ x_{mi} = \frac{C_{i+2,i+1}DE - d_{i,i+2}BE - d_{i,i+1}AD}{2(AD - BE)}. \end{cases} \quad (18)$$

де:

$$\begin{aligned} C_{i,i+1} &= y_i + y_{i+1}; \\ C_{i,i+2} &= y_i + y_{i+2}; & A &= 2y_{i+2} - C_{i,i+1}; \\ d_{i+1,i+2} &= x_{i+1} - x_{i+2}; & B &= 2y_{i+1} - C_{i,i+2}; \\ C_{i+2,i+1} &= y_{i+2} - y_{i+1}; & E &= 2x_{i+2} - d_{i,i+1}; \\ d_{i,i+1} &= x_i + x_{i+1}; & D &= 2x_{i+1} - d_{i,i+2}; \\ d_{i,i+2} &= x_i + x_{i+2}; \end{aligned}$$

Наведені вище залежності дозволяють розробити алгоритм уточнення координат, що може бути реалізований у запропонованому ГНСС+ІНС бортовому навігаційному комплексі АТЗ. Для практичної реалізації удосконаленого навігаційного комплексу достатньо використати штатні інерціальні датчики і одометри АТЗ з сигнальними кабелями і цифровим інтерфейсом, звичайний приймач сигналів ГНСС та портативний комп'ютер (планшет чи комунікатор) для проведення комплексної обробки даних та відображення точного положення АТЗ на електронній карті у режимі реального часу. За наявності у складі комп'ютера телекомунікаційного пристрою з підтримкою стандартів GSM/GPRS або 3G/4G мереж можливо передавати точні координати АТЗ у віддалений центр моніторингу і диспетчерського управління автотранспортом.

Подальші напрямки досліджень

Наступною важливою задачею на шляху розвитку та удосконалення навігаційного забезпечення АТЗ є комп'ютерне імітаційне моделювання реальних експлуатаційних умов роботи бортових навігаційних комплексів та оцінка ефективності їх функціонування під час впливу внутрішніх та зовнішніх збурюючих факторів. Для вирішення цієї задачі авторами планується провести детальний аналіз збурюючих факторів, розробити імовірнісні моделі динаміки АТЗ і впливу експлуатаційних умов, а також провести випробування удосконаленого навігаційного комплексу АТЗ.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Беляєвський Л.С., Топольськов Є.О. Обґрунтування методик і алгоритмів просторово-часової обробки навігаційної інформації в автоматизованих супутникових системах управління наземним транспортом // Вісник Північного наукового центру ТАУ. – 2004. – Вип.7. – с.51-55.
2. Топольськов Є.О. Перспективи застосування методики відносної корекції координат для підвищення точності місцевизначення транспортних засобів. Управління проектами, системний аналіз і логістика. – К.: НТУ. – 2004. – Вип. 1. – С.53-56.
3. Баранов Г.Л., Беляєвський Л.С., Топольськов Є.О. та інші. Система диспетчерського управління рухомими об'єктами з використанням сигналів глобальної супутникової системи радіонавігації. Патент на винахід МПК(2006), G01S 5/14, UA №75709 (C2).
4. Беляєвський Л.С., Баранов Г.Л., Топольськов Є.О. Удосконалений варіант апаратно-програмного комплексу для автоматизованої системи моніторингу і диспетчерського управління наземним транспортом. Вісник Північного наукового центру ТАУ. – К., 2008. – Вип.11. – С.58-62.
5. Беляєвський Л.С., Топольськов Є.О., Сердюк А.А. Алгоритмізація процесів формування і вибору груп навігаційних параметрів в автоматизованих системах управління транспортом із використанням супутникових технологій. Автошляховик України: Окремий випуск. Вісник центрального наукового центру ТАУ. – К., 2011. – Вип.14, – С.34-36.
6. Беляєвський Л.С., Топольськов Є.О., Сердюк А.А. Імовірно-геометричні методи навігаційних визначень координат і траєкторій рухомих об'єктів / Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. – К.: НТУ, 2015. – Випуск 3. – С.141-148.
7. Беляевский Л.С., Новиков В.С., Олянюк П.В. Обработка и отображение радионавигационной информации. – М.: Радио и связь, 1990. – 232с.

8. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1964. – 576 с.
9. Кондрашихин В.Т. Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения. – М.: Транспорт, 1969. – 256 с.
10. Колмогоров А.Н., Фомин С.В. Элементы теории функций и функционального анализа. – Изд. 5-е. – М.: Наука, 1981. – 543 с.
11. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров: Пер. с англ. – М.: Наука, 1984. – 831 с.

REFERENCES

1. Beljaevskiy L.S., Topolskov E.O. Obgruntuvannya metodik I algoritmiv prostorovo-chasovoyi obrobki navigatsiynoyi informatsiyi v avtomatizovanih suputnikovih sistemah upravlinja nazemnim transportom // Visnik Pivnichnogo naukovoogo tsentru TAU. – 2004. – Vip.7. – s.51-55.
2. Topolskov E.O. Perspektivi zastosuvannya metodiki vidnosnoi korektsii koordinat dlya pidvishchennya tochnosti misceviznachennya transportnih zasobiv. Upravlinnya proektami, sistemnij analiz i logistika. – K.: NTU. – 2004. – Vip. 1. – С.53-56.
3. Baranov G.L., Beljaevskiy L.S., Topolskov E.O. ta inshi. Sistema dispatchers'kogo upravlinnya ruhomimi ob'ektami z vikoristannyam signaliv global'noi suputnikovoi sistemi radionavigacii. Patent na vinahid MPK(2006), G01S 5/14, UA №75709 (C2).
4. Beljaevskiy L.S., Baranov G.L., Topolskov E.O. Udoskonalenij variant aparatno-programnogo kompleksu dlya avtomatizovanoi sistemi monitoringu i dispatchers'kogo upravlinnya nazemnim transportom. Visnik Pivnichnogo naukovoogo centru TAU. – K., 2008. – Vip.11. – S.58-62.
5. Beljaevskiy L.S., Topolskov E.O., Serdjuk A.A. Algoritmizatsija protsesiv formuvanja i viboru grup navigatsijnih parametriv v avtomatizovanih sistemah upravlinja transportom iz vikoristanjam suputnikovih tehnologiy. Autoshljahovik Ukraini: Okremiy vipusk. Visnik tsentralnogo naukovoogo tsentru TAU. – K., 2011. – Vip.14, 2011. – S.34-36.
6. Beljaevskiy L.S., Topolskov E.O., Serdjuk A.A. Imovirnisno-geometerichni metodi navigacijnih viznachen' koordinat i traektorij ruhomih ob'ektiv / Informacijni procesi, tekhnologii ta sistemi na transporti. – K.: NTU, 2015. – Vipusk 3. – S.141-148.
7. Belyaevskij L.S., Novikov V.S., Olyanyuk P.V. Obrabotka i otobrazhenie radionavigacionnoj informacii. – M.: Radio i svyaz', 1990. – 232s.
8. Ventsel E.S. Teorija verojatnostey. – M.: Nauka, 1964. – 576 s.
9. Kondrashihin V.T. Teorija oshibok i jejo primenenije k zadacham sudovozgdeniya. – M.: Transport, 1969. – 256 s.
10. Kolmogorov A.N., Fomin S.V. Elementi teorii funktsiy i funktsionalnogo analiza. – Izd. 5-je. – M.: Nauka, 1981. – 543 s.
11. Korn G., Korn T. Spravochnik po matematike dlja nauchnih rabotnikov i inzhenerov: Per. s angl. – M.: Nauka, 1984. – 831 s.

РЕФЕРАТ

Топольський Є.О. Удосконалення бортових навігаційних комплексів автотransпортних засобів з використанням інерціальних датчиків та імовірісно-геометричних методів обробки інформації / Є.О. Топольський, Л.С. Беляєвський, А.А. Сердюк // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТ, 2020. – Вип. 1 (46).

Забезпечення високої точності визначення координат і траєкторій руху об'єктів за вимірюваннями, що проводяться у навігаційних системах та комплексах, є актуальним завданням, що сприяє підвищенню безпеки та ефективності перевезень різними видами транспорту. Проте складні умови експлуатації автотransпортних засобів обумовлюють негативний вплив різних факторів на ефективність роботи бортових приймачів сигналів супутникових навігаційних систем, які на сьогоднішній день є основними навігаційними пристроями, що встановлюються на наземному транспорті. Встановлення на автомобілях загального призначення додаткових навігаційних пристроїв, що забезпечують підвищення якості навігаційного забезпечення, у більшості випадків є економічно невиправданим.

В статті розглядається економічно вигідні шляхи удосконалення бортових навігаційних систем автотransпортних засобів загального призначення, наводиться функціональна схема і принципи роботи комплексної навігаційної системи, що використовує приймач супутникових навігаційних систем і спрощений варіант інерціальної навігаційної системи.

Також наводяться обґрунтування методів мінімізації форматів похибок визначення координат і траєкторій рухомих об'єктів на основі обробки інформації у багатопозиційних, зокрема супутниково-інерціальних навігаційних системах та комплексах.

Отримані результати досліджень дають можливість розробити алгоритм уточнення координат, що може бути реалізований в удосконаленому бортовому навігаційному комплексі АТЗ.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: НАВІГАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ, ІНЕРЦІАЛЬНІ ДАТЧИКИ, НАВІГАЦІЙНІ ВИЗНАЧЕННЯ, ТОЧНІСТЬ ТА ДОСТОВІРНІСТЬ КООРДИНАТ І ТРАЄКТОРІЙ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ, ЕЛІПС ПОХИБОК, ІМОВІРНІСНО-ГЕОМЕТРИЧНІ МЕТОДИ.

ABSTRACT

Topolskov E.A., Beljaevskiy L.S., Serdjuk A.A. Improvement of navigation systems of vehicles by means of inertial sensors and information processing using probability-geometric methods. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

Providing high accuracy of the coordinates and trajectories of objects by measurements conducted in navigation systems and complexes is an urgent task, which improves safety and efficiency of different modes of transport. However difficult environmental conditions, where vehicles are commonly used, stipulate influence of different factors on performance of onboard satellite navigation receivers, which are used as basic navigation devices for ground vehicle nowadays. Setting on cars used for common purposes additional navigation devices, which provide better performance, in most cases is economically unreasonable.

Economically reasonable ways to improve onboard navigation complexes of vehicles, which are used for common purposes, are examined in this article. Functional diagram and principles of work of navigational complex, which uses the satellite navigation receiver and simplified variant of inertial navigation system is pointed as well.

Also, the justification of methods for minimizing the error formats of coordinates and trajectories of moving objects based on information processing in multipositional, in particular satellite-inertial navigation systems and complexes, is presented.

The obtained research results give an opportunity to develop an algorithm for coordinate refinement, which can be implemented in the improved on-board navigational complex of vehicle.

KEY WORDS: NAVIGATION SYSTEMS AND COMPLEXES, INERTIAL SENSORS, NAVIGATION DEFINITIONS, ACCURACY AND RELIABILITY OF COORDINATES AND TRAJECTORIES OF MOVING OBJECTS, ELLIPS OF ERRORS, PROBABILISTIC-GEOMETRIC METHODS.

РЕФЕРАТ

Топольсков Е.А. Усовершенствование бортовых навигационных комплексов автотранспортных средств с использованием инерциальных датчиков и вероятностно-геометрических методов обработки информации / Е.А. Топольсков, Л.С. Беляевский, А.А. Сердюк, // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

Обеспечение высокой точности определения координат и траекторий движения объектов по измерениям, проводимых в навигационных системах и комплексах, является актуальной задачей, что способствует повышению безопасности и эффективности перевозок различными видами транспорта. Однако сложные условия эксплуатации автотранспортных средств обуславливают негативное влияние различных факторов на эффективность работы бортовых приемников сигналов спутниковых навигационных систем, которые на сегодняшний день являются основными навигационными устройствами, устанавливаемыми на наземном транспорте. Установка на автомобилях общего назначения дополнительных навигационных устройств, обеспечивающих повышение качества навигационного обеспечения, в большинстве случаев является экономически неоправданной.

В статье рассматриваются экономически выгодные пути усовершенствования бортовых навигационных систем автотранспортных средств общего назначения, приводится функциональная схема и принципы работы комплексной навигационной системы, использующей приемник спутниковых навигационных систем и упрощенный вариант инерциальной навигационной системы.

Также приводятся обоснования методов минимизации форматив погрешностей определения координат и траекторий подвижных объектов на основе обработки информации в многопозиционных, в частности спутниково-инерциальных навигационных системах и комплексах.

Полученные результаты исследований позволяют разработать алгоритм уточнения координат, который может быть реализован в усовершенствованном бортовом навигационном комплексе автотранспортного средства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ, ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ, НАВИГАЦИОННЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ТОЧНОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ КООРДИНАТ И ТРАЕКТОРИЙ ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ, ЭЛЛИПС ПОГРЕШНОСТЕЙ, ВЕРОЯТНОСТНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ.

АВТОРИ:

Топольсков Євгеній Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: topol@bigmir.net, тел. (044)280-70-66, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 347а.

Беляєвський Леонід Степанович, доктор технічних наук, професор, академік ТАУ, Заслужений діяч науки і техніки України, двічі Лауреат Державної премії України, e-mail: bls0522@meta.ua, тел. (044)414-38-47, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 429.

Сердюк Анатолій Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», доцент кафедри систем керування літальними апаратами, e-mail: aserdik@gmail.com, тел. (044)204-83-14, Україна 03056, Київ, вул. Боткіна, 1, корпус 28, кімн. 308,

AUTHORS:

Topolskov E.A., Ph.D., associate professor, National transport university, associate professor of the department of information systems and technologies, e-mail: topol@bigmir.net, tel: (044)280-70-66, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, k. 347a.

Beljaevskiy L.S., doctor of technical sciences, professor, academician of the Transport Academy of Ukraine, Honored worker in scitech of Ukraine, twice winner of the State Prize of Ukraine, e-mail: bls0522@meta.ua, tel: (044)414-38-47, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, k. 429.

Serdjuka A.A., Ph.D., associate professor, National technical university of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, associate professor of the department of aircraft control systems, e-mail: aserdik@gmail.com, tel. (044)204-83-14, Ukraine 03056, Kyiv, Botkina street, 1, building 28, room. 308.

АВТОРЫ:

Топольсков Евгений Александрович, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры информационных систем и технологий, e-mail: topol@bigmir.net, тел. (044)280-70-66, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 347а.

Беляевский Леонид Степанович, доктор технических наук, профессор, академик ТАУ, Заслуженный деятель науки и техники Украины, дважды Лауреат Государственной премии Украины, e-mail: bls0522@meta.ua, (044)414-38-47, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 429.

Сердюк Анатолий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского», доцент кафедры систем управления летательными аппаратами, e-mail: aserdik@gmail.com, тел. (044)204-83-14, Украина, 03056, Киев, ул. Боткина, 1, корпус 28, комн. 308.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Івохін Є.В., доктор фіз.-мат. наук, професор, Київський національний університет ім.Тараса Шевченка, професор кафедри системного аналізу та теорії прийняття рішень факультету комп'ютерних наук та кібернетики, Київ, Україна.

Федін С.С., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри інформаційних систем і технологій, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Ivohin E.V., doctor of physical and mathematical sciences, professor, Taras Shevchenko National university of Kyiv, professor of department of systems analysis and decision theory, faculty of computer science and cybernetics, Kyiv, Ukraine.

Fedin S.S., doctor of technical sciences, professor, national transport university, professor of department of information systems and technologies, Kyiv, Ukraine.

СИСТЕМНА КОНЦЕПЦІЯ ЕНЕРГОРЕСУРСНОЇ СИНЕРГІЇ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ТЕХНОЛОГІЧНО-ІННОВАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ НА АВТОТРАНСПОРТІ

Хабутдінов Р.А., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, habutd1@gmail.com, orcid.org /0000-0002-1329-5739

SYSTEM CONCEPT OF ENERGY- RESOURCE SYNERGY AND METHODOLOGY OF TECHNOLOGICAL-INNOVATIVE MANAGEMENT ON MOTOR TRANSPORT

Khabutdinov R.A., doctor of engineering sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, habutd1@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-1329-5739

СИСТЕМНАЯ КОНЦЕПЦИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСНОЙ СИНЕРГИИ И МЕТОДОЛОГИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ-ИННОВАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ НА АВТОТРАНСПОРТЕ

Хабутдинов Р.А., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, habutd1@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-1329-5739

Актуальність і постановка задачі. В умовах конкурентної ринкової економіки актуальні комплексні стратегії управління виробничо-якісним функціонуванням ресурсно-технологічної бази автотранспорту (АТ) і його інноваційним розвитком на основі проектів високо-технологічного та інтенсивно-ресурсозберігаючого відтворення автотранспортних послуг (ВТІРВАТП) відповідно до концепції енергоресурсної синергії в структурно- функціональній організації автотранспортної системи (СФОАТС) [1]. Через геометричні розривності економіко-соціального (ЕС) простору країн продукція в пунктах їх виробництва і люди в місцях проживання є потенційними товарними $R_{мпт}$ і людськими $R_{мпл}$ ресурсами ЕС макросистеми (ЕСМ). В термінальній інфраструктурі автотранспортної системи (АВТС) вони перетворюються в вантажі і пасажери, які потрібно перетворити в реальні ресурси ($R_{мрт}$, $R_{мрл}$) ЕСМ шляхом виробництва і споживання транспортних послуг [2]. При цьому технологічні процеси транспортування потенційних ресурсів ЕСМ (вантажів і пасажирів), виробництва транспортних послуг і взаємодії ресурсних елементів АТ і його інфраструктур базуються на траєкторно-композиційній реалізації єдиного енергоресурсного (енергетичного та ресурсного) механізму функціонування АТ та матеріальної цілісності АВТС (ЕРМФАЦТС). На основі реалізації ЕРМФАЦТС триєдине призначення АВТС полягає в забезпеченні: а) масової транспортної інтеграції розривного ЕС простору шляхом траєкторно-композиційного використання ресурсів транспорту та його інфраструктур; б) інноваційного відтворення та споживання автотранспортних послуг на основі енергетичного перетворення ресурсів транспорту в) споживчо-орієнтованому і транспортно-технологічному перетворенні потенційних ресурсів ЕСМ $R_{мп}$ в реальні $R_{мр}$, за схемою— $[(R_{мпт}, R_{мпл}) \rightarrow (R_{мрт}, R_{мрл})]$ [2].

Комплексною метою розвитку АВТС і АТ є узгоджена реалізація концепції енергоресурсної синергії в СФОАТС і проектів ВТІРВАТП на АТ. Під концепцією АВТС розуміється сукупність способів цілісного розгляду СФОАТС і методів її вдосконалення відповідно до прийнятої наукової ідеї [1]. Суть такої ідеї полягає в забезпеченні кумулятивного ефекту від підвищення енергоресурсного якості автотранспортних послуг при реалізації проектів ВТІРВАТП і реалізації проектів модернізації підсистем АВТС з їхніми технологіями (автотранспортної, термінальної, трафіко-інформаційної та дорожньо-експлуатаційної) відповідно до системної концепції енергоресурсної синергії. При цьому необхідними умовами формування системно-концептуальної методології є врахування п'яти вимог:

а) використання нової гносеологічної парадигми АТ на основі його розгляду як сфери матеріального (але технологічно парадоксального) виробництва та інноваційного відтворення автотранспортних послуг [2];

б) врахування механізму ЕРМФАЦТС і енергоресурсної (тобто енергетичної і ресурсної) каузальності важливих категорій транспорту, як: технологія і операція, фізичний продукт АТ, процеси виробництва і відтворення автотранспортних послуг, техніко-технологічні інновації,

механізми взаємодії ресурсних елементів АТ і його інфраструктур відповідно до механізму матеріальної цілісності СФОАТС;

в) необхідності методологічного усунення парадоксальної фрагментарності технічних, організаційних, технологічних та економічних знань про транспортні процеси, зумовленої недоліками раніше прийнятої в теоріях організаційного [3] і економічного [3,4,6] аналізу транспортних процесів ВССК-парадигми (віртуально-спрощеної і сервісно-комерційної) знань про АТ як про просту сферу транспортного обслуговування;

г) використання принципів інноваційного та синергічного вдосконалення транспортних технологій і процесів [1,2,7,9], а також (СФОАТС) [1];

д) врахування виробничо-технологічних і гносеологічних особливостей процесів автомобільних перевезень, які формуються при траєкторній взаємодії технологічних ресурсів АТ- R_{TL} з ресурсними елементами термінальної (ТІ) R_{TI} і дорожньої (ДІ) R_{RI} інфраструктур АВТС [1,8,9].

Метою роботи є формування системно-синергетичної цільової функції управління проектами ВТІРВАТП виходячи з вищеназваних вимог і концепції енергоресурсної синергії в АВТС.

Виробничо-технологічними особливостями АТ і автомобільних перевезень є: а) велике розмаїття чинників транспортних процесів (конструктивно-технічних, дорожніх, транспортно-експлуатаційних, термінальних і технологічних); б) високі рівні траєкторної небезпеки і ресурсоемності транспортних операцій в умовах взаємодії технологічних ресурсів АТ- R_{TL} з лабільними ресурсними R_{RI} елементами дорожньої інфраструктури (ДІ) АВТС. До гносеологічних особливостей АТ відносяться: а) спрощеність, відсутність інноваційного «технологосу» і «системологосу» в математичних моделях транспортного і економічного аналізів; б) негативні прояви парадоксальності АТ як сфери матеріального виробництва у вигляді фрагментарності видів знань про транспортні процеси (технічних, організаційних, технологічних та економічних) [2,7,9]; в) парадоксальна фрагментарність проектних знань про етапи життєвого циклу автомобіля (створення машини- ринковий обіг як товару-експлуатація як ресурсно-технічного засобу транспортного виробництва) [9]. На ранніх етапах планування технологічно інноваційного розвитку автотransпортних процесів (АТП), АТ і СФОАТС з урахуванням системно-концептуальних вимог та вищеназваних особливостей автомобільних перевезень потрібно виходити з нової гносеологічної парадигми АТ на основі його розгляду як сфери матеріального (але технологічно парадоксального) виробництва та інноваційного відтворення автотransпортних послуг. Остання називається МПТІ-парадигмою АТ (матеріально-виробничою і технологічно-інноваційною). Під МПТІ-парадигмою АТ і АВТС розуміється система поглядів і принципів, а також вихідних теоретичних і методологічних передумов, на основі яких формуються теоретичний образ матеріально-цілісної АВТС, а також поняттєво-критеріальний апарат для інноваційного дослідження проектів ВТІРВАТП на АТ відповідно концепції енергоресурсної синергії в СФОАТС [2].

Існуюча методологія транспортного і економічного аналізу на АТ базується на віртуально-спрощеної і сервісно-комерційної-ВССК-парадигмі знань про АТ як сфері технологічно-консервативного транспортного обслуговування [3,4,6]. Відповідно до такої парадигми існуюча методологія виходить з п'яти принципів формування знань про квазітранспортні процеси: а) заперечення матеріальності і енергоресурсної каузальності механізмів функціонування АТ і цілісності АВТС; б) незмінності параметрів автомобілів, автотransпортних технологій і траєкторних елементів доріг; в) опису віртуальної транспортної операції і продукту АТ виходячи з інформаційного «чорно-ящикового» підходу [3,5]; г) спрощеного розгляду автомобіля як віртуально-рухомого кузова для вантажів і пасажирів [3,6]; д) нормативного списання цін технологічних ресурсів на умовні витрати за схемою віртуального транспортування вантажів і пасажирів в економіці АТ [6].

Далі, шляхом поглибленого аналізу наукової логіки поняттєво-критеріального апарату існуючої методології в ній виявлено п'ять аксіом-заперечень іманентних властивостей АТ і АВТС: а) заперечення технологічної парадоксальності АТ і фрагментарності видів знань про транспортні процеси і системи (технічних, організаційних, технологічних та економічних) ; б) заперечення матеріально-виробничої сутності автотransпортних технологій і операцій; в) заперечення техніко-технологічної та енергоресурсної каузальності процесів виробництва і відтворення автотransпортних послуг; г) заперечення техніко-технологічних інновацій на автотransпорті і в життєвому циклі автотransпортних послуг; д) заперечення єдиного енергоресурсного (енергетичного та ресурсного) механізму функціонування АТ та матеріальної цілісності АВТС (ЕРМФАЦТС). Аналіз сумарних негативних проявів названих принципів і заперечень дозволив оцінити гносеологічні можливості існуючої методології для вирішення проблеми інноваційного розвитку АТ та АВТС у вигляді

наступних висновків: а) в методології присутні глибинні суперечності між названими принципами і запереченнями, з одного боку, і актуальною проблемою управління технологічно інноваційним розвитком АТ відповідно до системної концепції енергоресурсної синергії, з іншого боку; б) методологія має ряд принципових недоліків, вона: нематеріальна, нетехнологічна, несистемна, невиробнича, нересурсна і неінноваційна [3,4,6]; в) проблема управління інноваційним розвитком АТ відповідно до системної концепції енергоресурсної синергії не може бути поставлена і вирішена з використанням існуючої методології.

Основна частина. Прийнято, що життєвий цикл автотранспортних послуг (ЖЦАТУ) складається з трьох етапів: а) маркетингового обґрунтування концептуальних якостей технічних ресурсів для проєктів ВТІРВАТІІ; б) експлуатаційного виробництва автотранспортних послуг і транспортного обслуговування суб'єктів ЕСМ; в) після-експлуатаційного обґрунтування концептуальних вимог до нового техніко-технологічного забезпечення майбутніх транспортних пропозицій. Концепція енергоресурсної синергії в АВТС забезпечується шляхом реалізації трьох підсистемних стратегій:

- а) інноваційного підвищення енергоресурсної якості автотранспортних послуг на АТ [1,2];
- б) термінального ресурсозбереження шляхом раціоналізації показників логістичних витрат і часу термінальних операцій в проєктах доставки партійних мас вантажів або пасажирів [3,6];
- в) дорожньо-транспортного ресурсозбереження шляхом мінімізації показників траєкторної конфліктності і транспортної проанергичності ділянок доріг [8].

Явище транспортної проанергичності дороги виникає при функціонуванні мікросистем «Водій-Автомобіль» в умовах траєкторно-конфліктної вулично-дорожньої мережі. Воно характеризується значним зменшенням (в 1,5..4 рази) ступеня використання конструктивно-технічних потенціалів продуктивності і енергоефективності автомобілів. Будь-які транспортні дисфункції ділянок доріг (низька якість дорожнього покриття, висока інтенсивність автомобільного трафіку, підвищена траєкторна конфліктність, нераціональні схеми світлофорного регулювання та організації трафіку) призводять до зростання величини показника транспортно-операційної анергичності автомобілів $K_{\text{тоа}} \rightarrow \max$. Закономірним наслідком такого зростання є підвищення ресурсоємності транспортних операцій [8,9]. Для можливості кількісної оцінки негативного впливу дорожньо-транспортних дисфункцій вводиться показник транспортної проанергичності $K_{\text{тпд}}$ дороги. Необхідною умовою системного і концептуального вдосконалення дорожньої інфраструктури (ДІ) є мінімізація показників траєкторної конфліктності ($n_{\text{тк}} \rightarrow \min$) і транспортної проанергичності ($K_{\text{тпд}} \rightarrow \min$) доріг.

Далі представлені структура АВТС, а також її функції. Сформована наступна множинна модель структури АВТС-М (АВТС):

$M(ABTC) \in (AT, TI, DMI, STI, ERMVIZ, SPRP, SPRTPI, MFC, MITPS, PFC, SF, KTS, PBF), (1)$

де: АТ – активна підсистема «Автотранспорт»; ТІ, ДМІ, СТІ-термінальна, дорожньо-мережева і сервісно-технічна інфраструктури (інфраструктурні підсистеми); ЕРМВІЗ – енергоресурсні механізми внутрішніх інтерфейсних зв'язків; СПРР-сегменти попиту ринків ресурсів (автомобілів, палива, водіїв і робітників); СПРТІ – сегменти пропозицій ринків автотранспортних послуг; МФС – мета функціонування системи; МІТРС – мета інноваційно-технологічного розвитку системи; ПФС – предмет функціонування системи; СФ – множина системних функцій; КТС- комплекс технологій системи; ПФС- множина підсистемних функцій (в підсистемах АТ, ТІ, ДМІ, СТІ).

Метою функціонування АВТС (МФС) є індивідуальна (в підсистемах АТ і ТІ) і масова (в підсистемах ДМІ, АТ) транспортна інтеграція розривного геометричного простору економіко-соціумної макросистеми (ЕСМ) відповідно до транспортного попиту, а також з урахуванням операційно-виробничих вимог (адаптивна продуктивність, траєкторна безпека, транспортна енергоефективність [2,7]) і термінально-сервісних (своєчасність доставки, збереження вантажів і пасажирів, низька собівартість [3]) вимог до процесів автомобільних перевезень. Метою управління інноваційно-технологічним розвитком АВТС (МІТРС) є довгострокова реалізація концепції ресурсно-синергетичної транспортної інтеграції ЕСМ в заданому транспортно-інфраструктурному просторі. З урахуванням [5,10] сформовано множина системних функцій СФ: СФ1-підсистемного і траєкторного ресурсозабезпечення; СФ2-транспортно-інтерфейсних композицій ресурсів підсистем (R_{TL} -технологічних АТ, R_{TI} -термінальних ТІ, R_{RI} - дорожньо мережевих ДМІ); СФ3-транспортної емерджентності (композиційне формування транспортно-технологічних процесів перевезень) з урахуванням регульованого трафіку автомобілів і пішоходів; СФ4-адресної транспортної інтеграції

розривного простору ЕСМ; СФ5-нейтралізації дисфункцій підсистем; СФ6-концептуальної модернізації підсистем і системних функцій; СФ7- модернізаційно-синергетичної еквівіальності (енергоресурсно-синергетична інтеграція заданого простору ЕСМ та інноваційне підвищення енергоресурсної якості транспортних послуг (ЕРЯТП).

Комплекс технологій системи-КТС складається з наступних видів: ТТ -транспортна, ТМТ-термінальна; ТІТ-транспортно-інформаційна; ТМІТ- термінально-інформаційна; ДБТ- дорожньо-будівельна; ДЕТ- дорожньо-експлуатаційна ТФІТ- трафіко-інформаційна; СТТ-сервісно-технічна. Ці технології входять в структури відповідних підсистем і спільно забезпечують реалізацію енергоресурсного механізму цілісності (ЕРМФАЦТС), а також системних функцій -СФ2, СФ3, СФ4. Разом з тим теорія ТТ і властивості її матеріально-виробничої компоненти -КТТ2 при вирішенні завдань стратегічного розвитку АТ та АВТС мають визначальне значення [4]. Крім того, реалізація високих ТТ (технічно прогресивних, енергоефективних і інтенсивно-ресурсозберігаючих) дозволить забезпечити як ресурсно-синергічне вдосконалення множин системних функцій СФ -АВТС і підсистемних ФА (на АТ), так і отримання інноваційного додаткового продукту на АТ (що є визначальною умовою майбутньої конкурентності АТ).

Активна підсистема АТ «Автотранспорт» призначена для задоволення транспортного попиту суб'єктів ЕСМ на основі якісного виробництва і технологічно інноваційного відтворення транспортних послуг з використанням нової методології концептуально-інноваційного та системно-синергетичного управління розвитком АТ. Метою такого управління є підвищення енергоресурсної якості транспортних послуг (ЕРЯТП) з урахуванням принципу системної енергоресурсної синергії, а також обмежень підсистем ТІ і ДМІ. Функціональна структура підсистеми АТ S_{AT} має наступний вигляд:

$$S_{AT} \in (\text{ДУНТ}, \text{РТБ}, \text{ТПП}) \quad (2)$$

де ДУНТ – децентралізована керуюча надбудова АТ (включає в себе власників капіталу, два види управлінських ресурсів R_{yt} для забезпечення: комерційних тактик функціонування АТ- R_{yT1} і стратегій інноваційного розвитку – R_{yT2}); РТБ-ресурсно-технологічна база АТ; ТПП – транспортно-технологічні процеси на АТ.

Як вид транспорту підсистема АТ забезпечує реалізацію шести своїх функцій (ФА): 1) ФА1-транспортне виробництво, до якого залучаються і енергетично перетворюються технологічні ресурси АТ – R_{TL} в його фізичний продукт W_{ϕ} , функція ФА1 виконується на основі транспортної технології (ТТ) і людино-машинний праці і при цьому формується емерджентна функція АВТС- СФ3; 2) ФА2 – транспортне обслуговування, яке є наслідком ФА1 і фіксується на основі спостереження за парами термінальних подій (відправка автомобіля P_O – його прибуття P_{II}); 3) ФА3- транспортний капіталообіг як схема циклічного руху оборотного і авансованого капіталу; 4) ФА4- ринкове ресурсозабезпечення ФА1 (купівля: технічних- R_T , енергетичних - R_E , трудових - R_L ресурсів АТ); 5) ФА5-довгострокове та інноваційно-технологічне відтворення транспортних послуг за принципом забезпечення техніко-технічної конкурентності майбутніх транспортних пропозицій, є проектною основою для реновації ФА1; 6) ФА6-технічне обслуговування і ремонт автомобілів (додаткова і неосновна функція для більшості автотранспортних підприємств). Предметом функціонування підсистеми АТ (ПФАТ) є реалізація перших п'яти функцій ФА1 ... ФА5 на основі ряду проектів: життєвого циклу транспортних послуг; концептуального та інноваційного вдосконалення компонентів АТ- S_{AT} (2) і транспортної технології (ТТ).

Під ТТ розуміється сукупність науково-описаних способів (людино-машинного, робото-машинного і енергоресурсного) якісного виробництва та інноваційного відтворювання автотранспортних послуг. Структура ТТ S_{TT} має такий вигляд [2,9]:

$$S_{TT} \in (\text{КТТ1}, \text{КТТ2}, \text{КТТ3.1}, \text{КТТ3.2}, \text{КТТ3.3}) , \quad (3)$$

де КТТ1 – сервісно-організаційна компонента ТТ на основі комерційних проектів автомобільної доставки вантажів або пасажирів; КТТ2 – ресурсно-технічна та матеріально-виробнича компонента ТТ; КТТ3.1 і КТТ3.2 – поняттєво-критеріальні апарати забезпечення компонент ТТ – КТТ1 і КТТ2); КТТ3.3- правила та інструкції для транспортних і термінальних операцій [2,8].

У структуру КТТ2 входять наступні елементи:

$$КТТ2 \in (M_{\Pi}, R_T, R_E, R_L, P_{RT}, P_L, P_M, ET, ETRP) , \quad (4)$$

де Мп-партіонні маси вантажів і пасажирів; R_T, R_E, R_L – носії технічних (автомобілі), енергетичних (паливо) і трудових (водії) ресурсів АТ, при їх з'єднанні в структурі автомобіля утворюються носії технологічних ресурсів АТ- $R_{TL}, R_{TL} \in (R_T \cap R_E \cap R_L)$; R_{RT} – комплекс властивостей автомобіля як носія технічних ресурсів транспорту (саморухома транспортна машина – R_{RT1} ; небезпечний об'єкт керування рухом – R_{RT2} ; перевізний засіб – R_{RT3} ; потенційний об'єкт технічного обслуговування – R_{RT4} ; знаряддя машинних впливів на середу руху – R_{RT5} ; конструктивно-технічна основа процесу перетворення ресурсів транспорту – R_{RT6} ; елемент типорозмірного ряду рухомого складу – R_{RT7} ; технологічний капітал АТ і джерело перевізного прибутку – R_{RT8}); Π_L – множина трудових процедур ТТ; Π_M – множина машинних процедур ТТ); ЕТ – процес транспортного перетворення енергії автомобіля; ЕТРП – процес енергетичного перетворення технологічних ресурсів транспорту в фізичний продукт АТ- W_Φ (феноменологічна основа транспортного виробництва).

Множина машинних процедур Π_M складається з наступних елементів:

$$\Pi_M \in (\Pi_{M1}, \Pi_{M2}, \Pi_{M3}, \Pi_{M4}, \Pi_{M5}, \Pi_{M6}, \Pi_{M7}), \quad (5)$$

де $\Pi_{M1} \dots \Pi_{M7}$ – машинні процедури ТТ: енергоперетворюючі – Π_{M1} ; трансмісійні- Π_{M2} ; тягово-зчіпні- Π_{M3} ; траєкторно-кінетичні – Π_{M4} ; траєкторно-орієнтаційні – Π_{M5} ; траєкторно-трансгресивні – Π_{M6} (забезпечення безпечних дистанцій на дорозі перед рухомим автомобілем); аераційно-токсикаційні – Π_{M7} .

Інноваційний розвиток ТТ забезпечується на основі проектної ідентифікації, обґрунтування та реалізації комплексу техніко-технологічних новацій – NVTT:

$$NVTT \in (NVKT, NVGT, NVTS, NVTL, NVET), \quad (6)$$

де NVKT – конструктивно-технічні новації в структурно-параметричній організації K_{jr} нового автомобіля; NVGT – нові параметри автомобіля як науково-технічного товару; NVTS – новації транспортного обслуговування в структурі КТТ1; NVTL – технологічні новації в структурі КТТ2; NVET – новації економіко-технологічні (підвищення додаткового продукту АТ і ЕРЯТП на основі енерго- і ресурсозберігаючої ТТ).

Модель модульної структурно-параметричній організації конструкції нового автомобіля (СПОКА) K_{jr} для аналізу NVKT і NVGT має такий вигляд [9]:

$$K_{jr}^N \in (x_{imp}^N, y_{iml}^N)_{jr}, \quad (7)$$

де – x_{imp}^N оновлена підмножина р-их параметрів m-го конструктивно-функціонального модуля в i-му пристрої СПОКА; N – верхній індекс ознаки інноваційності СПОКА; y_{iml}^N - оновлена підмножина l-их характеристик структури m-го конструктивно-функціонального модуля i-го пристрою СПОКА, ($i = 1, 2, 3, 4$), ($m = 1, 2, 3, 4$), ($l = l_1, l_2, l_3 \dots$); j – індекс класу рухомого складу ($j = 1, n_k$, де n_k – кількість класів автомобіля); r – індекс різновидів автомобіля в j-му класі ($r = 1, n_b$, де n_b – число варіантів автомобілів з реалізованими технічними новаціями).

Комплексний показник техніко-енергетичної і транспортної енергоефективності автомобіля $\Pi_E(K_{jr})$ як ресурсно технічного засобу виробництва з урахуванням моделі його структурно-параметричній організації K_{jr} визначається наступним чином:

$$\Pi_E(K_{jr}) = \frac{K_{VP}(K_{jr}, P_{d1}, P_{d2})}{K_{EP}(K_{jr}, P_{d1}, P_{d2})} \cdot \frac{\gamma_{ct}}{(\gamma_{ct} + \eta_q)} \rightarrow \max, \quad K_{jr} \rightarrow Var, \quad P_{d1} \rightarrow Var, \quad P_{d2} \rightarrow Var, \quad (8)$$

де K_{VP} і K_{EP} – енергетичні коефіцієнти швидкості автомобіля і його пробігу для розрахункового тестового маршруту (визначаються методом математичного моделювання тестових процесів енергетичного перетворення технологічних ресурсів транспорту R_{TL} в фізичний продукт W_Φ); P_{d1} і P_{d2} – властивості дороги як поверхні кочення і як комунікативного каналу; γ_{ct} і η_q – коефіцієнти використання вантажопідйомності (або місткості автобуса) автомобіля і його спорядженої маси.

Критерій (8) використовується для інноваційного аналізу новацій NVKT і NVGT, а також для вдосконалення СПОКА (7) і компонент КТТ2 (4). Предметом функціонування АВТС (ПФС) в моделі (1) є: підсистемне, композиційне і адресно-траєкторне забезпечення реалізації множини системних функцій СФ для комплексного перетворення технологічних ресурсів транспорту R_{TL} в його фізичний продукт W_Φ , а також потенційних ресурсів ЕСМ $R_{мп}$ в реальні $R_{мр}$. Схема ПФС має вигляд:

$$ПФС \in [(C\Phi \rightarrow real) for: (R_{TL}(\theta_{rn}) \rightarrow W_{\Phi}(\theta_{tm})) \rightarrow (R_{мп} \rightarrow R_{мп}(\theta_{tm}))], \quad (9)$$

де W_{Φ} – фізичний продукт транспорту [8,9]; θ_{rn} і θ_{tm} – дорожньо-мережева і термінальна траєкторії переміщення носіїв технологічних ресурсів R_{TL} транспорту; $\rightarrow$ – оператор зміни стану носіїв ресурсів; $R_{мп}$ і $R_{мп}$ – потенційні (до перевезень) і реальні (після перевезень) ресурси суб'єктів економіко-соціальної макросистеми (ЕСМ), на АТ – це вантажі та пасажирів.

Макросистемним результатом перетворень (9) є транспортна інтеграція розривного геометричного простору ЕСМ. При цьому в транспортних операціях використовуються не тільки технологічні ресурси транспорту R_{TL} , а й матеріальні ресурси двох інфраструктур АВТС: термінальні $-R_{TI}$ і дорожні $-R_{RI}$. Згідно матеріально-виробничої МПТІ-парадигми АТ його фізичний продукт W_{Φ} (це-маршрутна сукупність імпульсів кількості руху експлуатаційної маси автомобіля) створюється на основі керованих процесів ЕТРП-енергетичного перетворення технологічних ресурсів $R_{TL} \rightarrow W_{\Phi}$ в адаптивних транспортних операціях [2,9]. При цьому враховуються три операційно-виробничих вимоги: адаптивна продуктивність, траєкторна безпека і транспортна енергоефективність. У процесах виробництва продукту в транспортних операціях формуються матеріальні виробничі втрати технологічних ресурсів транспорту ΔR_{TL} , величина яких визначається кількістю фізичної продукту W_{Φ} , а не облікового продукту W_o (віртуальна транспортна робота -в ткм або в пкм- по переміщенню тільки партійних мас- нетто вантажів і пасажирів, як прийнято в існуючих методах сервісно-комерційного менеджменту [6,7]). Крім того, істотний вплив на величини виробничих втрат технологічних ресурсів транспорту ΔR_{TL} надають стани ділянок дороги [9]. Цей вплив враховується на основі визначення показника – m_a модернізаційної зміни транспортної проанергічності дороги $K_{ТПД}$ на заданому маршруті перевезень, $m_a(t) = K_{ТПД}(t) / K_{ТПД}(t_0)$, $m_a(t) < 1$.

Метою технологічно інноваційного підвищення енергоресурсного якості транспортних послуг ЕРЯТП є системно-кумулятивне зменшення витрат енергії та ресурсів АТ при виробництві і відтворенні транспортних послуг. Звідси випливає, що наявність композиційної взаємодії двох функцій транспорту $\Phi A1$ (виробнича) та $\Phi A2$ (сервісна) з множиною функцій АВТС СФ, дозволяє забезпечити концепцію енергоресурсної синергії в СФОТС з використанням методів МПТІ-парадигми АТ. Для аналізу транспортних ефектів енергоресурсної синергії в СФОТС раніше був сформований комплекс цих методів [1,2,7,8,9]. У цьому комплексі важливе значення має метод інноваційного підвищення енерготехнологічної ефективності проектів автомобільних перевезень виходячи з математичних моделей для аналізу енергоеквівалентних показників комплексної (енерготехнічної, організаційної та технологічної) ефективності транспортних процесів і енергоресурсної якості транспортних послуг (ЕРЯТП):

$$\begin{cases} K_w(K_{jr}, \Phi_e, NVTT, t) * W_{r0}(\Phi_e) \rightarrow max \\ K_s(K_{jr}, \Phi_e, NVTT, t) * S_{w0}(\Phi_e) \rightarrow min \end{cases}, \quad (10)$$

де W_{r0} і S_{w0} – показники годинної продуктивності рухомого складу і собівартості перевезень для поточного часу t_0 , які визначаються за віртуально-спрощеною розрахунковою схемою транспортного процесу і функціонування автомобіля як віртуально-рухомого кузова [3,6]; K_w і K_s – енергетичні коефіцієнти годинної продуктивності автомобілів як носіїв технічних ресурсів R_T АТ і собівартості інноваційного виробництва транспортних послуг в СФОТС [7,8]; Φ_e – множина експлуатаційних факторів віртуально-спрощеної розрахункової схеми транспортного процесу [3]; t - змінний час.

Комплексна цільова функція TFM_{RS} ресурсно-синергічного управління інноваційними проектами ТПРВАТУ на АТ з урахуванням фактору m_a модернізаційної зміни транспортної проанергічності доріг сформована з урахуванням моделей (1) – (10) і має наступний вигляд:

$$TFM_{RS} = \frac{PTh(NVTT, t)}{W_{r0} * T_{w0}} = (1 + \beta_R(NVTT, t)) \cdot [\frac{m_t(t)}{m_a(NVTT, t)} - m_s(NVTT, t) * \Phi_{од}] \rightarrow max, \quad (11)$$

де PTh – годинний транспортний прибуток; β_R – показник інноваційного приросту енергоресурсної віддачі технологічного проекту перевезень, при $\beta_R > 0$ реалізується проект за умови забезпечення ВТПРВАТП; $m_t(t)$ – коефіцієнт прогнозного приросту тарифу на 1 ткм - T_{w0} , $m_t > 1$; m_a – показник модернізаційного зменшення транспортної проанергічності дороги $K_{ТПД}$ на заданому маршруті перевезень, $m_a = K_{ТПД}(t) / K_{ТПД}(t_0)$ $m_a < 1$; m_s – показник інноваційного зменшення величини енергетичного коефіцієнта K_s собівартості виробництва транспортних послуг в СФОТС, $m_s(t) \leq 1$; $\Phi_{од}$

– економічний фактор поточної організації транспортного обслуговування (відношення величин собівартості перевезень і тарифу на перевезення -1 ткм (пкм) при $t = t_0$); $(1 + \beta_R(NVTT, t))$ - фактор інноваційного додаткового продукту АТ.

Модель (11) при системно-концептуальному управлінні інноваційними проектами на АТ забезпечує рішення чотирьох нових завдань розвитку: а) підвищення енергоресурсної якості транспортних послуг; б) формування проектів технологічно інноваційного та ресурсозберігаючого відтворення транспортних послуг; в) аналіз відповідності модернізаційних проектів елементів дорожньої і термінальної інфраструктур АВТС системної концепції енергоресурсної синергії; аналіз технологічно-інноваційного додаткового продукту автотранспорту.

Цільова функція стратегічного і системно-синергетичного менеджменту на АТ для і-го проекту розвитку TFSSM (i, t) (на основі моделі майбутнього прибутку в технологічно інноваційних проектах транспортних процесів) має наступний вигляд:

$$TFSSM(i, t) = (TFM_{RS(i)}(t) \cdot W_{G0(i)} \cdot T_{w0(i)}) \rightarrow \max, \quad i \in (1, N_{пр}), \quad TFM_{RS(i)} > 0, \quad (12)$$

де $N_{пр}$ – число варіантів технологічно інноваційних проектів стратегічного менеджменту на АТ.

Висновки. 1. Виявлені принципові (з точки зору забезпечення інноваційного розвитку транспортних технологій і процесів) недоліки існуючої теорії транспортного аналізу і менеджменту на АТ; вони обумовлені раніше прийнятими спрощеної парадигмою знань про транспорт як сфері комерційного транспортного обслуговування, а також аксіомою про незмінність параметрів автомобілів, транспортних технологій і доріг. 2. Сформовано: нова гносеологічна парадигма АТ, технологічно інноваційна концепція енергоресурсної синергії в транспортній системі та методологія її реалізації для вирішення проблеми управління розвитком АТ і АВТС. 3. Встановлено: єдиний енергоресурсний механізм матеріального функціонування транспортної системи і транспорту, їх структури і функції; виявлені способи інноваційного ресурсозбереження на автотранспорті і в інфраструктурних підсистемах. 4. Запропоновано комплекс методів для технологічно інноваційного управління енергоресурсною якістю транспортних послуг і для ресурсно-синергійного вдосконалення функцій транспортної системи. 5. Запропоновано аналітичну модель цільової функції стратегічного менеджменту на автотранспорті, яка забезпечує системну концепцію енергоресурсної синергії із урахуванням методологічних вимог і особливостей АТ як сфери матеріального виробництва. 6. На основі інноваційної парадигми рекомендується: а) на автомобільному транспорті реалізувати технологічно-інноваційні стратегії етапного підвищення енергоресурсної якості авторанспортних послуг; б) в дорожній інфраструктурі забезпечити мінімізацію показників траєкторної конфліктності і транспортної проанергічності ділянок доріг; в) в термінальній інфраструктурі – мінімізувати логістичні витрати з урахуванням енергоемності ланцюжків термінальних операцій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Хабутдінов Р.А., Хабутдінов А.Р. Концептуальна схема структурно-параметричної організації транспортної системи і технологічна ресурсно-синергія в ній / Р.А. Хабутдінов, А.Р. Хабутдінов // К.: Вісник НТУ.– вип. 17.–2008.– С 134-142.
2. Хабутдінов Р.А. Транстехнологічна парадигма і методологія новаційного управління автомобільними перевезеннями / Р.А. Хабутдінов// К.: Вісник НТУ.– вип.24.–2011.–част.2.–С 237-240.
3. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки /А.И. Воркут .– К.: Віща школа, 1986, 447 с.
4. Макконнел К. Экономикс: принципы, проблемы и политика / К. Макконнел, С. Брю.– пер. с англ. // М.: –Республика.– 1992.– 472 с.
5. Фрейдина Е.В. Исследование систем управления / Е.В. Фрейдина; под ред. Ю.В. Гусева// М.: Изд-во «Омега-Л» .– 2008.– 367 с.
6. Кононова Г. А. Экономика автомобильного транспорта / Г.А. Кононова. –3-е изд.– М.: Транспорт .– 2008.– 320 с.
7. Хабутдінов Р.А Методологія концептуально-новаційного управління технологічним розвитком автотранспорту/ Р.А. Хабутдінов// К.: Вісник НТУ.– вип.29.–2014.– С 409-414.
8. Хабутдінов Р.А. Методологічні основи транспортно-технологічної енергології / Р.А. Хабутдінов // Зб. наук. праць «Проблемі транспорту». К.: НТУ.–2006.–Вип.3.– С 164-168.
9. Хабутдінов Р.А. Энергоресурсна ефективність автомобіля. / Р.А. Хабутдінов, О.Я. Коцюк// К.: УТУ.–1997.– 197 с.

10. Сетров М.И. Основы функциональной теории организации / М.И. Сетров.– Л.: Наука.– 1972.– 163 с.

REFERENCES

- 1.Khabutdinov, R.A., Khabutdinov A.R. (2008) Konceptualna chema strukturno-funkcyonalnoi organizatsii transportnoi sistemi i tekhnologichna resurso-sinergia v nei [Conceptual scheme of structural - functional organization of the transport system and technological resource-synergy in it]. Kyiv, Visnyk NTU, 17, 134-142 (in Ukrainian).
2. Khabutdinov, R. (2011) Transportno tekhnologichna paradigma i metodologiya novatsiynogo upravlinnia na avtotransporti [Transport technological paradigm and methodology of novation management of motor-car transportations]. Kyiv, Visnyk NTU, 24.2, 237-240. (in Ukrainian)
- 3.Vorkut, A. (1986) Gruzovi avtomobilni perevozki [Road transport of goods]. Kyiv, High-school, p 447 p. (in Russian).
- 4.Macconel, K. Brue, S. (1992) Ekonomika: principi, problemi I politika [Economics: Principles, problems and politics]. Moscow, Republic, p 472 (in Russian).
5. Freidina, E. B. (2008) Isledovanie sistem upravleniya [Study of control systems]. Moscow, Omega-L Publishing House , p 367 (in Russian)
6. Kononova, G.A. (2008) Ekonomika avtomobilnogo transporta [Economics of automobile transport]. Moscow, Transport, p 320 (in Russian)
7. Khabutdinov, R. (2014) Metodologiya konceptualnogo i innovatsiynogo upravlinia tekhnologichnogo rozvitku avtotransportu [Methodology of conceptual innovation management of technological development of Road Transport]. Kyiv, Visnyk NTU, 29, 409-414 (in Ukrainian)
8. Khabutdinov, R. (2006) Metodologichni osnovi transportno-tekhnologichoi energologii [Methodological bases of transport-technological energology]. Scientific papers «Problem of transport», Kyiv, NTU, 3, 164–168. (in Ukrainian).
9. Khabutdinov, R., Kotsyk A. (1997) Energoresursna effektivnist avtomobilia [Energy-resource efficiency of car]. Kyiv, UTU, p 197. (in Ukrainian).
10. Setrov, M.I. (1972) Osnovi funktsionalnoi teorii organizatsii [Fundamentals of the functional theory of organization]. Leningrad, Nauka, p 163 (in Russian).

РЕФЕРАТ

Хабутдінов Р.А. Системна концепція енергоресурсної синергії та методологія технологічно-інноваційного управління на автотранспорті / Р.А. Хабутдінов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

У статті розглядаються концепція енергоресурсної синергії на автотранспорті і в автотранспортній системі, а також основні положення методології технологічно-інноваційного управління на автотранспорті. Запропоновано: нова гносеологічна парадигма АТ як сфери матеріального виробництва; технологічно інноваційна концепція енергоресурсної синергії в транспортній системі; комплекс методів для технологічно інноваційного управління енергоресурсною якістю транспортних послуг і для ресурсно-синергічного вдосконалення функцій транспортної системи і підсистеми «Автотранспорт»; аналітична модель цільової функції стратегічного менеджменту на автотранспорті. Встановлено єдиний енергоресурсний механізм функціонування автотранспорту та матеріальної цілісності автотранспортної системи. Виявлено способи інноваційного ресурсозбереження на автотранспорті і в інфраструктурних підсистемах.

Об'єкт дослідження-структурно-функціональна організація автотранспорту і автотранспортної системи.

Мета роботи формування системно-синергетичної цільової функції управління проектами ВТПРВАТП виходячи з вищезазначених вимог і концепції енергоресурсної синергії в АВТС.

Метод дослідження – теоретичний аналіз і синтез концептуальної цільової функції технологічно -інноваційного управління на автотранспорті з урахуванням концепції енергоресурсної синергії в АВТС.

Результати статті можуть бути використані для реалізації системно-синергетичного та концептуально-інноваційного менеджменту на автотранспорті і в інших підсистемах АВТС.

Прогнозні припущення про розвиток об'єкту дослідження – реалізація технологічно-інноваційного механізму енергоресурсної синергії на автотранспорті і в АВТС з урахуванням їх структур і функцій.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КОНЦЕПЦІЯ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ІННОВАЦІЇ, АВТОТРАНСПОРТ, СИСТЕМА, ФУНКЦІЇ, РЕСУРСИ, ЕНЕРГОРЕСУРНА СИНЕРГІЯ, ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ, ЯКІСТЬ ТРАНСПОРТНОЇ ПОСЛУГИ, УПРАВЛІННЯ.

ABSTRACT

Khabutdinov R.A. The systemic concept of energy-resource synergy and the methodology of technological innovation management in motor transport. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article discusses the concept of energy-resource synergy in motor transport and in the motor transport system, as well as the main provisions of the methodology of technological innovation management in motor transport. Proposed: a new epistemological paradigm of the motor transport as a sphere of material production; technologically innovative concept of energy-resource synergy in the transport system; a set of methods for technologically innovative management of energy – resource quality of transport services and for resource-synergistic improvement of the functions of the transport system and the subsystem "Motor transport"; analytical model of the target function of strategic management in motor transport. A single energy- resource mechanism for the functioning of motor transport and the material integrity of the motor transport system has been established. The ways of innovative resource saving on transport and in infrastructure subsystems are revealed.

The object of study is the structural and functional organization of motor transport and motor transport system.

The purpose of the work is the formation of a system-synergistic target function of project management at highly technological and intensively resource-saving transport services based on the innovative requirements and the concept of energy-resource synergy in the transport system.

The research method is a theoretical analysis and synthesis of the conceptual target function of the technology and innovation management in transport, taking into account the concept of energy-resource synergy in the transport system.

The results of the article can be used to implement system-synergistic and conceptual-innovative management in transport and in other subsystems.

Predicted assumptions about the development of the object of study are the implementation of a technologically innovative mechanism of energy-resource synergy in the motor transport and in the motor transport system, taking into account their structures and functions.

KEYWORDS: CONCEPT, TECHNOLOGICAL INNOVATIONS, MOTOR TRANSPORT, SYSTEM, FUNCTIONS, RESOURCES, ENERGY-RESOURCE SYNERGY, LIFE CYCLE, QUALITY OF TRANSPORT SERVICES, MANAGEMENT.

РЕФЕРАТ

Хабутдинов Р.А. Системная концепция энергоресурсной синергии и методология технологически-инновационного управления на автотранспорте / Р.А. Хабутдинов // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье рассматриваются концепция энергоресурсной синергии на автотранспорте и в автотранспортной системе, а также основные положения методологии технологически-инновационного управления на автотранспорте. Предложены: новая гносеологическая парадигма АТ как сферы материального производства; технологически инновационная концепция энергоресурсной синергии в транспортной системе; комплекс моделей и методов для технологически инновационного управления энергоресурсным качеством транспортных услуг и для ресурсно-синергического совершенствования функций транспортной системы и подсистемы «Автотранспорт»; модель целевой функции стратегического менеджмента на автотранспорте. Установлен единый энергоресурсный механизм функционирования автотранспорта и материальной целостности автотранспортной системы. Выявлены способы инновационного ресурсосбережения на автотранспорте и в инфраструктурных подсистемах.

Объект исследования – структурно-функциональная организация автотранспорта и автотранспортной системы.

Цель работы – формирование системно-синергической целевой функции управления проектами ВТИРВАТУ исходя из вышеназванных требований и концепции энергоресурсной синергии в АВТС.

Метод исследования – теоретический анализ и синтез концептуальной целевой функции технологически -инновационного управления на автотранспорте с учётом концепции энергоресурсной синергии в АВТС.

Результаты статьи могут быть использованы для реализации системно-синергического и концептуально-инновационного менеджмента на автотранспорте и в других подсистемах АВТС.

Прогнозные допущения о развитии объекта исследования – реализация технологически-инновационного механизма энергоресурсной синергии на автотранспорте и в АВТС с учётом их структур и функций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: КОНЦЕПЦИЯ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ, АВТОТРАНСПОРТ, СИСТЕМА, ФУНКЦИИ РЕСУРСЫ, ЭНЕРГОРЕСУРСНАЯ СИНЕРГИЯ, ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ, КАЧЕСТВО ТРАНСПОРТНОЙ УСЛУГИ, УПРАВЛЕНИЕ.

АВТОР:

Хабутдінов Рамазан Абдуллайович, доктор техн. наук, професор, Національний транспортний університет, зав. кафедри транспортних технологій, e-mail: habutd1@gmail.com, тел. +380962290869, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка,1, orsid.org/0000-0002-1329-5739.

AUTHOR:

Khabutdinov Ramazan A., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head. Department of Transport Technologies, e-mail: habutd1@gmail.com, tel. +380962290869, Ukraine, 01010, Kyiv, str. Omelyanovich-Pavlenko, 1, orsid.org/0000-0002-1329-5739.

АВТОР:

Хабутдинов Рамазан Абдуллаевич, доктор техн. наук, професор, Національний транспортний університет, зав. кафедри транспортних технологій, e-mail: habutd1@gmail.com, тел. +380962290869, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляновича-Павленко,1, orsid.org/ 0000-0002-1329-5739.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Мнацаканов Р.Г., доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден, e-mail: mnatsakanov@ukr.net, Київ, Україна.

Петрашевський О.Л., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, кафедра аеропортів, вул. Омеляновича-Павленка,1, тел. +380996092476, Київ, Україна.

REVIEWER:

Mnatcakanov R., Doctor of Technical Sciences Engineering (Dr.), professor, National Aviation University, department of maintaining the airworthiness of aircraft, Kyiv, Ukraine .

Petrashevski O., Doctor of Technical Sciences, professor, National Transport University, Department of Airports, Kyiv, str. Omelyanovich-Pavlenko, 1,Ukraine.

МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ТРАДИЦІЙНИХ КРИТЕРІЇВ

Хаврук В. О., Національний транспортний університет, Київ, Україна, khavruk@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4686-4109

MODEL OF MANAGEMENT OF STOCKS UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY WITH THE USE OF TRADITIONAL CRITERIA

Khavruk V. O., National Transport University, Kyiv, Ukraine, khavruk@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4686-4109

МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРАДИЦИОННЫХ КРИТЕРИЕВ

Хаврук В. А., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, khavruk@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4686-4109

Постановка проблеми.

Завдання аналізу й вибору ефективних рішень в умовах невизначеності при оптимізації систем управління ланцюгами постачань є винятково важливими.

При оптимізації параметрів моделей управління запасами усе більш затребуваними стають методи теорії прийняття рішень в умовах невизначеності. Це обумовлюється, передусім, необхідністю враховувати вплив різних зовнішніх випадкових чинників [1; 2].

Оскільки ці випадкові чинники дуже різноманітні, мають широке поширення і часто ймовірність настання таких випадкових подій відсутня, то використовують методи прийняття рішень в умовах невизначеності. Крім того, ці методи дозволяють менеджерам знаходити оптимальне рішення з урахуванням наявної системи переваг у особи, яка приймає рішення (ОПР). Це також істотно відбивається на затребуваності вказаних методів.

Аналіз літературних джерел свідчить, що проблема управління запасами є важливою і актуальною, яку розглядають з точки зору вибору оптимальних рішень, які приймають спеціалісти відділів логістики. Прийняття рішень, як правило, здійснюється в умовах невизначеності. Теорію прийняття рішень в умовах невизначеності і ризиків досліджують такі відомі науковці, як: Еддоус М., Стенсфілд Р. [3]; Мушик Э., Мюллер П. [4]; Бродецький Г. Л. [5; 6], А. И. Орлов [7], Розен В. В. [8] та інші.

При цьому, в науковій літературі більше уваги приділяється створенню страхових запасів як захисту від невизначеності і менше уваги надається методології прийняття рішень в умовах невизначеності. Зважаючи на це, доцільно провести додаткові дослідження даної проблематики.

Метою статті є аналіз моделі управління запасами в умовах невизначеності і з'ясування традиційних критеріїв на основі яких приймаються відповідні рішення.

Виклад основного матеріалу.

Методологія теорії прийняття рішень в умовах невизначеності припускає формалізацію сценарного підходу (для параметрів, значення яких заздалегідь не відомі). У форматі конкретних сценаріїв для випадкових подій менеджерів, якраз, і потрібні класичні формули, щоб орієнтувати особу, що приймає рішення (ОПР) на формалізацію економічно обґрунтованих стратегій, серед яких вимагається знаходити оптимальне рішення.

Основними етапами і процедурами для знаходження оптимального рішення при організації роботи системи управління запасами є: 1) формування повної групи подій; 2) формування переліку аналізованих альтернативних рішень ОПР; 3) побудова матриці корисності; 4) використання стратегії прийняття рішення на основі обраного критерію. Перші два етапи детально розглядаються в дослідженнях Бродецького Г. Л. [5, с. 230-235]. Проаналізуємо третій і четвертий етапи, які є найважливішими для прийняття відповідних рішень.

При наявності двох альтернативних постачальників ідентичної продукції, вихідними даними є: накладні витрати на кожне постачання і ціна продукції у постачальників; річні витрати на зберігання

і річне споживання продукції; ціна реалізації одиниці продукції. Повна група подій буде включати 16 подій, на основі яких можливо виділити шість альтернативних рішень. Після цього проводиться побудова матриці корисності, для прикладу розглянемо дані, наведені в [5, с. 235]. При розрахунках прибутку, який відповідає реалізації якої-небудь з подій $\{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{16}\}$ використовуються значення середин тих інтервалів, які характеризують відповідну зміну невідомих параметрів моделі управління запасами. Тому щодо кожної з вказаних подій представимо відповідні показники річного споживання і ціни реалізації продукції, які мають бути використані в розрахунках загального річного прибутку P_{ij} при формалізації матриці корисності: для ситуації $\theta_1 - (8000 \text{ і } 3,2)$; для ситуації $\theta_2 - (12000 \text{ і } 3,2)$; для ситуації $\theta_3 - (8000 \text{ і } 3,6)$; для ситуації $\theta_4 - (12000 \text{ і } 3,6)$; для ситуації $\theta_5 - (8000 \text{ і } 3,2)$; для ситуації $\theta_6 - (12000 \text{ і } 3,2)$; для ситуації $\theta_7 - (8000 \text{ і } 3,6)$; для ситуації $\theta_8 - (12000 \text{ і } 3,6)$; для ситуації $\theta_9 - (8000 \text{ і } 3,2)$; для ситуації $\theta_{10} - (12000 \text{ і } 3,2)$; для ситуації $\theta_{11} - (8000 \text{ і } 3,6)$; для ситуації $\theta_{12} - (12000 \text{ і } 3,6)$; для ситуації $\theta_{13} - (8000 \text{ і } 3,2)$; для ситуації $\theta_{14} - (12000 \text{ і } 3,2)$; для ситуації $\theta_{15} - (8000 \text{ і } 3,6)$; для ситуації $\theta_{16} - (12000 \text{ і } 3,6)$.

Відповідна матриця корисності $A = (P_{ij})$ представлена в табл. 1. Зауважимо, зокрема що показники очікуваного річного прибутку ($P_{11} - P_{16}$) для першого рядка вказаної матриці корисності (тобто стосовно події θ_1 , причому відповідно при рішеннях $X_1 - X_6$) розраховувалися з обліком наступних особливостей.

Якщо настає подія θ_1 (тобто подія, представлена ситуацією $- D \in [6000, 10000)$, $C_s \in [3; 3,4)$; $\alpha_{I+}=1$; $\alpha_{II+}=1$, коли річне споживання низьке при низькій ціні реалізації одиниці продукції, причому додаткові втрати прибутку, обумовлені претензіями до якості продукції обох постачальників відсутні), то при рішенні X_1 (в рамках якого ОПП орієнтується на передбачуване річне споживання D_2 , причому постачання передбачаються тільки від першого постачальника партіями обсягом

$q_1^* = \sqrt{\frac{2C_{01}D_2}{C_h}} = 730$) для відповідної величини річного прибутку отримуємо:

$$P_{11} = \alpha_{I+} \cdot C_{s2} \cdot D_2 - C_{01} \cdot D_2 / q_1^* - C_h \cdot q_1^* / 2 - C_{II+} \cdot D_2 = 1 \cdot 3,2 \cdot 8000 - 20 \cdot 8000 / 730 - 0,6 \cdot 730 / 2 - 3 \cdot 8000 = 1161,8.$$

Таблиця 1 – Матриця корисності для розглядуваної моделі [5, с. 235]

Table 1 – Matrix of utility for the model under consideration [5, p. 235]

Подія	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
θ_1	1161,8	5220,5	3021,8	1152,2	5213,2	3009,9
θ_2	1852,2	7925,3	4678,2	1863,3	7935,2	4691,9
θ_3	4361,8	8420,5	6221,8	4353,2	8413,2	6209,9
θ_4	6652,2	12725,3	9478,2	6663,3	12735,2	9491,9
θ_5	-1398,2	5220,5	1741,8	-1407,8	5213,2	1729,9
θ_6	-1987,8	7925,3	2758,2	-1976,7	7935,2	2771,9
θ_7	1481,8	8420,5	4781,8	1472,2	8413,2	4769,9
θ_8	2332,2	12725,3	7318,2	2343,3	12735,2	7331,9
θ_9	1161,8	-5019,5	-2098,2	1153,2	-5026,8	-2110,1
θ_{10}	1852,2	-7434,7	-3001,8	1863,3	-7424,8	-2988,1
θ_{11}	4361,8	-3099,5	461,8	4353,2	-3106,8	449,9
θ_{12}	6652,2	-4554,7	838,2	6663,3	-4544,8	851,9
θ_{13}	-1398,2	-5019,5	-3378,2	-1406,8	-5026,8	-3390,1
θ_{14}	-1987,8	-7434,7	-4921,8	-1976,7	-7424,8	-4908,1
θ_{15}	1481,8	-3099,5	-978,2	1473,2	-3106,8	-990,1
θ_{16}	2332,2	-4554,7	-1321,8	2343,3	-4544,8	-1308,1

Для інших елементів цього рядка матриці корисності, використовуючи аналогічний підхід, легко отримуємо наступні рівності:

$$P_{12} = \alpha_{II+} \cdot C_{s2} \cdot D_2 - C_{02} \cdot D_2 / q_2^* - C_h \cdot q_2^* / 2 - C_{II2} \cdot D_2 = 1 \cdot 3,2 \cdot 8000 - 15 \cdot 8000 / 630 - 0,6 \cdot 630 / 2 - 2,5 \cdot 8000 = 5520,5$$

$$P_{13} = (\alpha_{I+} + \alpha_{II+}) / 2 \cdot C_{s2} \cdot D_2 - C_{01} \cdot D_2 / (2 q_{3a}^*) - C_{02} \cdot D_2 / (2 q_{36}^*) - C_h \cdot (q_{3a}^* + q_{36}^*) / 2 - (C_{II1} + C_{II2}) / 2 \cdot D_2 = (1+1) / 2 \cdot 3,2 \cdot 8000 - 20 \cdot 8000 \cdot (2 \cdot 520) - 15 \cdot 8000 \cdot (2 \cdot 450) - 0,6 \cdot 970 / 2 - (3+2,5) / 2 \cdot 8000 = 3021,8.$$

$$P_{14} = \alpha_{I+} \cdot C_{s2} D_2 - C_{01} \cdot D_2 / q_4^* - C_h \cdot q_4^* / 2 - C_{II} \cdot D_2 = 1 \cdot 3,2 \cdot 8000 - 20 \cdot 8000 / 900 - 0,6 \cdot 900 / 2 - 3 \cdot 8000 = 1152,2.$$

$$P_{15} = \alpha_{II+} \cdot C_{s2} \cdot D_2 - C_{02} \cdot D_2 / q_5^* - C_h \cdot q_5^* / 2 - C_{II2} \cdot D_2 = 1 \cdot 3,2 \cdot 8000 - 15 \cdot 8000 / 770 - 0,6 \cdot 770 / 2 - 2,5 \cdot 8000 = 5213,2$$

$$P_{16} = (\alpha_{I+} + \alpha_{II+}) / 2 \cdot C_{s2} \cdot D_2 - C_{01} \cdot D_2 / (2 q_{6a}^*) - C_{02} \cdot D_2 / (2 q_{6b}^*) - C_h \cdot (q_{6a}^* + q_{6b}^*) / 2 - (C_{II} + C_{II2}) / 2 \cdot D_2 = (1+1) / 2 \cdot 3,2 \cdot 8000 - 20 \cdot 8000 / (2 \cdot 630) - 15 \cdot 8000 / (2 \cdot 550) - 0,6 \cdot 1180 / 2 - (3+2,5) / 2 \cdot 8000 = 3009,9. \text{ (для } P_{13} \text{ і } P_{16} \text{ вже виконані операції групування окремих доданків) [5, с. 234-235].}$$

При розрахунку інших рядків були використані рекомендовані правила підстановки параметрів [5, с. 229], що дозволяють швидко і легко визначати інші елементи матриці корисності на основі вже отриманих виразів для $P_{11} - P_{16}$. Результати розрахунків зведені відповідно в табл. 1.

Вибір оптимальної стратегії з урахуванням позиції ОПР до невизначеності кінцевого результату може здійснюватися на основі традиційних критеріїв. Вибір на основі максимінного критерію (ММ-критерій або критерій Вальда). Цільова функція максимінного критерію [5, с. 235; 9; 10]:

$$Z_{MM} = \max_j \{K_j\}, \quad (1)$$

$$\text{де } K_j = \min_i \{a_{ij}\}$$

(тут враховано, що для даної моделі матриця корисності транспонована).

Відповідні процедури оптимізації рішення у рамках цього критерію припускають:

- введення додаткового рядка для матриці корисності;
- її елементи (по стовпцях) заповнюються найгіршим показником (найменшим значенням прибутку для відповідного рішення);
- з усіх таких показників додаткового рядка визначається самий кращий (найбільший за величиною прибутку);
- відповідне рішення приймається в якості найкращого/оптимального.

Реалізація вказаних процедур представлена в табл. 2 [5, с. 236].

Таблиця 2 – Вибір найкращого рішення на основі максимінного критерію [5, с. 236]

Table 2 – Choosing the best solution based on the maximizing criterion [5, p. 236]

Подія	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
θ_1	1161,8	5220,5	3021,8	1152,2	5213,2	3009,9
θ_2	1852,2	7925,3	4678,2	1863,3	7935,2	4691,9
θ_3	4361,8	8420,5	6221,8	4353,2	8413,2	6209,9
θ_4	6652,2	12725,3	9478,2	6663,3	12735,2	9491,9
θ_5	-1398,2	5220,5	1741,8	-1407,8	5213,2	1729,9
θ_6	-1987,8	7925,3	2758,2	-1976,7	7935,2	2771,9
θ_7	1481,8	8420,5	4781,8	1472,2	8413,2	4769,9
θ_8	2332,2	12725,3	7318,2	2343,3	12735,2	7331,9
θ_9	1161,8	-5019,5	-2098,2	1153,2	-5026,8	-2110,1
θ_{10}	1852,2	-7434,7	-3001,8	1863,3	-7424,8	-2988,1
θ_{11}	4361,8	-3099,5	461,8	4353,2	-3106,8	449,9
θ_{12}	6652,2	-4554,7	838,2	6663,3	-4544,8	851,9
θ_{13}	-1398,2	-5019,5	-3378,2	-1406,8	-5026,8	-3390,1
θ_{14}	-1987,8	-7434,7	-4921,8	-1976,7	-7424,8	-4908,1
θ_{15}	1481,8	-3099,5	-978,2	1473,2	-3106,8	-990,1
θ_{16}	2332,2	-4554,7	-1321,8	2343,3	-4544,8	-1308,1
K_j	-1987,8	-7434,7	-4921,8	-1976,7	-7424,8	-4908,1

Найкраще для ОПР рішення при використанні максимінного критерію – рішення X_4 . Найближче, практично еквівалентне йому, альтернативне рішення у рамках цього критерію – рішення X_1 . Обидва ці рішення надають перевагу надійнішому постачальникові відносно можливих втрат прибутку, обумовлених претензіями до якості товару. Зауважимо, що такий вибір зроблений навіть незважаючи на дешевші постачання від іншого постачальника.

Необхідно вказати, що особливістю максимінного критерію є те, що вибране ним рішення забезпечує самий кращий гарантований результат, але тільки стосовно самого поганого варіанту

розвитку подій. Зрозуміло, такий підхід до ухвалення рішень відповідає крайній песимістичній позиції ОПР, оскільки при цьому можна втратити в прибутку стосовно багатьох можливих її реалізаціях при інших рішеннях.

Вибір на основі оптимістичного критерію (Н-критерій або критерій максимакса). Цільова функція оптимістичного критерію [5, с. 236; 9; 10]:

$$Z_H = \max_j \{K_j\}, \quad (2)$$

$$\text{де } K_j = \max_i \{a_{ij}\}$$

Відповідні процедури оптимізації рішення у рамках цього критерію припускають:

- введення додаткового рядка для матриці корисності;
- її елементи (по стовпцях) заповнюються самим хорошим показником (найбільшим значенням прибули для відповідного вирішення);

- з усіх таких показників додаткового рядка визначається самий кращий (найбільший за величиною прибутку);

- відповідне рішення приймається в якості найкращого.

Реалізація вказаних процедур представлена в табл. 3.

Найкраще для ОПР рішення при використанні оптимістичного критерію – рішення X_5 . Практично еквівалентним йому у рамках цього критерію можна рахувати рішення X_2 (порівняєте їх показники в останньому рядку табл. 3. Обидва ці рішення орієнтують ОПР на постачальника, для якого витрати на постачання і вартість товару будуть найменшими. Це, – незважаючи на можливі значніші витрати через якість товару, які у рамках цього критерію не враховуються. Іншими словами, неявно мається на увазі, що, вибираючи такий критерій ОПР, розраховує саме на сприятливий результат.

Необхідно зауважити, що особливістю вибору за оптимістичним критерієм є наступне. Обране цим критерієм рішення забезпечує найбільший з можливих результат прибутку. Але реалізація такого результату припускає відповідну реалізацію тільки найбільш сприятливої випадкової події з повної групи подій. Зрозуміло, роблячи ставку на таку окрему випадкову подію у рамках цього критерію (у нашому прикладі це були дві події θ_4 і θ_8) ОПР може значно втратити прибуток при можливих її несприятливих реалізаціях стосовно багатьох інших випадкових подій при інших рішеннях. Зокрема, зверніть увага на прибуток, що відповідає рішенням X_5 , при реалізації подій θ_9 , θ_{10} , θ_{13} , θ_{14} . Тим не менш, вибираючи такий критерій, ОПР як би вважає, що настане саме сприятлива подія.

Таблиця 3 – Вибір найкращого рішення на основі оптимістичного критерію [5, с. 237]

Table 3 – Choosing the best solution based on an optimistic criterion [5, p. 237]

Подія	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
θ_1	1161,8	5220,5	3021,8	1152,2	5213,2	3009,9
θ_2	1852,2	7925,3	4678,2	1863,3	7935,2	4691,9
θ_3	4361,8	8420,5	6221,8	4353,2	8413,2	6209,9
θ_4	6652,2	12725,3	9478,2	6663,3	12735,2	9491,9
θ_5	-1398,2	5220,5	1741,8	-1407,8	5213,2	1729,9
θ_6	-1987,8	7925,3	2758,2	-1976,7	7935,2	2771,9
θ_7	1481,8	8420,5	4781,8	1472,2	8413,2	4769,9
θ_8	2332,2	12725,3	7318,2	2343,3	12735,2	7331,9
θ_9	1161,8	-5019,5	-2098,2	1153,2	-5026,8	-2110,1
θ_{10}	1852,2	-7434,7	-3001,8	1863,3	-7424,8	-2988,1
θ_{11}	4361,8	-3099,5	461,8	4353,2	-3106,8	449,9
θ_{12}	6652,2	-4554,7	838,2	6663,3	-4544,8	851,9
θ_{13}	-1398,2	-5019,5	-3378,2	-1406,8	-5026,8	-3390,1
θ_{14}	-1987,8	-7434,7	-4921,8	-1976,7	-7424,8	-4908,1
θ_{15}	1481,8	-3099,5	-978,2	1473,2	-3106,8	-990,1
θ_{16}	2332,2	-4554,7	-1321,8	2343,3	-4544,8	-1308,1
K_j	6652,2	12725,3	9478,2	6663,3	12735,2	9491,9

Вибір на основі нейтрального критерію (N-критерій). Цільова функція нейтрального критерію [5, с. 237; 9; 10]:

$$Z_N = \max_j \{K_j\}, \quad (3)$$

$$\text{де } K_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{ij}$$

Таблиця 4 – Вибір найкращого рішення на основі нейтрального критерію [5, с. 238]

Table 4 – Choosing the best solution based on a neutral criterion [5, p. 238]

Подія	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
θ_1	1161,8	5220,5	3021,8	1152,2	5213,2	3009,9
θ_2	1852,2	7925,3	4678,2	1863,3	7935,2	4691,9
θ_3	4361,8	8420,5	6221,8	4353,2	8413,2	6209,9
θ_4	6652,2	12725,3	9478,2	6663,3	12735,2	9491,9
θ_5	-1398,2	5220,5	1741,8	-1407,8	5213,2	1729,9
θ_6	-1987,8	7925,3	2758,2	-1976,7	7935,2	2771,9
θ_7	1481,8	8420,5	4781,8	1472,2	8413,2	4769,9
θ_8	2332,2	12725,3	7318,2	2343,3	12735,2	7331,9
θ_9	1161,8	-5019,5	-2098,2	1153,2	-5026,8	-2110,1
θ_{10}	1852,2	-7434,7	-3001,8	1863,3	-7424,8	-2988,1
θ_{11}	4361,8	-3099,5	461,8	4353,2	-3106,8	449,9
θ_{12}	6652,2	-4554,7	838,2	6663,3	-4544,8	851,9
θ_{13}	-1398,2	-5019,5	-3378,2	-1406,8	-5026,8	-3390,1
θ_{14}	-1987,8	-7434,7	-4921,8	-1976,7	-7424,8	-4908,1
θ_{15}	1481,8	-3099,5	-978,2	1473,2	-3106,8	-990,1
θ_{16}	2332,2	-4554,7	-1321,8	2343,3	-4544,8	-1308,1
K_j	1807,0	1772,9	1600,0	1808,8	1774,2	1600,9

Відповідні процедури оптимізації рішення у рамках цього критерію припускають:

- введення додаткового рядка для матриці корисності;
- її елементи (по стовпцях) заповнюються середнім арифметичним показником (середнім значенням прибутку для відповідного вирішення у відповідному стовпці матриці);
- з усіх таких показників додаткового рядка визначається самий кращий (найбільший за середньою величиною прибутку);
- відповідне рішення приймається в якості найкращого.

Реалізація вказаних процедур представлена в табл. 4.

Найкраще для ОНР рішення при використанні нейтрального критерію – рішення X_4 . Крім того практично еквівалентним йому буде рішення X_1 . До речі, і для інших аналізованих рішень відповідні показники критерію дають дуже близькі результати.

Необхідно вказати, що особливістю нейтрального критерію є те, що вибиране цим критерієм рішення забезпечує найбільший очікуваний кінцевий економічний результат, в середньому, при великому числі реалізацій експерименту (які б не були реалізації випадкових подій з повної групи подій в кожному окремому експерименті). Проте при цьому неявно передбачається, що при використанні такого критерію ОНР:

- з одного боку, планує повторювати відповідну операцію бізнесу багаторазово;
- а з іншого боку, вважає (чи відповідно приймає у рамках моделі), що випадкові події, що формалізують повну групу подій, – рівноймовірні.

Вибір на основі критерію Севіджа (S-критерій). Цільова функція критерію Севіджа [5, с. 239; 9; 10]:

$$Z_s = \min_j \{K_j\}, \quad (4)$$

$$\text{де } K_j = \max_i \{l_{ij}\}; \quad l_{ij} = \max_j \{a_{ij}\} - a_{ij}$$

(тут враховано, що матриця корисності для аналізованої моделі транспонована).

Процедури оптимізації рішення у рамках цього критерію припускають спочатку побудову спеціальної допоміжної матриці, яка називається в теорії матрицею ризиків або матрицею втрат. А саме, її елементи, якраз, і визначаються приведеними вище формулами для l_{ij} . Ці елементи

характеризують відповідні втрати в прибутку відносно ідеальної або утопічної ситуації що умовно припускає, що ОПР завжди буде «знати» / «вгадувати», яка саме з ситуацій повної групи подій буде реалізована.

Таблиця 5 – Матриця втрат для вибору найкращого рішення за критерієм Севіджа [5, с. 239]
Table 5 – The loss matrix for choosing the best solution by the Savage criterion [5, p. 239]

Подія	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
θ_1	4058,7	0,0	2198,7	4068,3	7,4	2210,6
θ_2	6083,0	9,9	3257,0	6071,9	0,0	3243,3
θ_3	4058,7	0,0	2198,7	4067,3	7,4	2210,6
θ_4	6083,0	9,9	3257,0	6071,9	0,0	3243,3
θ_5	6618,7	0,0	3478,7	6627,3	7,4	3490,6
θ_6	9923,0	9,9	5177,0	9911,9	0,0	5163,3
θ_7	6938,7	0,0	3638,7	6947,3	7,4	3650,6
θ_8	10403,0	9,9	5417,0	10391,9	0,0	5403,3
θ_9	0,0	6181,3	3260,0	8,6	6188,6	3271,9
θ_{10}	11,1	9298,0	4865,1	0,0	9288,1	4851,4
θ_{11}	0,0	7461,3	3900,0	8,6	7468,6	3911,9
θ_{12}	11,1	11218,1	5825,1	0,0	11208,1	5811,4
θ_{13}	0,0	3621,3	1980,0	8,6	3628,6	1991,9
θ_{14}	11,1	5458,1	2945,1	0,0	5448,1	2931,4
θ_{15}	0,0	4581,3	2460,0	8,6	4588,6	2471,9
θ_{16}	11,1	6898,1	3665,1	0,0	6888,1	3651,4
K	10403,0	11218,1	5825,1	10391,9	11208,1	5811,4

Подальші процедури знаходження найкращого/оптимального рішення у рамках цього критерію (після побудови вказаної матриці ризиків або втрат) передбачають:

- введення додаткового рядка для матриці втрат;
- її елементи(по стовпцях) заповнюються самим гіршим показником (найбільшим значенням втрат в прибутку для відповідного вирішення при можливих різних реалізаціях випадкових подій формалізованої повної групи подій);
- з усіх таких показників додаткового рядка визначається найкращий (самий менший за величиною втрат в прибутку);
- відповідне рішення приймається в якості найкращого.

Реалізація вказаних процедур представлена в табл. 5.

Найкраще для ОПР рішення при використанні критерію Севіджа – рішення X_6 . Гідною альтернативою йому у рамках цього критерію виявляється тільки рішення X_3 (порівняйте їх показники K_j).

Зауважимо, що обидва ці рішення базуються на стратегії диверсифікації постачань між аналізованими постачальниками.

Відзначимо, що найкраще рішення за цим критерієм припускає (на відміну від розглянутих раніше критеріїв) саме диверсифікацію постачань між аналізованими постачальниками.

Як бачимо, дана стратегія дає найкращий гарантований результат у відповідному контексті(для величини втрат прибутку) саме при стратегії що припускає диверсифікацію ризиків таких втрат. Крім того, з теорії ухвалення рішень в умовах невизначеності добре відомо, що особливістю критерію Севіджа також є наступне. Лінії рівня вказаного критерію «націлені» або «орієнтовані» на «утопічну точку» поля корисності, якій відповідають найбільші значення прибутків / виручки стосовно кожній з можливих випадкових подій, що впливають на економічний результат. Зокрема, у зв'язку з цим окремо звернемо увагу на те, що найкраще рішення за цим критерієм, як видно з цього прикладу, припускає не просто диверсифікацію постачань між аналізованими постачальниками, але і орієнтує при цьому СВЛ на оптимістичніший сценарій реалізації попиту на товар.

Вибір на основі критерію Гурвиця (HW-критерій). Цільова функція критерію Гурвиця [5, с. 240; 9; 10]:

$$Z_{HW} = \max_j \{K_j\}, \quad (5)$$

де $K_j = c \cdot \min_i \{a_{ij}\} + (1-c) \cdot \max_i \{a_{ij}\}$; c – відповідний «ваговий» коефіцієнт, що приймає значення $c \in [0,1]$, причому вибір коефіцієнта c реалізує ОПР.

Необхідно нагадати, що у рамках даної моделі оптимальне рішення шукається по транспонованій матриці корисності. Відповідні процедури оптимізації рішення у рамках цього критерію в цьому випадку припускають:

- введення додаткового рядка для матриці корисності;
- її елементи(по стовпцях) заповнюються середнім арифметичним зваженим значенням для показників двох раніше представлених критеріїв, – саме максимального і оптимістичного критеріїв, причому параметр c – відповідний «ваговий» коефіцієнт для показника максимального критерію;
- з усіх таких середньозважених показників додаткового рядка визначається самий кращий (найбільший за величиною прибутку);
- відповідне рішення приймається в якості найкращого в рамках критерію Гурвиця при заданому відношенні ОПР до ризику відхилення результату на основі вибраного значення параметра c .

Таблиця 6 – Матриця втрат для вибору найкращого рішення за критерієм Гурвиця [5, с. 241]

Table 6 – The loss matrix for choosing the best solution by the Hurwitz criterion [5, p. 241]

Подія	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
θ_1	1161,8	5220,5	3021,8	1152,2	5213,2	3009,9
θ_2	1852,2	7925,3	4678,2	1863,3	7935,2	4691,9
θ_3	4361,8	8420,5	6221,8	4353,2	8413,2	6209,9
θ_4	6652,2	12725,3	9478,2	6663,3	12735,2	9491,9
θ_5	-1398,2	5220,5	1741,8	-1407,8	5213,2	1729,9
θ_6	-1987,8	7925,3	2758,2	-1976,7	7935,2	2771,9
θ_7	1481,8	8420,5	4781,8	1472,2	8413,2	4769,9
θ_8	2332,2	12725,3	7318,2	2343,3	12735,2	7331,9
θ_9	1161,8	-5019,5	-2098,2	1153,2	-5026,8	-2110,1
θ_{10}	1852,2	-7434,7	-3001,8	1863,3	-7424,8	-2988,1
θ_{11}	4361,8	-3099,5	461,8	4353,2	-3106,8	449,9
θ_{12}	6652,2	-4554,7	838,2	6663,3	-4544,8	851,9
θ_{13}	-1398,2	-5019,5	-3378,2	-1406,8	-5026,8	-3390,1
θ_{14}	-1987,8	-7434,7	-4921,8	-1976,7	-7424,8	-4908,1
θ_{15}	1481,8	-3099,5	-978,2	1473,2	-3106,8	-990,1
θ_{16}	2332,2	-4554,7	-1321,8	2343,3	-4544,8	-1308,1
K_j $c = 1$	-1987,8	-7434,7	-4921,8	-1976,7	-7424,8	-4908,1
K_j $c = 0,9$	-1123,8	-5418,7	-3481,8	-1112,7	-5408,8	-3468,1
K_j $c = 0,8$	-259,8	-3402,7	-2041,8	-248,7	-3392,8	-2028,1
K_j $c = 0,7$	604,2	-1386,7	-601,8	615,3	-1376,8	-588,1
K_j $c = 0,6$	1468,2	629,3	838,2	1479,3	639,2	851,9
K_j $c = 0,5$	2332,2	2645,3	2278,2	2343,3	2655,2	2291,9
K_j $c = 0,4$	3196,2	4661,3	3718,2	3207,3	4671,2	3731,9
K_j $c = 0,3$	4060,2	6677,3	5158,2	4071,3	6687,2	5171,9
K_j $c = 0,2$	4924,2	8693,3	6598,2	4935,3	8703,2	6611,9
K_j $c = 0,1$	5788,2	10709,3	8038,2	5799,3	10719,2	8051,9
K_j $c = 0$	6652,2	12725,3	9478,2	6663,3	12735,2	9491,9

Необхідно зауважити, що для знаходження середньозважених показників K_j додаткового рядка матриці корисності при використанні критерію Гурвиця зручно поступати таким чином. Заздалегідь можна заповнити два допоміжні додаткові рядки такої матриці з показниками додаткових рядків матриць корисності, що відповідають критеріям ММ і Н (позначимо такі показники далі через K_{MMj} і K_{Hj} відповідно). Після цього показники K_j додаткового рядка матриці корисності для критерію Гурвиця при заданому значенні параметра c визначаємо за формулою:

$$K_j = c \cdot K_{MMj} + (1-c) \cdot K_{Hj} \quad (6)$$

Також необхідно вказати, що тут c виконує роль відповідного «вагового» коефіцієнта приймаючого значення з інтервалу $c \in [0,1]$. Вибір такого «вагового» коефіцієнта реалізує безпосередньо ОНР, щоб максимально адаптувати вибір до особливостей саме своїх переваг. Реалізація вказаних процедур стосовно розрахунків для випадків різних значень «вагового» коефіцієнта представлена в табл. 6. Для повнішої ілюстрації вказаних процедур, що відповідають розрахунки в рамках критерію Гурвиця наведені нижче для випадків різних відношень ОНР до ризику втрат прибутку (як кінцевого економічного результату) в рамках аналізованих рішень, коли «ваговий» коефіцієнт набуває значень від $c = 1$ і до $c = 0$ (з кроком 0,1). Реалізація даних процедур щодо розрахунків для вказаних випадків представлена в табл. 6.

Найкраще для ОНР рішення у випадку використання критерію Гурвиця при різних значеннях параметра c також, як бачимо, будуть різними. А саме: при $c = 0$ – рішення X_5 ; при $c = 0,1$ – рішення X_5 ; при $c = 0,2$ – рішення X_5 ; при $c = 0,3$ – рішення X_5 ; при $c = 0,5$ – рішення X_5 ; при $c = 0,6$ – рішення X_4 ; при $c = 0,7$ – рішення X_4 ; при $c = 0,8$ – рішення X_4 ; при $c = 0,9$ – рішення X_4 ; при $c = 1$ – рішення X_4 .

Як бачимо, при обережнішій позиції СВЛ до невизначеності кінцевого економічного результату ($c > 0,5$) передбачається орієнтація на постачальника I, а при оптимістичнішій або ризикованою ($c \leq 0,5$) – на постачальника II.

Особливістю критерію Гурвиця є те, що структура процедур вибору рішення при цьому критерії передбачають використання «зваженого» поєднання показників відповідно максимального критерію (критерію песимізму) і оптимістичного критерію. Це дозволяє ОНР регулювати лінії рівня такого критерію на власний розсуд (у межах від крайнього песимізму до крайнього оптимізму) за рахунок вибору відповідного «вагового» коефіцієнта c . Тим самим, вибір найкращого рішення буде реалізований з урахуванням відношення ОНР до ризику втрат аналізованого кінцевого економічного результату. Зокрема, цю особливість ілюструють і представлені вище розрахунки в межах даного умовного прикладу. А саме, слід звернути увагу на те, що:

- при c близьких до 1 вибір виявляється таким же, як і вибір вкрай песимістичного максимального критерію (того, що відповідає граничній ситуації, коли апіорі приймається $c = 1$);
- при c близьких до 0 вибір виявляється таким же, як і вибір вкрай оптимістичного критерію (що відповідає граничній ситуації, коли апіорі приймається $c = 0$).

Висновки.

Аналіз наукових досліджень проблеми прийняття рішення в умовах невизначеності дав змогу з'ясувати, що основними етапами впровадження даної методології є формування та вибір: 1) вихідних даних (річне споживання продукції, накладні витрати на кожне постачання, ціна закупівлі одиниці продукції від постачальників, ціна реалізації одиниці продукції); 2) повної групи подій; 3) переліку аналізованих альтернативних рішень; 4) матриці корисності; 5) критеріїв прийняття рішення (ММ-критерій, Н-критерій, N-критерій, S-критерій, HW-критерій).

Подальші дослідження проблеми прийняття рішення в умовах невизначеності необхідно проводити у напрямі пошуку складових критеріїв з урахуванням усіх ризиків, які можливі в системах управління постачаннями.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Джеймс Р. Сток. Стратегическое управление логистикой / Джеймс Р. Сток, Дуглас М. Ламберт; пер. с 4-го англ. изд. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 797 с.
2. Корпоративная логистика. 300 ответов на вопросы профессионалов / [Сергеев В. И., Белов Л. Б., Дыбская В. В и др.]; под ред. В. И. Сергеева. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 976 с.

3. Эддоус М. Методы принятия решений: пер. с англ. / М. Эддоус, Р. Стэнфилд; пер. с англ. С. А. Лукин [и др.]; под ред. член-корр. РАН И. И. Елисеевой. – М.: Аудит, ЮНИТИ, 1997. – 590 с.
4. Мушик Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушик, П. Мюллер / [Пер. с нем. Н. В. Васильченко, В. А. Душского]. – М.: Мир, 1990. – 208 с.
5. Бродецкий Г. Л. Системный анализ в логистике. Выбор в условиях неопределенности / Г. Л. Бродецкий. – М.: Academia, 2010. – 336 с.
6. Бродецкий Г. Л. Возможности оптимизации модели управления запасами в условиях неопределенности / Г. Л. Бродецкий, Д. А. Гусев // Логистика и управление цепями поставок. – 2006. – №6 (17). – С. 74-85.
7. Орлов А. И. Теория принятия решений: учеб. пособ. / А. И. Орлов. – М.: Издательство «Экзамен», 2005. – 656 с.
8. Розен В. В. Математические модели принятия решений в экономике / В. В. Розен. – М.: Книжный дом «Университет», 2002. – 288 с.
9. Бланк И. А. Принятие решений в условиях риска и неопределенности / И. А. Бланк [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.management.com.ua/qm/qm215.html>
10. Лабскер Л. Г. Общая методика конструирования критериев оптимальности решений в условиях риска и неопределенности / Л. Г. Лабскер, Е. В. Яновская // Финансовый менеджмент. – 2002. – №5. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.finman.ru/articles/2002/5/642.html>

REFERENCES

1. James R. Stock, Douglas M. Lambert (2005). Strategicheskoe upravlenie logistikoy [Strategic Logistics Management]. Moscow, INFRA-M, Publ. [in Russian].
2. Sergeev B. I., Belov L. B., Dybskaya V. V., Ivanov V. V., Zaytsev E. I., Sterligova A. N. (2005). Korporativnaya logistika. 300 otvetov na voprosi professionalov [Corporate Logistics 300 answers to the questions of professionals]. Moscow, INFRA-M Publ. [in Russian].
3. M. Eddous, R. Stansfield (1997). Metody prinyatiya resheniy [Methods of Decision Making]. Moscow, AUDIT, UNITY, Audit Publ. [in Russian].
4. Mushik E., Muller P. (1990). Metody prinyatiya tekhnicheskikh resheniy [Methods of making technical decisions]. Moscow, Mir Publ. [in Russian].
5. Brodetskiy G. L. (2010). Sistemny analiz v logistike [System analysis in logistics. The choice in conditions of uncertainty]. Moscow, Academia Publ. [in Russian].
6. Brodetskiy G. L. & Gusev D. A. (2006). Vozmozhnosti optimizatsii modeli upravleniya zapasami v usloviyakh neopredelennosti [Opportunities to optimize the model of inventory management in conditions of uncertainty]. *Logistika i upravlenie tsepyami postavok – Logistics and Supply Chain Management*, 6(17), 74-85. [in Russian].
7. Orlov A. I. (2005). Teoriya prinyatiya resheniy [Decision theory]. Moscow, Ekzamen Publ. [in Russian].
8. Rozen V. V. (2002). Matematicheskie modeli prinyatiya resheniy [Mathematical models of decision-making in economics]. Moscow, Universitet Publ. [in Russian].
9. Blank I. A. Prinyatiya resheniy v usloviyakh neopredelennosti [Decision-making under risk and uncertainty: electronic resource]. *management.com.ua*. Retrieved from <http://www.management.com.ua/qm/qm215.html> [in Ukrainian].
10. Labsker L. G., Yanovskaya E. V. (2002). Obshchaia metodika konstruirovania kriteriev optimalnosti reshenii v usloviyakh riska i neopredelennosti [General methodology for constructing criteria for optimality of solutions under risk and uncertainty conditions: electronic resource]. *Finansovii menedzhment – Financial management*, 5, Retrieved from <http://www.finman.ru/articles/2002/5/642.html> [in Russian].

РЕФЕРАТ

Хаврук В.О. Модель управління запасами в умовах невизначеності з використанням традиційних критеріїв / В.О. Хаврук // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

В статті розглядається порядок формування моделі управління запасами в умовах невизначеності та вироблення відповідного рішення на основі таких традиційних критеріїв, як: ММ-критерій, Н-критерій, N-критерій, S-критерій, НW-критерій.

Об'єкт дослідження – система управління запасами.

Мета роботи – провести дослідження моделі управління запасами в умовах невизначеності і з'ясувати основні традиційні критерії прийняття відповідних рішень.

Метод дослідження – аналіз та формалізація: кількісних показників запасів, методики формування групи подій, альтернативних рішень і розрахунку основних традиційних критеріїв оптимізації моделі управління запасами в умовах невизначеності.

Встановлено, що методологія прийняття рішень в умовах невизначеності припускає формалізацію сценарного підходу. Модель управління запасами в умовах невизначеності складається з таких послідовних етапів, як: 1) збір статистичних вихідних даних (річне споживання продукції, накладні витрати на кожне постачання, ціна закупівлі одиниці продукції від постачальників, ціна реалізації одиниці продукції); 2) формування повної групи можливих подій; 3) формування переліку аналізованих альтернативних рішень; 4) складання матриці корисності; 5) вибір відповідного традиційного критерію прийняття рішення.

З'ясовано, що при наявності двох альтернативних постачальників однотипної продукції може виникнути одна із шістнадцяти випадкових подій. В основі кожної випадкової події враховуються такі показники, як: річне споживання, ціна реалізації одиниці продукції, претензії споживачів до якості. В сукупності ці події становлять повну групу подій.

Виконана побудова матриці корисності (очікуваного річного прибутку) для шістнадцяти випадкових подій на основі показників річного споживання і ціни реалізації продукції.

Розглянуті та приведені розрахунки традиційних критеріїв оптимізації моделі управління запасами в умовах невизначеності.

Обґрунтовано застосування моделі управління запасами в умовах невизначеності та прийняття відповідних рішень в залежності від настання однієї із шістнадцяти подій на основі таких традиційних критеріїв, як: ММ-критерій, Н-критерій, N-критерій, S-критерій, НВ-критерій.

Результати статті можуть бути використані для підвищення ефективності управління запасами продукції будь-якими суб'єктами підприємницької діяльності, у випадку, коли виникає проблема незадоволеного попиту споживачів.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – розробка і уточнення моделі управління запасами в умовах невизначеності при наявності трьох і більше альтернативних постачальників однотипної продукції з використанням комп'ютерних програмних продуктів та їх впровадження в практичну діяльність підприємств.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДОХІД, ЗАПАС, КОЕФІЦІЄНТ, КРИТЕРІЙ, МАТРИЦЯ КОРИСНОСТІ, МОДЕЛЬ, ПОДІЯ, ПОСТАЧАЛЬНИК, ПРИБУТОК, ПРОДУКЦІЯ, РІШЕННЯ, СИТУАЦІЯ, СПОЖИВАННЯ, СЦЕНАРІЙ, ЦІЛЬОВА ФУНКЦІЯ.

ABSTRACT

Khavruk V.O. Model of management of stocks under conditions of uncertainty with the use of traditional criteria. Visnyk National Transport University. Series «Engineering sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

In article it is considered the procedure for the formation of a stock management model in conditions of uncertainty and the development of an appropriate solution based on such traditional criteria as the MM-criterion, the H-criterion, the N-criterion, the S-criterion, the HW-criterion.

Object of research – inventory management system.

Purpose of the study – to study the model of inventory management in conditions of uncertainty and to clarify the basic traditional criteria for making appropriate decisions.

Method of the study – the analysis and formalization: quantitative indicators of reserves, methods of forming a group of events, alternative solutions and calculation of the main traditional criteria for optimizing the model of inventory management under uncertainty.

It is established that the methodology of decision-making under uncertainty presupposes the formalization of the scenario approach. The model of inventory management in conditions of uncertainty consists of the following consecutive stages, such as: 1) the collection of statistical output data (annual consumption of products, overhead for each supply, the price of purchasing a unit of production from suppliers, the selling price of a unit of production); 2) the formation of a complete group of possible events;

3) the formation of a list of alternative solutions under consideration; 4) compiling a utility matrix; 5) choosing the appropriate traditional criterion for making a decision.

It was found out that, in the presence of two alternative suppliers of the same type of products, one of sixteen random events may occur. At the heart of every random event are taken into account such indicators as: annual consumption, unit selling price, consumers' claims on quality. Together, these events constitute a complete group of events.

The utility matrix (the expected annual income) was constructed for sixteen random events based on the annual consumption and the price of sales.

Calculations of traditional criteria for optimizing the inventory management model under conditions of uncertainty are considered and presented.

The application of the inventory management model in conditions of uncertainty and decision-making is substantiated depending on the onset of one of the sixteen events based on such traditional criteria as: MM-criterion, H-criterion, N-criterion, S-criterion, HW-criterion.

The results of the article can be used to improve the efficiency of inventory management by any business entities, in the event that there is a problem of unmet consumer demand.

The forecast assumptions for the development of the research object are the development and refinement of the model of inventory management in the conditions of uncertainty in the presence of three or more alternative suppliers of the same type of products using software products and their introduction into the practical activities of enterprises.

KEYWORDS: INCOME, RESERVE, COEFFICIENT, CRITERIA, MATRIX OF USEFUL, MODEL, EVENT, SUPPLIER, PROFIT, PRODUCTION, SOLUTION, SITUATION, CONSUMPTION, SCENARIO, TARGET FUNCTION.

РЕФЕРАТ

Хаврук В.А. Модель управления запасами в условиях неопределенности с использованием традиционных критериев / В.А. Хаврук // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье рассматривается порядок формирования модели управления запасами в условиях неопределенности и выработки соответствующего решения на основе таких традиционных критериев, как: ММ-критерий, Н-критерий, N-критерий, S-критерий, HW-критерий.

Объект исследования – система управления запасами.

Цель работы – провести исследование модели управления запасами в условиях неопределенности и выяснить основные традиционные критерии принятия соответствующих решений.

Метод исследования – анализ и формализация: количественных показателей запасов, методики формирования группы событий, альтернативных решений и расчета основных традиционных критериев оптимизации модели управления запасами в условиях неопределенности.

Установлено, что методология принятия решений в условиях неопределенности предполагает формализацию сценарного подхода. Модель управления запасами в условиях неопределенности состоит из следующих последовательных этапов, таких как: 1) сбор статистических выходных данных (годовое потребление продукции, накладные расходы на каждую поставку, цена закупки единицы продукции от поставщиков, цена реализации единицы продукции); 2) формирование полной группы возможных событий; 3) формирование перечня рассматриваемых альтернативных решений; 4) составление матрицы полезности; 5) выбор соответствующего традиционного критерия принятия решения.

Выяснено, что при наличии двух альтернативных поставщиков однотипной продукции может возникнуть одна из шестнадцати случайных событий. В основе каждого случайного события учитываются такие показатели, как: годовое потребление, цена реализации единицы продукции, претензии потребителей к качеству. В совокупности эти события составляют полную группу событий.

Выполнено построение матрицы полезности (ожидаемого годового дохода) для шестнадцати случайных событий на основе показателей годового потребления и цены реализации продукции.

Рассмотрены и приведены расчеты традиционных критериев оптимизации модели управления запасами в условиях неопределенности.

Обосновано применение модели управления запасами в условиях неопределенности и принятия соответствующих решений в зависимости от наступления одного из шестнадцати событий на основе

таких традиционных критериев, как: ММ-критерий, Н-критерий, N-критерий, S-критерий, HW-критерий.

Результаты статьи могут быть использованы для повышения эффективности управления запасами продукции любыми субъектами предпринимательской деятельности, в случае, когда возникает проблема неудовлетворенного спроса потребителей.

Прогнозные предположения по развитию объекта исследования – разработка и уточнение модели управления запасами в условиях неопределенности при наличии трех и более альтернативных поставщиков однотипной продукции с использованием программных продуктов и их внедрение в практическую деятельность предприятий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ДОХОД, ЗАПАС, КОЭФФИЦИЕНТ, КРИТЕРИЙ, МАТРИЦА ПОЛЕЗНОСТИ, МОДЕЛЬ, СОБЫТИЕ, ПОСТАВЩИК, ПРИБЫЛЬ, ПРОДУКЦИЯ, РЕШЕНИЕ, СИТУАЦИЯ, ПОТРЕБЛЕНИЕ, СЦЕНАРИЙ, ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ.

АВТОР

Хаврук Володимир Олександрович, Національний транспортний університет, асистент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: khavruk@gmail.com, тел.+380950187190, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к.410.

AUTHOR

Khavruk Volodymir, National Transport University, assistant to chair of technical operation of cars and autoservice, e-mail: khavruk@gmail.com, tel.+380950187190, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka str. 1, of. 410.

АВТОР

Хаврук Владимир Александрович, Национальный транспортный университет, ассистент кафедры технической эксплуатации автомобилей и автосервиса, e-mail: khavruk@gmail.com, тел.+380950187190, Украина, 01010, г. Киев, ул. Омеляновича-Павленко 1, к. 410.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Брегіда Федір Миколайович, кандидат технічних наук, ДП «ДЕРЖАВТОТРАНСПОРТПРОЕКТ», завідувач Відділу дослідження та нормативно-правового забезпечення у сфері технічної експлуатації дорожніх транспортних засобів, e-mail: to@insat.org.ua, тел.+380442010806, Україна, 03113, м. Київ, пр. Перемоги 57, к.714.

Посвятенко Едуард Карпович, доктор технічних наук, Національний транспортний університет, професор кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, тел.+380442809805, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к.102.

REVIEWER:

Bregida Fedir, Candidate of Science (Engineering), DP «DERGAUTOTRANSNDIPROJECT», Head of Department of research and is standard-legal maintenance in sphere of technical operation of road vehicles, e-mail: to@insat.org.ua, tel.+380442010806, Ukraine, 03113, Kyiv, pr. Peremogy 57, of. 714.

Posviatenko Eduard, Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, department of manufactures, repair and materials technology, Kyiv, tel.+380442010806, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka str. 1, of. 102.

КОНЦЕПЦІЯ ДОВІДНИКІВ ДЕФЕКТІВ В ОБЛАДНАННІ ТА ТРУБОПРОВОДАХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТА ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

Харитонова Л.В., кандидат фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, kharytonova-lv@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0108-6702

Куценко О.Г., кандидат фізико-математичних наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, alex_kutz@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5089-0409

Каденко І.М., доктор фізико-математичних наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, ndef.office@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8766-4229

CONCEPTION OF REFERENCE BOOKS OF DEFECTS IS IN EQUIPMENT AND PIPELINES OF POWER AND TRANSPORT SYSTEMS

Kharytonova L.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, kharytonova-lv@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0108-6702

Kutsenko O.G., Ph.D., Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine, alex_kutz@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5089-0409

Kadenko I.M., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine, ndef.office@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8766-4229

КОНЦЕПЦИЯ СПРАВОЧНИКОВ ДЕФЕКТОВ В ОБОРУДОВАНИИ И ТРУБОПРОВОДАХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Харитонова Л.В., кандидат физико-математических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, kharytonova-lv@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0108-6702

Куценко А.Г., кандидат физико-математических наук, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина, alex_kutz@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5089-0409

Каденко И.Н., доктор физико-математических наук, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина, ndef.office@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8766-4229

Постановка проблеми.

Кожна транспортна система являє собою зв'язаний комплекс обладнання (основного і допоміжного), алгоритмів управління, технологічного регламенту забезпечення функціонування та персоналу. В сучасних ринкових умовах надзвичайно важливою стає оптимізація всього зазначеного комплексу за рахунок впровадження інноваційних підходів з метою підвищення ефективності функціонування системи. До найбільш важливих напрямків підвищення ефективності та прибутковості системи відноситься оптимізація регламентних процедур ремонту обладнання, зокрема, тих його елементів, які зазнали пошкодження через виникнення у них тріщиноподібних дефектів. В даній роботі в основних рисах описана Концепція Довідників дефектів, прийнята та впроваджена на об'єктах ядерної енергетики Сполучених Штатів, Франції, Бельгії та інших європейських країн. Розглянуті приклади побудови та застосування Довідників дефектів.

Для всіх крупних промислових об'єктів, зокрема – для АЕС, розроблені програми експлуатаційного контролю, якими визначаються об'єми контролю, його періодичність та заходи, що приймаються унаслідок виявлення дефектів. При визначенні зазначених заходів, як правило, виходять з нормативних документів, якими визначаються допустимі розміри дефектів, виявлених при контролі. Допустимі розміри дефектів, встановлені цими документами, є дуже консервативними, адже вони розраховані для всіх типів обладнання, незважаючи на специфіку роботи елемента конкретної системи в конкретних умовах експлуатації. В той же час, в деяких елементах, зокрема – зварних з'єднаннях, що знаходяться під впливом значних змінних навантажень, дефекти виникають досить часто, що призводить до виведення елементів системи, або і системи в цілому, в неплановий ремонт, обумовлює відповідні матеріальні збитки від простою системи. Концепція Довідників дефектів розроблена Американським товариством інженерів-механіків ASME і подана в [1]. Вона передбачає ретельний аналіз конкретних елементів кожного конкретного обладнання, що працюють в

своїх специфічних експлуатаційних умовах, і є важливими з огляду на велику частоту непланових ремонтів, пов'язаних з виявленням в цих елементах тріщиноподібних дефектів. В основі концепції лежить ідея встановлення максимально допустимого розміру дефекту для даного елемента обладнання та оцінювання проміжку часу, за який виявлений дефект може досягнути максимально допустимих розмірів.

Концепція Довідників дефектів являє собою зразок найкращої світової інженерної практики, спрямованої на надання технічному персоналу простих засобів для прийняття рішень щодо необхідності проведення ремонту елементів обладнання з виявленими при експлуатаційному контролі дефектами. Основною перевагою цієї концепції є можливість безпосереднього використання Довідника під час аналізу результатів експлуатаційного контролю без залучення додаткової інформації та без проведення жодних розрахунків. Така можливість обумовлена тим, що всі необхідні розрахунки проводяться заздалегідь, на етапі розробки Довідника.

Для кожної системи розробка Довідника дефектів здійснюється відповідно до таких етапів:

- визначення об'єму робіт, а саме – тих елементів обладнання, які найбільш важливі з точки зору впливу на безпеку, або найбільш часто зазнають пошкодження, або ремонт яких веде до найбільших матеріальних збитків;
- визначення умов експлуатації для кожного елемента обладнання. Встановлення значень параметрів, що визначають нормальні умови експлуатації, аварійні умови, випробування, визначення частоти і послідовності зміни значень параметрів при експлуатації;
- встановлення найбільш небезпечних експлуатаційних умов, які будуть визначальними з точки оцінювання максимально допустимих розмірів дефектів;
- постулювання розрахункового дефекту з метою визначення максимально допустимих розмірів дефекта;
- проведення розрахунків цілісності елемента конструкції з дефектом з метою визначення його максимально небезпечного розміру. Наприклад, для дефекту, схематизованого до напівеліптичної тріщини (рис.1) визначається її глибина та відношення глибини до напівдовжини. Максимально допустимі розміри (розмір) встановлюються шляхом розрахунку такого сценарію прикладання навантаження до елемента обладнання, який є найбільш небезпечним для даного елемента в реальних умовах його функціонування.

Максимально допустимі розміри дефекту використовуються для визначення прийнятних розмірів дефекту, які отримуються діленням максимально допустимих значень на відповідний коефіцієнт запасу.

Довідник дефектів містить значення допустимих розмірів дефектів, визначені для різних періодів експлуатації (рис.2). Допустимі розміри визначаються з урахування підростання дефекту при експлуатації і являють собою такі початкові розміри дефекту, виявленого в той або інший період експлуатації, зростання від яких призведе до прийнятних розмірів дефекту на кінець періоду експлуатації. Оцінка зростання дефекту має проводитися з урахуванням всіх активних механізмів деградації, що впливають на даний елемент обладнання.

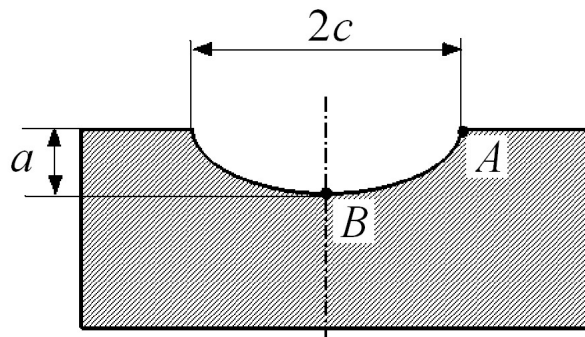


Рисунок 1 – Конфігурація напівеліптичного дефекта
Figure 1 –The configuration of semi-elliptical defect

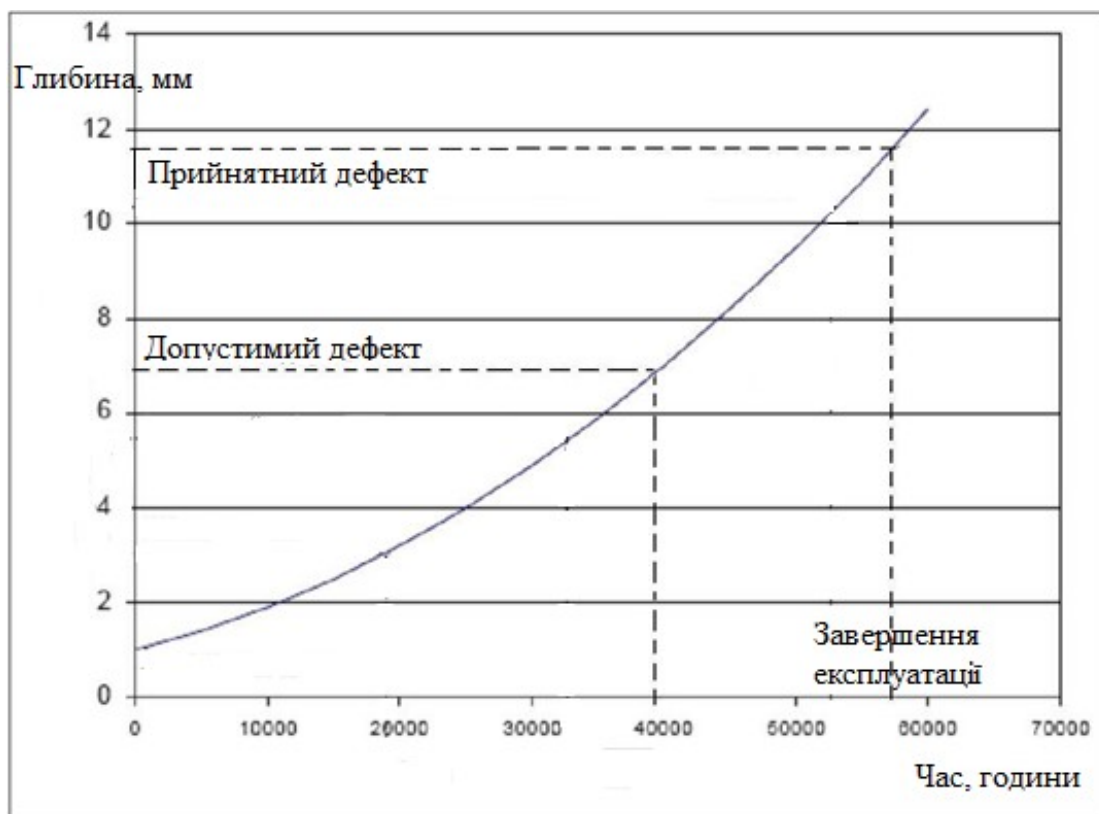


Рисунок 2 – Діаграма зростання дефекту в процесі експлуатації елементу обладнання
Figure 2 – Diagram of defect growth under the operation conditions

Всі етапи розробки Довідника дефектів, а також – приклад його використання наведені нижче для випадку зварного шва приварки дихального трубопроводу до нижнього патрубку компенсатора тиску (КТ) реакторної установки ВВЕР-1000.

Об'єм аналізу

Розглядається зварний шов приварки дихального трубопроводу до нижнього патрубку КТ реакторної установки ВВЕР-1000. Дихальний трубопровід з'єднує КТ з головним циркуляційним трубопроводом (ГЦТ), по дихальному трубопроводу теплоносій тече з ГЦТ в КТ при збільшенні тиску в головному контурі, або навпаки, тече з КТ в ГЦТ при зменшенні тиску в головному контурі.

Перелік умов нормальної експлуатації, експлуатаційних перехідних процесів, гідро випробувань, аварійних умов

Найбільш небезпечний випадок експлуатаційних умов

В дихальний трубопровід при будь-яких режимах не може потрапити теплоносій з температурою, що суттєво відрізняється від робочої. Отже, основні навантаження на даний елемент можуть бути пов'язані лише з внутрішнім тиском. Таким чином, в якості найбільш небезпечного був обраний сценарій гідро випробувань з температурою теплоносія $T=100^{\circ}\text{C}$ і тиском $p=25$ МПа.

Перехідні процеси нормальної експлуатації

Перехідні процеси нормальної експлуатації розглядаються з метою моделювання циклічних навантажень, які є причиною підростання дефекту в процесі експлуатації.

Ми розглядаємо цикл нормальної експлуатації «гідровипробування – розігрів – розхолодження».

Цикл визначається значеннями параметрів теплоносія (температура, тиск), наведеними в таблиці 1.

Таблиця 1 – Параметри циклу нормальної експлуатації
Table 1 –The parameters of normal operation cycle

Час, с	P, МПа	T, °C	Швидкість розігріву/розхолодження, °C/год
Гідровипробування			
0	0,4	50	0
6000	25	100	30
13200	25	100	0
13200	0,4	100	0
Розігрів			
13200	3	100	0
13200+18000 (31200)	3	$100+5 \cdot 20 = 200$	20
13200+45000 (58200)	15,7	350	20
Розхолодження			
59200	15,7	350	0
95200	0,4	50	-30

Параметри циклу навантаження режиму нормальної експлуатації подані на рис.3,4.

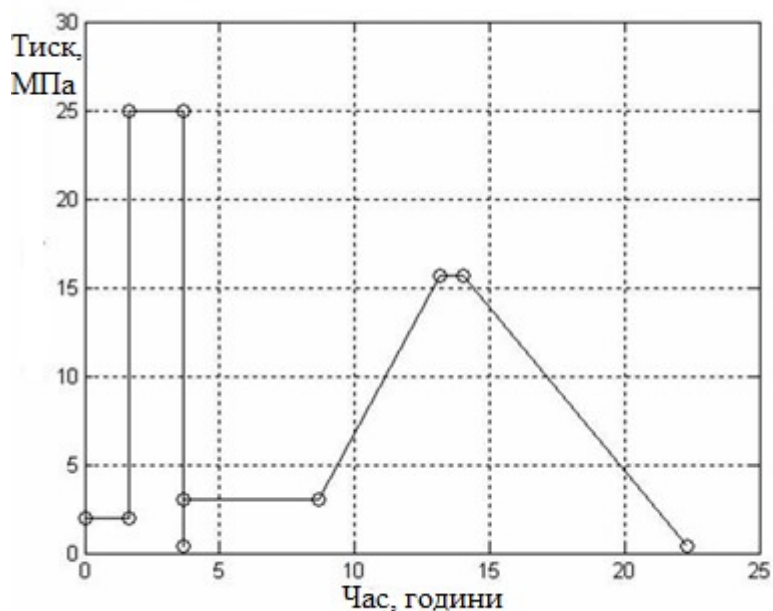


Рисунок 3 – Залежність тиску від часу для циклу навантаження нормальної експлуатації
Figure 3 –The dependence of pressure on time for normal operation cycle

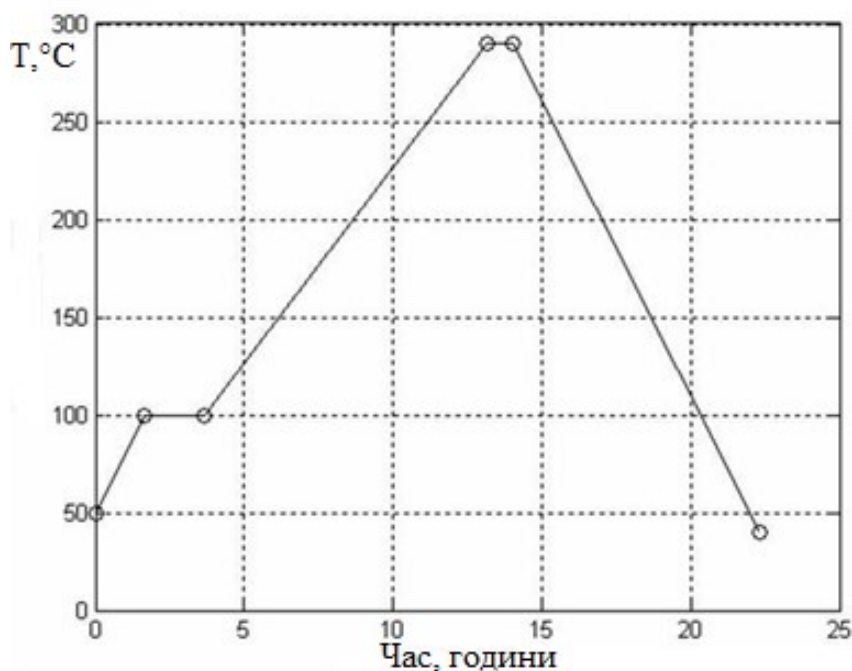


Рисунок 4 – Залежність температури від часу для циклу навантаження нормальної експлуатації

Figure 4 – The dependence of temperature on time for normal operation cycle

Консервативне значення частоти циклів даного типу складає $n = 3,24$ за рік (дані Рівненської АЕС).

Значення частоти всіх типів циклів складає $n = 11$ за рік (дані Рівненської АЕС).

Оскільки товщина стінки дихального трубопроводу мала, а відносна товщина антикорозійного наплавлення велика, перехідні процеси зі швидкістю зміни температури теплоносія до $30^{\circ}\text{C}/\text{год}$ призводять до виникнення дуже малих температурних напружень в основному металі трубопроводу, які викликані нерівномірним полем температури. Тому граничні стани дихального трубопроводу за період нормальної експлуатації можна вважати стаціонарними, такими, що відповідають таким значенням параметрів:

$T=50^{\circ}\text{C}$, $p=0,4$ МПа – зупинка, напруження мінімальні;

$T=100^{\circ}\text{C}$, $p=25$ МПа – гідровипробування, напруження максимальні;

$T=100^{\circ}\text{C}$, $p=0,4$ МПа – підготовка до розігріву, напруження мінімальні;

$T=350^{\circ}\text{C}$, $p=15,7$ МПа – робочий режим, напруження максимальні.

Постулювання тріщини

Тріщина постулюється в сегменті обладнання, що включений в об'єм аналізу. Як правило, постулюються тріщини двох видів орієнтації. Для циліндричних посудин і трубопроводів такими є кільцеві та поздовжні тріщини [2]. Втім, в умовах гідравлічних випробувань (найбільш небезпечне навантаження) достатньо враховувати лише поздовжні тріщини. Це пояснюється тим, що кільцеві напруження, викликані тиском, приблизно вдвічі вище, ніж поздовжні, а різницею між поздовжніми і кільцевими залишковими напруженнями можна знехтувати. Розподіл повних поздовжніх і кільцевих напружень по товщині стінки трубопроводу для двох взаємно ортогональних перерізів дихального трубопроводу в районі шва приварки до патрубку КТ подані на рис.5, 6.

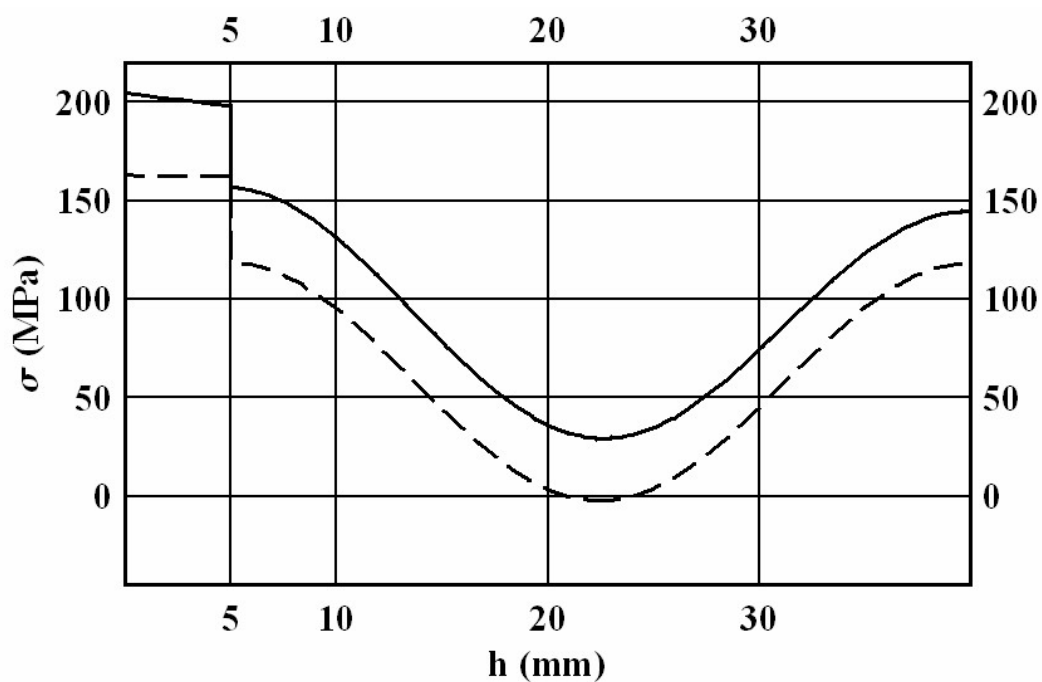


Рисунок 5 – Розподіл напружень (суцільна лінія – кільцеві напруження, пунктирна лінія – поздовжні напруження) в перерізі, що розташований в площині першого гину трубопровода (переріз 1)
 Figure 5 – Stress distribution (solid line – circumferential stresses, dotted line – longitudinal stresses) in the cross-section which is situated in the plane of the first bend of the pipe (cross-section 1)

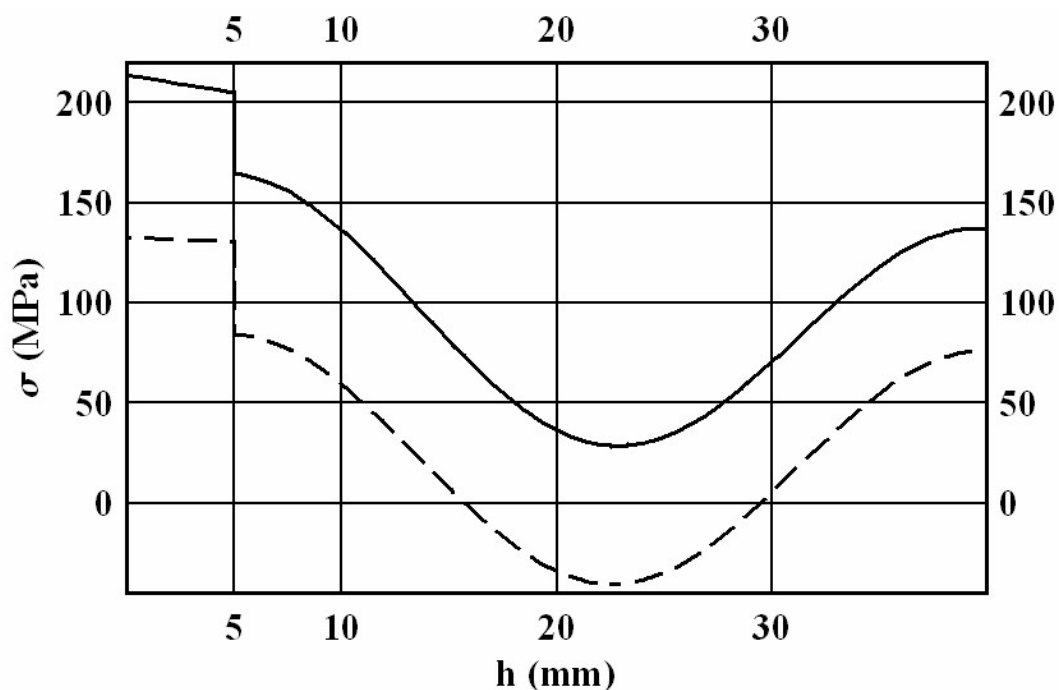


Рисунок 6 – Розподіл напружень (суцільна лінія – кільцеві напруження, пунктирна лінія – поздовжні напруження) в перерізі, що розташований ортогонально до площини першого гину трубопровода (переріз 2)
 Figure 6 – Stress distribution (solid line – circumferential stresses, dotted line – longitudinal stresses) in the cross-section which is perpendicular to the plane of the first bend of the pipe (cross-section 2)

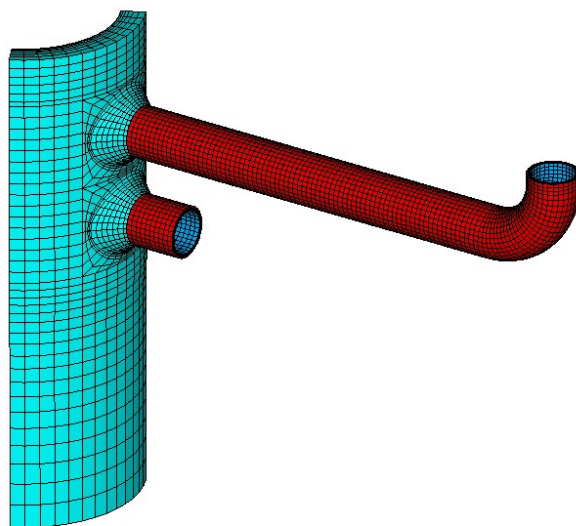


Рисунок 7 – Модель частини корпусу реактора з гарячою ниткою ГЦТ
 Figure 7 –The model of the part of the reactor pressure vessel including the primary reactor coolant pipe

Розрахунок напружень здійснювався методом скінченних елементів, за допомогою двох скінченно-елементних моделей. Перша модель використовувалася для визначення переміщень кінця дихального трубопроводу, що приварений до гарячої нитки ГЦТ, внаслідок температурних деформацій (рис.7). Загальний вигляд даної моделі поданий на рис. 7. Розрахунки показали, що з трьох компонентів переміщень суттєвою виявилася лише поздовжня до ГЦТ компонента. Відповідно до отриманих результатів (які використовувалися як граничні умови при розрахунках на другій моделі), при нагріві ГЦТ на 100°C патрубок дихального трубопроводу зміщується приблизно на 12 мм в бік до парогенератора.

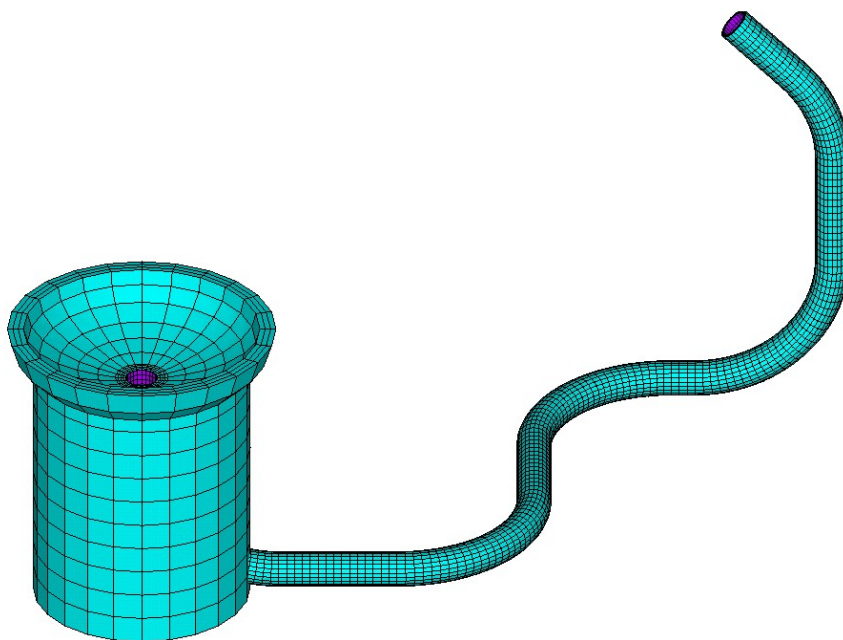


Рисунок 8 – Загальний вигляд скінченноелементної моделі дихального трубопроводу і нижньої частини КТ
 Figure 8 – The general view of the finite-element model of the surge pipe and the low part of the pressurizer

Таблиця 2 – Кільцеві напруження в шві приварки при ГВ (в МПа)

Table 2 – The circumferential stresses in the surge pipe-pressurizer weld joint for hydrotests (in MPa)

	Внутрішня поверхня наплавлення	Інтерфейс боку наплавлення	Інтерфейс боку основного металу	Зовнішня поверхня основного металу
Загальне значення (переріз 1)	51	49	121	104
Загальне значення (переріз 2)	60	55	128	97
Залишкові напруження	154	149	$60 \cos 2\pi \frac{x}{h} - 24$	$60 \cos 2\pi \frac{x}{h} - 20$

Друга модель складається з дихального трубопровода, патрубку, днища та основи КТ. Загальний вигляд цієї моделі подано на рис. 8. Модель дозволяє отримати напруження в шві приварки трубопровода до патрубка КТ по товщині стінки для перерізів з різним кутовим розташуванням (по колу трубопровода).

Для визначення місця постулювання і типу тріщин був проведений аналіз розподілу колових напружень для режиму ГВ, основні результати якого наведені в таблиці 2. Відзначимо, що залишкові напруження обчислювалися як комбінація залишкових напружень від зварювання шва та від наварювання наплавлення. Залишкові напруження при виконанні шва задавалися відповідно до [2] за законом $60 \cos 2\pi \frac{x}{h}$ МПа, де x – глибинна координата в основному металі (ОМ), що відраховується від інтерфейсу (поверхні розділу наплавлення та основного металу), h – товщина ОМ стінки трубопровода. Залишкові напруження при наварюванні наплавлення були отримані в результаті розрахунку задачі термопружності, виходячи з припущення, що температура нульових напружень в незакріпленому дихальному трубопроводі є робочою температурою, тобто 350°C.

Як впливає з таблиці 2, найбільш небезпечні для зовнішньої тріщини (тріщини на зовнішній поверхні трубопровода) поздовжні перерізи шва приварювання розташовані в площині першого гину трубопровода, рахуючи від КД. Найбільш небезпечні перерізи для внутрішньої тріщини (тріщини на внутрішній поверхні трубопровода) – ортогональні до зазначеної площини. У відповідності до отриманого розподілу напружень, найбільш небезпечними є внутрішні поверхневі тріщини, оскільки рівень напружень в напавленні в середньому біля 210 МПа, порівнюючи з максимальними 150 МПа в основному металі. В той же час, можна припустити, що наплавлення є достатньо пластичним і збереже свою цілісність. Таким чином, розгляду підлягають поверхневі напівеліптичні тріщини з різними значеннями співвідношення напівосей поблизу зовнішньої поверхні трубопровода (рис.1). Розрахунок проводився для таких співвідношень напівосей: $a/c = 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 1,0$. Найменше значення співвідношення $a/c = 0,1$ дає наближення до тріщини нескінченної довжини. Це пояснюється тим, що фронт даної тріщини має форму, дуже близьку до прямої лінії.

Визначення критичних розмірів тріщин, використовуючи розрахунки механіки руйнування

Для визначення критичного розміру тріщини можуть бути використані умови опору швидкому руйнуванню:

$$K_{I\max} \leq [K_{IC}], \quad (1)$$

де K_{Imax} – максимум значень коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН), розрахований в точках фронту тріщини (враховуються лише точки в основному металі) в усі моменти часу перехідного процесу.

Для кожного фіксованого значення співвідношення розмірів тріщини a/c критична глибина тріщини a_c визначається з умови:

$$K_{Imax} = [K_{IC}] \quad (2)$$

Для розрахунку значень КІН в сукупності точок фронту тріщини необхідно виконати аналіз методом скінченних елементів. Потім слід створити низку моделей скінченних елементів компонента обладнання з тріщинами, включеними в сітку скінчених елементів. В якості іншого способу можна використати метод функцій впливу (див. [2]). Для основного металу та зварних швів КР ВВЕР-1000 необхідно використовувати таку температурну залежність для значення $[K_{IC}]$:

$$[K_{IC}] = \min \{ 26 + 36 \exp(0,02(T - T_k)), 200 \}, \text{ МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}, \quad (3)$$

де T – поточне значення температури в точці фронту тріщини;

T_k – критична температура крихкості.

Для визначення значення T_k необхідно використовувати таку залежність [VERLIFE]:

$$T_k = T_{k0} + \Delta T_N + \Delta T_T + \Delta T_F, \quad (4)$$

де T_{k0} – вихідна критична температура крихкості;

ΔT_N – зміна T_k внаслідок пошкодження втоми;

ΔT_T – зміна T_k внаслідок термічного старіння;

ΔT_F – зміна T_k внаслідок нейтронного опромінювання.

Для визначення критичного розміру тріщини необхідно використовувати значення критичної температури крихкості на кінець терміну експлуатації. Використовуючи (4), було розраховано, що значення критичної температури крихкості для зварного з'єднання дихального трубопроводу становить $T_k = 15^\circ\text{C} + 0^\circ\text{C} + 10^\circ\text{C} + 0^\circ\text{C} = 25^\circ\text{C}$.

Умови (1) і (2) можна переписати в термінах допустимої критичної температури крихкості. Відповідні умови мають вигляд:

$$T_k \leq T_k^a, \quad (5)$$

$$T_k = T_k^a, \quad (6)$$

де T_k^a – допустима критична температура крихкості.

При визначенні критичної глибини тріщини з заданим співвідношенням розмірів розглядалися чотири значення глибини. Це $a = 20, 25, 30, 31$ мм. Таким чином, було згенеровано двадцять скінченно-елементних моделей з тріщиною, включеною в сітку. Приклади скінченно-елементних моделей (зони поблизу тріщини) подані на рис. 9, 10.

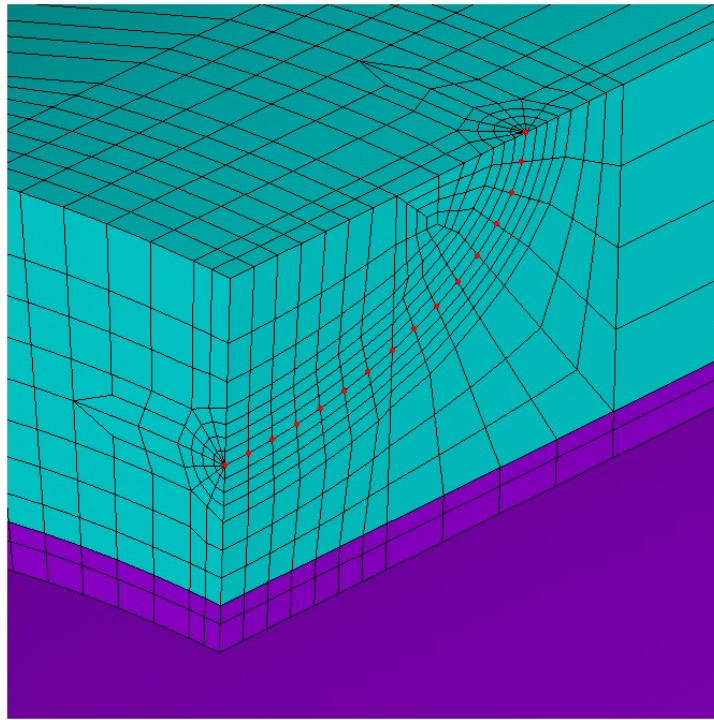


Рисунок 9 – Скінченно-елементна модель з тріщиною, включеною в сітку.
 Глибина тріщини $a = 20$ мм, $a/c=0,5$
 Figure 9 – The finite-element model of the weld joint with the crack embedded into the mesh.
 Crack depth is $a = 20$ mm, $a/c=0,5$

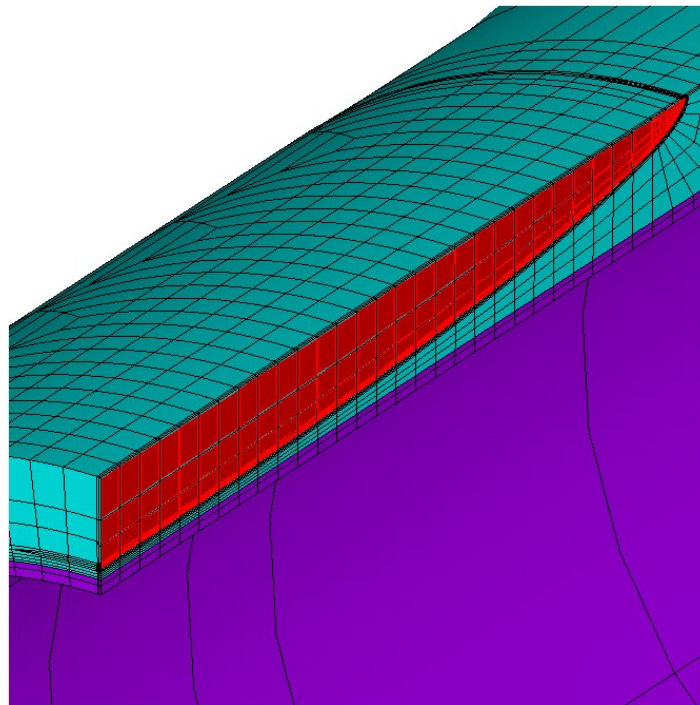


Рисунок 10 – Скінченно-елементна модель з тріщиною, включеною в сітку.
 Глибина тріщини $a = 31$ мм, $a/c=0,1$
 Figure 10 – The finite-element model of the weld joint with the crack embedded into the mesh.
 Crack depth is $a = 31$ mm, $a/c=0,1$

Розрахункові значення КІН для всіх тріщин в умовах гідравлічних випробувань виявилися значно нижче $187 \text{ МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$, що відповідає (3) при $T - T_k = 75^0 \text{ C}$. Максимальне значення $88 \text{ МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$ досягається в найбільш глибокій точці тріщини, зображеної на рис. 10. Таким чином, для всіх співвідношень розмірів тріщини в якості критичної глибини можна прийняти $0.75s = 30 \text{ мм}$, де s – повна товщина стінки трубопровода.

Визначення прийнятних розмірів тріщини

Прийнятна глибина тріщини визначається для кожного значення співвідношення розмірів тріщини a/c . Необхідно використовувати таких підхід [1]:

$$a_{ac} = \min(a_c / 2, a_i / 10), \quad (7)$$

де a_c – критична глибина тріщини, визначена для аварійних умов експлуатації;

a_i – критична глибина тріщини, визначена для нормальних умов експлуатації.

В нашому випадку для розрахунку прийнятної глибини тріщини використовувалася лише критична глибина тріщини, визначена для аварійних умов експлуатації, a_c . Таким чином,

$$a_{ac} = a_c / 2. \quad (8)$$

Отже, для всіх співвідношень розмірів тріщини значення прийнятної глибини a_{ac} складає 15 мм.

Визначення допустимих розмірів тріщини

Допустима глибина тріщини визначалась для кожного значення співвідношення розмірів тріщини a/c . Для визначення допустимої глибини тріщини постулювалися в двох перерізах (в площині гину і площині, ортогональній до площини гину). Розраховувалися значення КІН в поверхневій (точка А) і найбільш глибокій (точка В) точці тріщини (рис.1). Для створення Довідника дефектів відбиралися найбільш консервативні значення допустимої глибини тріщини a_{al} . Враховувалися чотири точки на відрізку часу експлуатації АЕС у відповідності з табл. 1. Припускається, що активним механізмом деградації є втома. Зростання тріщини внаслідок корозійного розтріскування під дією напружень можна знехтувати. Для визначення допустимої глибини тріщини враховується процес її зростання внаслідок циклічного навантаження. Для заданого моменту часу допустима глибина тріщини визначається шляхом зворотного інтегрування рівняння Періса:

$$\begin{aligned} \frac{da}{dN} &= 2,1 \cdot 10^{-17} \left(\frac{\Delta K}{(1-R)^{0,5}} \right)^{7,2}, \quad \text{для} \quad \frac{\Delta K}{(1-R)^{0,5}} < 31,8, \\ \frac{da}{dN} &= 1,08 \cdot 10^{-8} \left(\frac{\Delta K}{(1-R)^{0,5}} \right)^{1,4}, \quad \text{для} \quad \frac{\Delta K}{(1-R)^{0,5}} \geq 31,8, \\ \Delta K &= K_{I_{max}} - K_{I_{min}}, \quad R = \frac{K_{I_{min}}}{K_{I_{max}}} \end{aligned} \quad (9)$$

з початковою умовою

$$a(t_{eol}) = a_{ac}, \quad (10)$$

де N – кількість циклів навантаження;

$K_{I\max}, K_{I\min}$ – максимальне і мінімальне значення КІН в циклі;

a_{ac} – прийнятна глибина тріщини.

Оскільки прийнятна глибина тріщини співрозмірна товщині стінки трубопровода, використання метода функцій впливу і відповідних таблиць з Додатку IV коду VERLIFE [2] не є можливим, оскільки дані таблиці розроблені для тріщини у півпросторі. Для розрахунку значень КІН були розроблені скінченноелементні моделі з вбудованими поверхневими тріщинами глибиною 13 мм і 15 мм і з співвідношенням напівосей тріщин $a/c = 0,1, 0,3, 0,5, 0,7, 1,0$. Поля напружень розраховувалися з використанням повної моделі дихального трубопровода без тріщини (рис. 7). Для виконання попереднього аналізу були проведені розрахунки для циклу нормальної експлуатації «гідровипробування – розігрів – розхолодження».

Розрахунки проведені для двох значень частоти циклів: $n = 3,24$ цикли на рік (консервативне значення частоти циклів нормальної експлуатації типу «гідровипробування – розігрів – розхолодження») і $n = 11$ циклів на рік (консервативне значення частоти для всіх типів циклів разом).

Графіки допустимих розмірів тріщин, побудовані для $n = 3,24$ подано на рис. 11, 12, а для $n = 11$ – на рис. 13, 14. Числові дані, що відповідають значенням частоти циклів $n = 3,24$ і $n = 11$, подані в табл. 3 і 4, відповідно. Тріщини з співвідношенням напівосей $a/c = 0,1$ і $a/c = 0,3$ швидше підростають в глибину, в той час як тріщини з співвідношенням напівосей $a/c = 1$ і $a/c = 0,7$ швидше підростають в довжину. Оскільки точка фронту тріщини $a/c = 0,5$, що проявляє максимальне зростання, в розрахунках не розглядалася, то для збереження монотонності (і адекватності) залежності швидкості зростання тріщини від співвідношення її розмірів в таблицях наведені значення, отримані шляхом інтерполювання даних. Розрахункові значення наведені в дужках.

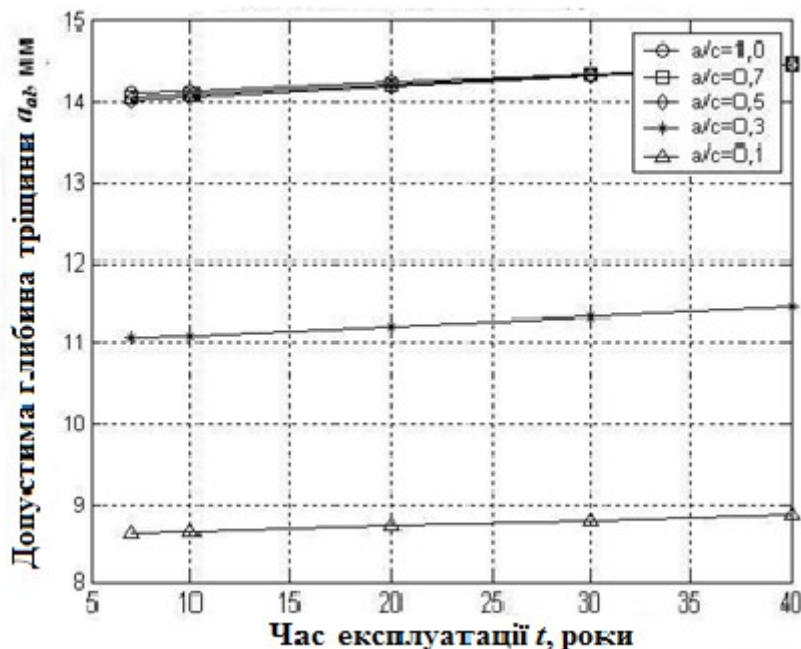


Рисунок 11 – Допустимі розміри тріщин для циклів гідровипробування–розігрів–розхолодження ($n=3,24$ циклів на рік). Залежність допустимої глибини від часу

Figure 11 – The allowable sizes of the crack for the cycle «hydrotest-heatup-cooldown» ($n=3,24$ cycle per year). The dependence of allowable crack depth on time

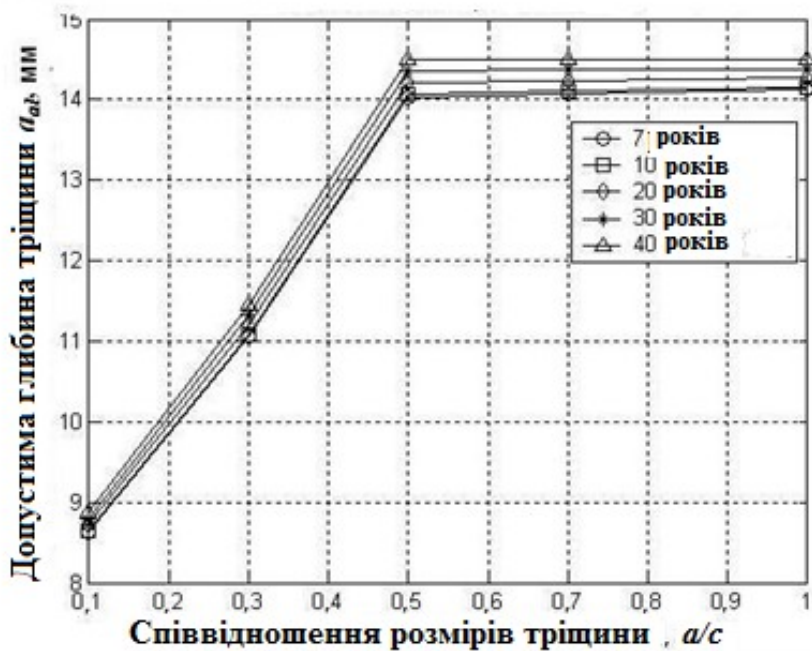


Рисунок 12 – Допустимі розміри тріщини для циклів гідровипробування–розігрів–розхолодження ($n=3,24$ циклів на рік). Залежність значення допустимої глибини від співвідношення розмірів тріщини
Figure 12 – The allowable sizes of the crack for the cycle «hydrotest-heatup-cooldown» ($n=3,24$ cycle per year). The dependence of allowable crack depth on crack ratio

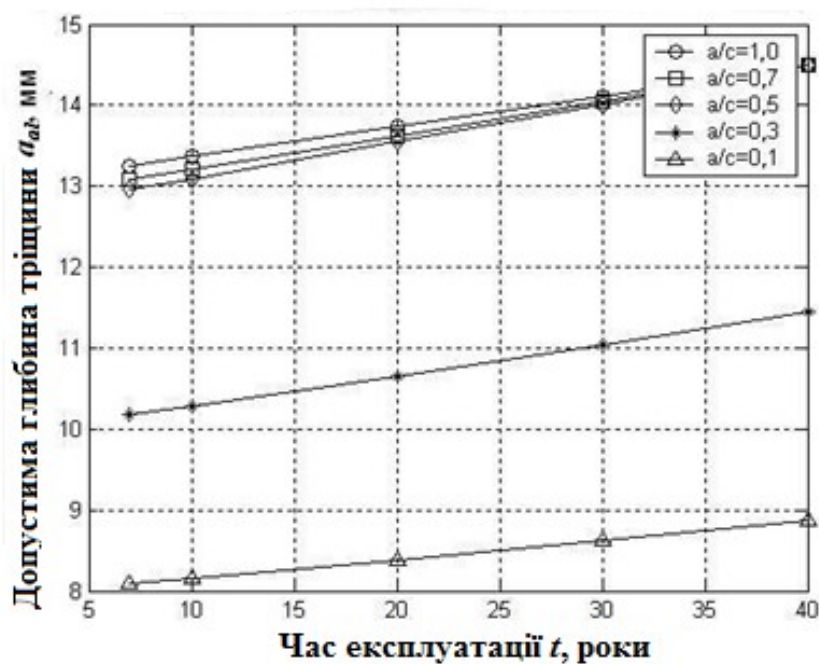


Рисунок 13 – Допустимі розміри тріщин для циклів всіх типів ($n=11$ циклів на рік). Залежність допустимої глибини від часу
Figure 13 – The allowable sizes of the crack for all the cycles ($n=11$ cycle per year). The dependence of allowable crack depth on time

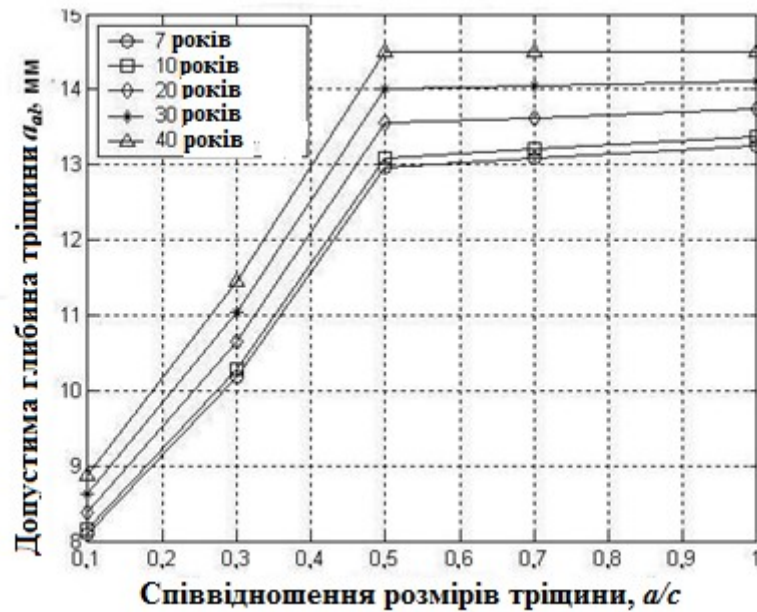


Рисунок 14 – Допустимі розміри тріщини для циклів всіх типів ($n=11$ циклів на рік).
Залежність значення допустимої глибини від співвідношення розмірів тріщини
Figure 14 – The allowable sizes of the crack for all the cycles ($n=11$ cycle per year).
The dependence of allowable crack depth on crack ratio

Таблиця 3 – Допустима глибина тріщини, визначена для циклів гідровипробування–розігрів–розхолодження ($n=3,24$ циклів на рік)

Table 3 –The allowable crack depth defined for the cycles «hydrotest-heatup-cooldown» ($n=3,24$ cycle per year)

Співвідношення напівосей, a/c	Роки експлуатації			
	7	10	20	30
0.1	14.7356	14.7577	14.8393	14.9193
0.3	14.9622	14.9654	14.9772	14.9886
0.5	14.9822 (14.9905)	14.9837 (14.9913)	14.9893 (14.9943)	14.9947 (14.9971)
0.7	14.9891	14.9900	14.9934	14.9967
1.0	14.9906	14.9914	14.9943	14.9972

Таблиця 4 – Допустима глибина тріщини, визначена для циклів всіх типів, що розглядаються як цикл гідровипробування–розігрів–розхолодження ($n=11$ циклів на рік)

Table 4 – The allowable crack depth defined for the all the cycles ($n=11$ cycle per year)

Співвідношення напівосей, a/c	Роки експлуатації			
	7	10	20	30
0.1	14.1287	14.2041	14.4608	14.7258
0.3	14.8713	14.8829	14.9218	14.9608
0.5	14.9388 (14.9676)	14.9444 (14.9705)	14.963 (14.9803)	14.9815 (14.9901)
0.7	14.9627	14.9661	14.9773	14.9887
1.0	14.9678	14.9707	14.9805	14.9902

Використання довідника дефектів

Нижче наведені деякі рекомендації щодо використання довідника дефектів. Вважається, що форма графіків «Співвідношення розмірів тріщини – допустима глибина» простіше у використанні. Розглянемо рис. 11, 13. Припустимо, що упродовж t_p -го року експлуатації виявлений певний дефект.

Даний дефект схематизований як поверхнева напівеліптична (кільцева або поздовжня) тріщина, глибиною a_p та половиною довжини c_p . Для оцінювання того, чи є така тріщина допустимою, необхідно виконати наступне.

Із значень співвідношення розмірів тріщини $a/c = 0,1, 0,3, 0,5, 0,7, 1,0$ – обрати максимальне значення для дотримання умови $a/c < a_p/c_p$ (слід пам'ятати, що площа берегів тріщини збільшується зі зменшенням значення співвідношення розмірів тріщини, тому більш консервативний допустимий розмір відповідає меншому значенню співвідношення розмірів тріщини).

З послідовності моментів часу $t = 7, 10, 20, 30, 40$ років обрати мінімальне значення для дотримання умови $t_p < t$.

Розглянемо на графіку точку, що відповідає обраним значенням a/c і t . Ця точка має координати: $(a/c, a)$.

Якщо глибина виявленого дефекту $a_p > a$, то дефект підлягає ремонту в кінці певного періоду часу.

Якщо $a_p < a$, то даний дефект вважається допустимим.

Для визначення проміжку часу, що залишився до ремонту, може використовуватися форма графіку "Час експлуатації – Допустима глибина". Наприклад (рис. 15), припустимо, що після $t_p = 25$ років експлуатації виявлений дефект глибиною $a_p = 11$ мм і з співвідношенням розмірів $a_p/c_p = 0,35$. Використовуючи консервативний підхід, ми розглядаємо його як тріщину з співвідношенням розмірів $a_p/c_p = 0,3$. Такий дефект недопустимий, оскільки точка з координатами (t_p, a_p) на діаграмі рис. 15 розташована вище, ніж точка з таким же значенням t_p , що належить кривій, яка відповідає значенню співвідношення розмірів 0,3, що визначає граничні значення глибин тріщин з цим співвідношенням в різні моменти часу. З іншого боку, дефект з такими розмірами є допустимим, якщо він виявлений в інший період експлуатації: в момент $t_{pn} = 29$ років або пізніше. Час t_{pn} визначається шляхом перетину горизонтальної лінії $a = a_p$ з граничною кривою, що відповідає значенню співвідношення розмірів тріщини 0,3.

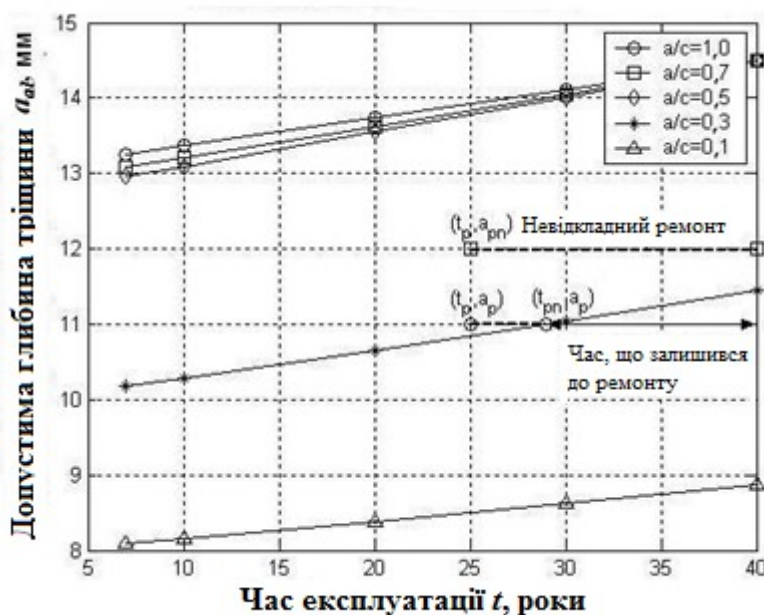


Рисунок 15 – Розрахунок часу, що залишився до ремонту

Figure 15 – The calculation of the time left to the repair

Оскільки точка (t_{pn}, a_p) знаходиться на граничній кривій, то дефект з розмірами $a_p, a_p/c_p$ (за умови $a_p/c_p=0,3$) досягне прийнятної глибини на момент завершення строку експлуатації (40 років). Таким чином, період часу росту тріщини до прийнятного розміру складає $40-29=11$ років.

Якщо виявлена глибина тріщини більша, ніж прийнятна (як для дефекта зі значенням $a_{pn} = 12\text{мм}$ на рис.15), то даний дефект підлягає невідкладному ремонту.

Висновки.

В даній статті розглянуті методологічні та наукові аспекти проблеми розробки та використання Довідників дефектів у відповідальних елементах обладнання технічних систем, трубопроводів, посудин високого тиску. На прикладі шва приварювання дихального трубопровода до патрубку компенсатора тиску РУ ВВЕР-1000 продемонстровані всі етапи розробки даного довідника та наведений приклад його використання. Перспективи впровадження концепції Довідників дефектів пов'язані із значними економічними вигодами від їх використання, обумовленими, насамперед, скороченням часу простою обладнання в ремонті.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ASME Boiler and Pressure Vessel Code – Section XI. Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components – 2010 edition, inclusive of all published Addenda, The American Society of Mechanical Engineers, New York. – 543P.
2. Unified Procedure for Lifetime Assessment of Components and Piping in WWER NPPs (VERLIFE). – Version 2011, v.2.– 243P.
3. ПНАЭ Г-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 525с.

REFERENCES

1. ASME Boiler and Pressure Vessel Code – Section XI. Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components – 2010 edition, inclusive of all published Addenda, The American Society of Mechanical Engineers, New York. – 543P [in English].
2. Unified Procedure for Lifetime Assessment of Components and Piping in WWER NPPs (VERLIFE). – Version 2011, v.2.– 243P [in English].
3. PNAE G-7-002-86. Codes for Strength Calculation of Equipment and Pipelines of Nuclear Power Facilities. – Moscow: Energoatomizdat, 1989. – 525c [in Russian].

РЕФЕРАТ

Харитонов Л.В. Концепція довідників дефектів в обладнанні та трубопроводах енергетичних та транспортних систем / Л.В. Харитонов, О.Г. Куценко, І.М. Каденко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

В статті розглянуто один з перспективних підходів до підвищення безпеки експлуатації АЕС – концепцію Довідників дефектів.

Об'єкт дослідження – обладнання та трубопроводи АЕС.

Мета роботи – опис концепції Довідників дефектів і впровадження цієї концепції на конкретному прикладі.

Метод дослідження – чисельні процедури методу скінчених елементів та механіки руйнування.

В сучасних ринкових умовах надзвичайно важлива оптимізація функціонування промислових і транспортних систем з метою підвищення їх ефективності. В роботі описано концепцію Довідників дефектів, прийняту та впроваджену на об'єктах ядерної енергетики провідних країн світу з метою оптимізації процедур ремонту трубопроводів і обладнання внаслідок виникнення в них тріщиноподібних дефектів. Розглянуті та втілені на конкретному прикладі основні етапи розробки Довідника дефектів. Наведено приклад застосування Довідника.

Результати роботи можуть бути впроваджені в процедури експлуатаційного контролю важливих для безпеки обладнання та трубопроводів АЕС.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДОВІДНИК ДЕФЕКТІВ, КРИХКЕ РУЙНУВАННЯ, ВТОМА, МЕТОД СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ДИХАЛЬНИЙ ТРУБОПРОВІД.

ABSTRACT

Kharytonova L.V., Kutsenko O.G., Kadenko I.M. Flaw Handbook Concept for the Pipelines and Equipment of Power and Transport Systems. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The paper focuses on the one of the perspective approaches to the increasing of the safety of Nuclear Power Plants – Flaw Handbook Concept.

Object of study – equipment and piping of Nuclear Power Plants.

Purpose of study – the description of the Flaw Handbook Concept and the application of the concept for the specific example.

Method of the study – numerical procedures of the finite-element method and fracture mechanics.

In the modern economics the optimization of the performance and operation of industry and power systems is of the main importance. The Flaw Handbook Concept is considered in the paper. This concept is applied on the nuclear power plants in the leading states with the aim of the optimization of the procedures of in-service inspection and repair. The main steps of the concept are considered and applied for the specific example. An example of Flaw Handbook using is analysed.

The results of the paper can be incorporated into the procedures of in-service inspection for the safety-significant equipment and piping.

KEYWORDS: FLAW HANDBOOK, BRITTLE FRACTURE, FATIGUE, FINITE-ELEMENT METHOD, SURGE PIPE.

РЕФЕРАТ

Харитонов Л.В. Концепция справочников дефектов в оборудовании и трубопроводах энергетических и транспортных систем / Л.В. Харитонов, А.Г. Куценко, И.Н. Каденко // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье рассмотрен один из перспективных подходов к повышению безопасности эксплуатации АЭС – концепция Справочников дефектов.

Объект исследования – оборудование и трубопроводы АЭС.

Цель работы – описание концепции Справочников дефектов и применение этой концепции на конкретном примере.

Метод исследования – численные процедуры метода конечных элементов и механики разрушения.

В современных рыночных условиях чрезвычайно важна оптимизация функционирования промышленных и транспортных систем с целью повышения их эффективности. В работе описана концепция Справочников дефектов, которая принята и внедрена на объектах ядерной энергетики ведущих стран мира с целью оптимизации процедур ремонта трубопроводов и оборудования вследствие возникновения в них трещиноподобных дефектов. Рассмотрены и применены на конкретном примере основные этапы процедуры разработки Справочника дефектов. Приведен пример использования Справочника.

Результаты работы могут быть внедрены в процедуры эксплуатационного контроля важных для безопасности элементов оборудования и трубопроводов АЭС.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: СПРАВОЧНИК ДЕФЕКТОВ, ХРУПКОЕ РАЗРУШЕНИЕ, УСТАЛОСТЬ, МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ДЫХАТЕЛЬНЫЙ ТРУБОПРОВОД.

АВТОРИ:

Харитонов Леся Василівна, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: kharytonova-lv@ukr.net, тел. +380508001412, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 347а, orcid.org/0000-0002-0108-6702.

Куценко Олексій Григорович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, доцент кафедри механіки суцільних середовищ,

e-mail: alex_kutz@ukr.net, тел.+380973775563, Україна, 03127, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 4е, к. 402, orcid.org/0000-0001-5089-0409.

Каденко Ігор Миколайович, доктор фізико-математичних наук, професор, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, завідувач кафедри ядерної фізики, e-mail: ndef.office@gmail.com, тел.+380442597533, Україна, 03127, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 4е, к.24, orcid.org/0000-0001-8766-4229.

AUTHOR:

Kharytonova Lesia V., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor, National Transport University, associate professor of The Department of Informative Systems and Technologies, e-mail: kharytonova-lv@ukr.net, tel. +380508001412, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka str. 1, of. 347a, orcid.org/0000-0002-0108-6702.

Kutsenko Oleksii G., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor, Taras Shevchenko National University of Kyiv, associate professor of The Department of Mechanics of Continua, e-mail: alex_kutz@ukr.net, tel.+380973775563, Ukraine, 03127, Kyiv, Ave. Academician Glushkov, 4e, of. 402, orcid.org/0000-0001-5089-0409.

Kadenko Igor M. Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Professor, head of the Department of Nuclear Physics, e-mail: ndef.office@gmail.com, tel.+380442597533, Ukraine, 03127, Kyiv, Ave. Academician Glushkov, 4e, of. 24, orcid.org/0000-0001-8766-4229.

АВТОРЫ:

Харитоновна Леся Васильевна, кандидат физико-математических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры информационных систем и технологий, e-mail: kharytonova-lv@ukr.net, тел. +380508001412, Украина, 01010, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 347а, orcid.org/0000-0002-0108-6702.

Куценко Алексей Григорьевич, кандидат физико-математических наук, доцент, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, доцент кафедры механики сплошных сред, e-mail: alex_kutz@ukr.net, тел.+380973775563, Украина, 03127, г. Киев, просп. Академика Глушкова, 4е, к. 402, orcid.org/0000-0001-5089-0409.

Каденко Игорь Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, заведующий кафедрой ядерной физики, e-mail: ndef.office@gmail.com, тел.+380442597533, Украина, 03127, г. Киев, просп. Академика Глушкова, 4е, к. 24, orcid.org/0000-0001-8766-4229.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гавриленко В.В., доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних систем і технологій Національного транспортного університету, Київ, Україна

Лимарченко О.С., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри механіки суцільних середовищ Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

REVIEWER:

Gavrylenko V.V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, head of the Department of Informative Systems and Technologies, National Transport University, Kyiv, Ukraine

Lymarchenko O.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, head of the Department of Mechanics of Continua, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

ФОРМУВАННЯ СИСТЕМИ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ В ПРОЕКТАХ БУДІВНИЦТВА ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Хрутьба В.О., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, viktoriia.khrutba@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8121-2042

Зюзюн В.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, vadim1489_@ukr.net, orcid.org/0000-0001-6566-8798

Барабаш О.В., кандидат біологічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, el_barabash@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5206-2922

Неведров Д.С., Національний транспортний університет, Київ, Україна, viktoriia.khrutba@gmail.com, orcid.org/0000-0001-7213-6159

FORMATION OF A SYSTEM OF CRITERIA FOR ASSESSING THE ENVIRONMENTAL IMPACT IN CONSTRUCTION AND RECONSTRUCTION PROJECTS OF CRITICAL INFRASTRUCTURE

Khrutba V.O., Doctor in Technical Science., National Transport University, Kyiv, Ukraine, viktoriia.khrutba@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8121-2042

Ziuziun V.I., PhD, National Transport University, Kyiv, Ukraine, vadim1489_@ukr.net, orcid.org/0000-0001-6566-8798

Barabash O.V. PhD, National Transport University, Kyiv, Ukraine, el_barabash@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5206-2922

Nevedrov D.S., National Transport University, Kyiv, Ukraine, viktoriia.khrutba@gmail.com, orcid.org/0000-0001-7213-6159

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ В ПРОЕКТАХ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Хрутьба В.О., доктор технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, viktoriia.khrutba@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8121-2042

Зюзюн В.И., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, vadim1489_@ukr.net, orcid.org/0000-0001-6566-8798

Барабаш Е.В., кандидат биологических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, el_barabash@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5206-2922

Неведров Д.С., Национальный транспортный университет, Киев, Украина, viktoriia.khrutba@gmail.com, orcid.org/0000-0001-7213-6159

Постановка проблеми. Проведений аналіз літературних джерел показав, що в Україні не існує єдиної системи критеріїв оцінки впливу на довкілля проектів будівництва та реконструкції об'єктів критичної інфраструктури (КІ). Даний недолік є актуальним не лише з точки зору досліджень в сфері проектної діяльності, але й в аспекті можливих механізмів ідентифікації негативного впливу на стан довкілля, який можуть спричинити будівництво та реконструкція об'єктів критичної інфраструктури.

Оцінка впливу на довкілля, яка полягає у визначенні загроз та небезпек природного і техногенного характеру, в різноманітних проектах, у тому числі і проектах будівництва та реконструкції об'єктів КІ, в більшості випадків лежить в площині невизначеності і найчастіше здійснюється за допомогою аналізу технічної документації, аналітичної та інших видів інформаційних ресурсів. При цьому керівник проекту може використовувати наявну у нього інформацію і свої власні особисті судження, досвід для ідентифікації та визначення суб'єктивної вірогідності можливих загроз та небезпек, а також оцінки можливих результатів для кожної критеріальної альтернативи.

Проте полегшити процеси здійснення процедур пов'язаних з ОВД проектів будівництва та реконструкції об'єктів критичної інфраструктури зможе наявність системи критеріїв. Тому питанню формуванню системи критеріїв оцінки впливу на довкілля в проектах будівництва та реконструкції об'єктів критичної інфраструктури буде присвячено дане дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні роки питання функціонування об'єктів критичної інфраструктури та її захисту розглядалося у низці робіт, зокрема, Д.С. Бірюкова [1], С.О. Гнатюка, О.М. Суходолі, Ю.І. Бабича, Ю.П. Рака, О.Б. Зачка [2], В.М. Лядовської [3], В.О. Євсєєва [4], М.А. Потєєвої [5]. Питання програмного та проектного управління представлені в роботах С.Д. Бушуєва [6], Н.С. Бушуєвої, В.А. Рача, Ф.А. Ярошенка [7], Х. Танаки [7].

Метою роботи є формування системи критеріїв оцінки впливу на довкілля в проектах будівництва та реконструкції об'єктів критичної інфраструктури для ідентифікації можливих небезпек та загроз для довкілля проектів даного типу.

Виклад основного матеріалу. Розробка критеріїв та показників оцінювання впливу об'єктів КІ на довкілля вимагає знання про особливості об'єктів КІ, параметри та складні взаємозв'язки аспектів сталого розвитку в цілому, та яким чином все це застосовується до об'єктів КІ, зокрема.

Критерії та показники представляють аспекти об'єктів КІ, які потенційно можуть впливати на екологічну стійкість. Основні зони захисту стосовно об'єктів КІ: екосистема; природні ресурси; здоров'я та процвітання; соціальна рівність; культурна спадщина; економічне процвітання; економічний капітал.

Під час розробки критеріїв впливу об'єктів КІ і методів їхнього вимірювання (обрахунку) розглядають усі стадії життєвого циклу об'єктів КІ.

Критерії та показники впливу на довкілля визначають впродовж усього життєвого циклу об'єктів КІ із дотриманням основних принципів викладених у ДСТУ ISO 14040, а саме, розмежовують: стадію проектування, стадію будівництва чи реконструкції, стадію експлуатації та стадію завершення життєвого циклу.

Якість процесів і видів діяльності щодо проектування, будівництва та експлуатації об'єктів КІ також можуть застосовувати як критерій екологічного впливу.

В таблиці 1 представлено базові критерії та показники їх оцінювання, а також особливості впливу на довкілля об'єктів КІ, зокрема:

- базові критерії, що оцінюють впливи на довкілля;
- показники, які характеризують впливи на довкілля об'єктів КІ.

На рис. 1 сформовано морфологічну структуру критеріїв оцінки впливу на довкілля в проектах будівництва та реконструкції об'єктів КІ.

Таблиця 1 – Основні впливи на довкілля об'єктів КІ, які становлять базові критерії та показники оцінки впливу на довкілля проектів будівництва та реконструкції об'єктів критичної інфраструктури

Table 1 – Main environmental impacts of CI facilities, which constitute the baseline criteria and indicators for the environmental impact assessment of construction and reconstruction projects for critical infrastructure

Блок	Критерій	Показник
1	Якість приземного шару атмосферного повітря	Масова концентрація забруднюючої речовини у приземному шарі атмосферного повітря за певний проміжок часу у визначеній зоні впливу об'єкта КІ
		Масова концентрація твердих забруднюючих речовин (пилу)
2	Поводження з відходами	Кількість (обсяг) утворення відходів
		Застосування безпечних технологій поводження з відходами
3	Фізичні чинники впливу на довкілля	Акустичний вплив на довкілля
		Вплив вібрації
4	Соціальне середовище	Транспортна доступність об'єкта КІ до основних об'єктів життєзабезпечення
		Умови проживання населення в зоні впливу об'єкта КІ
5	Техногенне середовище	Вплив небезпек природного характеру при будівництві та реконструкції об'єкта КІ
		Вплив небезпек техногенного характеру при будівництві та реконструкції об'єкта КІ

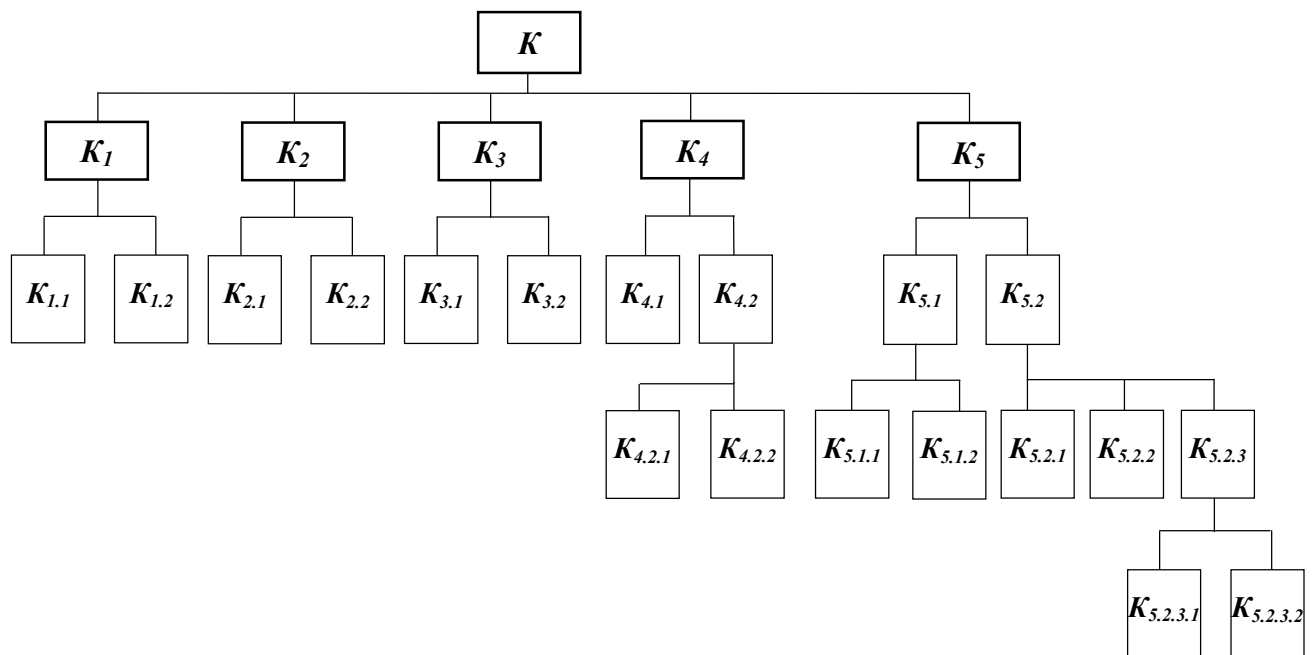


Рисунок 1 – Морфологічна структура критеріїв оцінки впливу на довкілля в проектах будівництва та реконструкції об'єктів КІ

Figure 1 – Morphological structure of the environmental impact assessment criteria for construction and reconstruction projects for CI facilities

Представимо критерії наведені на рис. 1 в сукупності множин:

$$K = (K_1, K_2, K_3, K_4, K_5), \quad (1)$$

K_1 – якість приземного шару атмосферного повітря; K_2 – поводження з відходами; K_3 – фізичні чинники впливу на довкілля; K_4 – вплив на соціальне середовище; K_5 – техногенне середовище.

$$K_1 = (K_{1.1}, K_{1.2}), \quad (2)$$

$K_{1.1}$ – масова концентрація забруднюючої речовини у приземному шарі атмосферного повітря за певний проміжок часу у визначеній зоні впливу об'єкта КІ; $K_{1.2}$ – масова концентрація твердих забруднюючих речовин (пилу).

$$K_2 = (K_{2.1}, K_{2.2}), \quad (3)$$

$K_{2.1}$ – кількість (обсяг) утворення відходів; $K_{2.2}$ – застосування безпечних технологій поводження з відходами.

$$K_3 = (K_{3.1}, K_{3.2}), \quad (4)$$

$K_{3.1}$ – акустичне забруднення довкілля; $K_{3.2}$ – вібраційне забруднення довкілля.

$$K_4 = (K_{4.1}, K_{4.2}), \quad (5)$$

$K_{4.1}$ – транспортна доступність об'єкту КІ до основних об'єктів життєзабезпечення; $K_{4.2}$ – умови проживання населення в зоні впливу об'єкту КІ.

$$K_{4.2} = (K_{4.2.1}, K_{4.2.2}), \quad (6)$$

$K_{4.2.1}$ – якість базових послуг; $K_{4.2.2}$ – наближеність до базових послуг.

$$K_5 = (K_{5.1}, K_{5.2}), \quad (7)$$

$K_{5.1}$ – вплив небезпек природного характеру при будівництві чи реконструкції об'єкту КІ; $K_{5.2}$ – вплив небезпек техногенного характеру при будівництві чи реконструкції об'єкту КІ.

$$K_{5.1} = (K_{5.1.1}, K_{5.1.2}), \quad (8)$$

$K_{5.1.1}$ – стійкість об'єкту КІ до несприятливих погодних умов, таких як сильний вітер, зливи, снігопад і повінь; $K_{5.1.2}$ – стійкість об'єкту КІ до виняткових навантажень що є наслідком землетрусу, повінь, сейсмічні небезпеки тощо.

$$K_{5.2} = (K_{5.2.1}, K_{5.2.2}, K_{5.2.3}), \quad (9)$$

$K_{5.2.1}$ – техногенна небезпека при будівництві та реконструкції об'єкту КІ; $K_{5.2.2}$ – техногенна небезпека при експлуатації об'єкту КІ; $K_{5.2.3}$ – протипожежна безпека об'єкту КІ.

$$K_{5.2.3} = (K_{5.2.3.1}, K_{5.2.3.2}), \quad (10)$$

$K_{5.2.3.1}$ – стійкість об'єкту КІ до пожежних навантажень; $K_{5.2.3.2}$ – здатність персоналу об'єкту КІ забезпечити безпечний та міцний протипожежний захист.

Здійснимо деталізацію запропонованих вище критеріїв ОВД об'єктів КІ.

1. Якість приземного шару атмосферного повітря

Цей критерій оцінює вплив на якість приземного шару атмосферного повітря при будівництві чи експлуатації об'єктів КІ.

Критерій включає такі показники: масова концентрація забруднюючої речовини у приземному шарі атмосферного повітря за певний проміжок часу у визначеній зоні впливу об'єктів КІ; масова концентрація твердих забруднюючих речовин (пилу).

1.1 Масова концентрація забруднюючої речовини у приземному шарі атмосферного повітря за певний проміжок часу у визначеній зоні впливу об'єктів КІ

Цей критерій визначає масові концентрації забруднюючих речовин у приземному шарі атмосферного повітря за певний проміжок часу у визначеній зоні розміщення об'єктів КІ. Викиди забруднюючої речовини можуть бути наслідком впливу процесів при будівництві об'єктів КІ.

Викиди забруднюючих речовин включають: викиди пароподібних та газоподібних неорганічних сполук; викиди забруднюючих речовин, віднесених до органічних сполук.

Для оцінювання масової концентрації забруднюючих речовин у приземному шарі атмосферного повітря за певний проміжок часу у визначеній зоні впливу об'єкта КІ з технічної документації визначають масові концентрації забруднюючих речовин, наприклад: Сульфур (IV) оксиду, Карбон (II) тощо. Вибираємо рецепторні точки, в яких здійснюють визначення впливу забруднюючої речовини.

1.2 Масова концентрація твердих забруднюючих речовин (пилу)

Цей критерій оцінює викиди твердих забруднюючих речовин у довкілля (пил), та визначає вміст твердих часток (TC_{10} , $TC_{2.5}$) та/або загальний вміст зважених часток (ЗЗЧ), викиди суспендованих твердих частинок (мікрочастинки та волокна); викиди речовин у вигляді суспендованих твердих частинок забруднюючі речовини, визначені як канцерогенні речовини та викиди суспендованих твердих частинок, недиференційованих за складом.

Визначення вимог для оцінки концентрацій твердих часток (PM_{10} і $PM_{2.5}$) в межах зони або агломерації приведено в [7]. Там же приведено еталонні методи оцінки концентрацій твердих часток (PM_{10} і $PM_{2.5}$).

Для оцінювання концентрацій твердих часток (PM_{10} і $PM_{2.5}$) у приземному шарі атмосферного повітря за певний проміжок часу у визначеній зоні впливу об'єктів КІ з технічної документації визначають концентрації твердих часток (PM_{10} і $PM_{2.5}$) окремих забруднюючих речовин. Вибираємо рецепторні точки, в яких здійснюють визначення впливу забруднюючої речовини.

2. Поводження з відходами

2.1 Кількість (обсяг) утворення відходів

Цей критерій визначає загальний обсяг утворення відходів I – IV класів небезпеки, що утворені внаслідок будівництва, експлуатації, реконструкції та подальшої деконструкції (демонтажу, знесення) об'єктів КІ до її повної ліквідації, включаючи, наприклад, відходи, утворені внаслідок знесення об'єктів КІ, тверді побутові відходи, що не використовуються повторно чи переробляються тощо. Серед них значну небезпеку для навколишнього природного середовища та здоров'я людини становлять неутилізовані небезпечні відходи, які утворюються в процесі технологічного циклу будівництва чи реконструкції об'єктів КІ. Ці відходи потребують спеціальних методів і засобів поводження з ними. Клас небезпеки відходів визначається їх токсичністю [8].

З технічної документації визначають вид, кількість утворених відходів, клас їх небезпеки та особливості утилізації. Рівень небезпечності утворених відходів ($K_{\text{небезпеч.відх.}}$) визначають як:

$$K_{\text{небезпечн.відх.}} = \frac{m_{\text{відх. I-II кл.}}}{m_{\text{відходів}}}, \quad (11)$$

де $m_{\text{відх. I-II кл.}}$ та $m_{\text{відходів}}$ – маса відходів, що належать до I і II класів небезпеки та загальна маса відходів, що утворилось підчас будівництва, експлуатації, реконструкції, деконструкції чи повної ліквідації об'єктів КІ, т.

2.2 Застосування безпечних технологій поводження з відходами

Цей критерій визначає екологічну ефективність системи поводження з відходами, що утворені внаслідок будівництва та реконструкції об'єктів КІ, включаючи дії, спрямовані на запобігання утворенню відходів, їх збирання, перевезення, зберігання, оброблення, утилізацію, видалення, знешкодження і захоронення, включаючи контроль за цими операціями та нагляд за місцями видалення.

Застосування безпечних технологій поводження з відходами передбачає впровадження технологій запобігання утворенню відходів, в тому числі повторне використання відходів (їх рециклінг), розділення та переробку відходів, застосування компостування органічних відходів

З технічної документації визначаємо яка кількість відходів повторно використовується, підлягає повторній переробці, сортуванню тощо. Рівень застосування безпечних технологій поводження з відходами ($K_{\text{безпеч.техн.}}$) визначаємо як:

$$K_{\text{безпечн.техн.}} = \frac{T_{\text{безпеч.техн.}}}{T_{\text{поводж.відх.}}}, \quad (12)$$

де $\sum_{i=1}^n m_i^{\text{безпеч.техн.}}$ та $m_{\text{відходів}}$ – сумарна маса відходів, що підлягають повторному

використанню, переробці, сортуванню тощо та загальна маса $T_{\text{безпеч.техн.}}$ – кількість безпечних технологій поводження з відходами, $T_{\text{поводж.відход.}}$ – загальна кількість методів поводження з відходами, що утворилось підчас будівництва чи реконструкції об'єкта КІ, т.

3. Фізичні чинники впливу на довкілля

Цей критерій дозволяє здійснити оцінку впливів фізичних чинників на довкілля.

3.1 Акустичне забруднення довкілля

Цей критерій визначає рівень шумового (акустичного) навантаження, яке здійснює транспортна споруда в сільбищній території та/або житловій забудові в різний час доби. Акустичне забруднення спричинено наближеністю житлової зони до автошляхів із високою інтенсивністю руху.

Оцінку шумового (акустичного) навантаження транспортної споруди на прилеглу територію визначають на стадії інженерно-технічних вишукувань та при розробленні проектної документації на її будівництво автомобільних доріг. Оцінювання впливу акустичного забруднення процесів будівництва, експлуатації та реконструкції об'єктів КІ набуває особливого значення в сільбищній території (в житловій зоні), де мешканці та їх діти проводять час у відкритих просторах житлової забудови.

Для оцінювання шумового (акустичного) впливу транспортної споруди вибираємо розрахункові точки, в яких здійснюють визначення еквівалентного ($L_{\text{Аекв}}$) і максимального ($L_{\text{Амакс}}$) рівнів звуку впливу на прилеглий сільбищній території (житловій зоні) або поза нею в певний час доби за проміжок часу. З технічної документації визначають необхідні дані.

3.2 Вібраційне забруднення

Цей критерій визначає рівень впливу загальної вібрації на навколишнє середовище. Відповідно [10] транспортні засоби (повітряні, наземні та водні), машини (наприклад, що їх використовують в промисловості та сільському господарстві) і виробнича діяльність (така як забивання паль та вибухові роботи при будівництві об'єктів КІ) спричиняють періодичну, випадкову і перехідну механічну вібрацію, що може зашкодити комфорту, діяльності та здоров'ю людини.

При дії постійної локальної та загальної вібрації параметром, що нормується [11], є середньоквадратичне значення віброшвидкості (м/с) та віброприскорення (м/с²). Основною величиною вібрації є віброприскорення. Методи для вимірювання періодичної, випадкової і перехідної загальної вібрації та методи визначення значення віброприскорення приведено в [12].

4. Вплив на соціальне середовище

Цей критерій визначає вплив об'єктів КІ на соціальне середовище в зоні будівництва чи реконструкції об'єктів КІ.

Вимоги до планування і забудови територій, правила планування та забудови населених пунктів, правила утримання територій населених місць визначено у [13-14].

Для визначення критеріїв необхідна базова інформація про соціальне середовище в зоні будівництва чи реконструкції об'єктів КІ, зокрема наявність і кількість населених пунктів; їх розташування, системи розселення і чисельності населення, ступеня його зайнятості; характер та розміщення прилеглої до об'єкта проектування житлової та громадської забудови.

Критерій включає такі показники: транспортна доступність об'єктів КІ до основних об'єктів життєзабезпечення; умови проживання населення в зоні впливу об'єктів КІ.

4.1 Транспортна доступність об'єктів КІ до основних об'єктів життєзабезпечення

Цей критерій визначає рівень транспортної доступності в процесі будівництва чи реконструкції об'єктів КІ до основних об'єктів життєзабезпечення, а саме, можливість проїзду до місць трудової діяльності та соціально-побутового забезпечення у всі пори року.

Критерій включає такі показники: застосування транспортних засобів для людей з обмеженими можливостями; забезпечення частоти курсування транспортних засобів.

4.2 Умови проживання населення в зоні впливу об'єктів КІ

Цим критерієм оцінюються рівень комфортності проживання населення в зоні будівництва чи реконструкції об'єктів КІ. Критерій характеризує забезпечення базових умов проживання населення економічні інтереси та землекористування, розміщення промислових та інших підприємств, доступність соціальних об'єктів, збереження існуючої системи зв'язків, наявність об'єктів наукового, духовного значення, культури, археології, заповідних територій, цінних природних об'єктів тощо.

Критерій включає: якість базових послуг; наближеність до базових послуг.

4.2.1 Якість базових послуг

Даними для визначення критерію є опис соціальної інфраструктури, наявність закладів медичної допомоги, закладів освіти та культури, закладів дошкільної освіти, заклади роздрібно торгівлі тощо; їх характеристика та якість надання послуг цими закладами.

4.2.2 Наближеність до базових послуг

Критерій визначає відстань, яку необхідно здолати до закладів, що надають базові послуги населенню в зоні впливу об'єктів КІ, а саме, пункти надання первинної медичної допомоги, магазини тощо. Критерій оцінює рівень наближеності до базових послуг при будівництві чи реконструкції об'єктів КІ.

5. Техногенне середовище

Цим критерієм вимірюється вплив будівництва чи реконструкції об'єктів КІ на техногенне середовище. Критерій дозволяє визначити стійкість об'єктів КІ під час природних або техногенних небезпек.

Стійкістю об'єктів КІ називається стан, який дозволяє системі витримувати зміни стану зовнішнього виробничого середовища внаслідок від небезпеки природного та/або техногенного характеру. Об'єкт КІ може бути названа «стійкою», якщо вона в змозі впоратися з впливами природного та/або техногенного характеру з мінімальними збитками або втратами функціональності. Техногенно небезпечним є стан, що може реалізовуватися у вигляді впливу джерела техногенної небезпеки на людину або навколишнє середовище у вигляді прямого або непрямого збитку для людини і навколишнього середовища в процесі нормальної експлуатації об'єкту.

Критерій включає: 1) вплив небезпек природного характеру при будівництві чи реконструкції об'єктів КІ; 2) вплив небезпек техногенного характеру при будівництві чи реконструкції об'єктів КІ.

5.1 Вплив небезпек природного характеру при будівництві чи реконструкції об'єктів КІ

Цим критерієм оцінюється вплив природних небезпек під час будівництва та реконструкції об'єктів КІ та можливі ризики соціальної та екологічної небезпеки, які викликані надзвичайною ситуацією природного характеру. Види надзвичайних ситуацій та їх класифікація приведено в [12-13].

Критерій включає: 1) стійкість об'єктів КІ до несприятливих погодних умов, таких як сильний вітер, зливи, снігопад і повінь; 2) стійкість об'єктів КІ до виняткових навантажень що є наслідком землетрусу, повінь, сейсмічні небезпеки тощо.

5.1.1 Стійкість об'єктів КІ до несприятливих погодних умов, таких як сильний вітер, зливи, снігопад і повінь

Цим критерієм оцінюється стійкість об'єктів КІ до несприятливих погодних умов, таких як сильний вітер, зливи, снігопад і повінь та можливі ризики соціальної та екологічної безпеки, які мають місце під час будівництва та реконструкції об'єктів КІ.

Для оцінки критерію визначають статистичні дані про наявні несприятливі погодні умови, такі як сильний вітер, зливи, снігопади і повені, які мали місце на території, що використовується під час будівництва та реконструкції об'єктів КІ; особливості економічних і соціальних умов регіону; оцінюються можливі наслідки тощо.

5.1.2 Стійкість об'єктів КІ до виняткових навантажень що є наслідком землетрусу, повінь, сейсмічні небезпеки тощо

Цим критерієм оцінюється стійкість об'єктів КІ до виняткових навантажень що є наслідком землетрусу, повінь, сейсмічні небезпеки тощо та можливі ризики соціальної та екологічної безпеки, які мають місце під час будівництва, експлуатації та реконструкції об'єктів КІ [15].

Для оцінки критерію визначають статистичні дані про наявні виняткові навантаження на об'єкти КІ, що є наслідком землетрусу, повені, сейсмічних небезпек тощо, які мали місце на території, що використовується під час будівництва, експлуатації та реконструкції об'єктів КІ; особливості економічних і соціальних умов регіону; оцінюються можливі наслідки тощо.

5.2 Вплив небезпек техногенного характеру при будівництві чи реконструкції об'єктів КІ

Цим критерієм оцінюється вплив небезпек техногенного характеру на об'єкти КІ та можливі ризики соціальної та екологічної безпеки, які викликані надзвичайною ситуацією техногенного характеру під час будівництва, експлуатації та реконструкції об'єктів КІ. Критерій виражає здатність об'єктів КІ забезпечити їй безпечну експлуатацію. Додатковим аспектом безпеки є експлуатаційна придатність об'єктів КІ та обмеження потенційного ризику втрати стійкості, падіння та інших аварійних випадків.

Критерій включає: техногенну небезпеку при будівництві та реконструкції об'єктів КІ, техногенну небезпеку при експлуатації об'єктів КІ, протипожежну безпеку об'єктів КІ.

5.2.1 Техногенна небезпека при будівництві та реконструкції об'єктів КІ

Цим критерієм оцінюється рівень техногенної небезпеки при будівництві та реконструкції об'єктів КІ. Для оцінки критерію визначають статистичні дані про виробничі аварії, транспортні пригоди, нещасні випадки, які мали місце під час будівництва та/або реконструкції об'єктів КІ різного типу, вивчаються причини їх виникнення, наслідки тощо.

5.2.2 Техногенної небезпека при експлуатації об'єктів КІ

Цим критерієм оцінюється рівень техногенної небезпеки при експлуатації об'єктів КІ. Порядок проведення аналізу небезпеки та оцінки ризику об'єктів підвищеної небезпеки визначено в [15].

5.2.3 Протипожежна безпека об'єктів КІ

Критерій оцінює рівень протипожежної безпеки та визначає здатність транспортно споруди забезпечити безпечний та міцний захист користувачів і об'єктів КІ, а також потенційний ризик пожежної небезпеки процесів будівництва, експлуатації та реконструкції об'єктів КІ.

5.2.3.1 Стійкість об'єктів КІ до пожежних навантажень

Цим критерієм оцінюється стійкість об'єктів КІ до пожежних навантажень та можливі ризики соціальної та екологічної безпеки, які мають місце під час будівництва чи реконструкції об'єктів КІ.

Порядок проведення аналізу небезпеки та оцінки ризику об'єктів підвищеної небезпеки визначено в [16]. Для оцінки критерію визначають характеристики речовин, матеріалів та конструкцій, що використовується під час будівництва, експлуатації та реконструкції об'єктів КІ; показники їх пожежовибухонебезпечності; оцінюються можливі виникнення пожежі тощо.

5.2.3.2 Здатність об'єктів КІ забезпечити безпечний та міцний протипожежний захист

Цим критерієм оцінюється здатність об'єктів КІ забезпечити безпечний та міцний протипожежний захист, в тому числі раннє попередження про виникнення пожежі та наявність засобів евакуації з урахуванням різних сценаріїв виникнення пожежі при будівництві чи реконструкції об'єктів КІ.

Для оцінки критерію визначають наявність системи протипожежної сигналізації, системи пожежогасіння, системи оповіщення про пожежу і управління евакуацією людей, системи протидимного захисту, тощо; наводиться характеристика кожної системи та визначається рівень її відповідності.

Висновок. В дослідженні на основі існуючих підходів до ідентифікації та систематизації критеріїв оцінки було розроблено систему критеріїв для оцінки впливу на довкілля проектів будівництва та реконструкції об'єктів критичної інфраструктури. Дана система критеріїв оцінки впливу на довкілля в першу чергу актуальна для об'єктів критичної інфраструктури транспорту. Запропонована система

критеріїв складається з п'яти основних блоків критеріїв, а саме: якість приземного шару атмосферного повітря, поводження з відходами, фізичні чинники впливу на довкілля, соціальне середовище та техногенне середовище. Кожен із зазначених блоків критеріїв містить показники які його деталізують.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бірюков Д. С. Захист критичної інфраструктури в Україні: від наукового осмислення до розробки засад політики / Д. С. Бірюков // Науково-інформаційний вісник Академії національної безпеки. – 2015. – № 3-4. – С. 155-170.
2. Зачко О.Б. Моделі управління безпекою інфраструктурних проектів на стадії планування / О.Б. Зачко, Д.С. Кобилкін, Р.Р. Головатий // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія : Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами . – 2019. – № 2. – С. 43-49.
3. Лядовська В.М. Визначення критичної інформаційної інфраструктури та її захист: аналіз підходів / В.М. Лядовська, М.О. Рябий, С.О. Гнатюк // Зв'язок. – 2014. – №4. – С. 3-7.
4. Євсєєв В.О. Можливі шляхи удосконалення захисту критичної інфраструктури України з урахуванням світового досвіду / В.О. Євсєєв // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2016. – № 4(49). – С. 168-172.
5. Потєєва М.А. Удосконалення механізму державного регулювання транспортної інфраструктури України / М.А. Потєєва // Продуктивні сили і регіональна економіка. – 2008. – Ч. 2. – С. 127-133.
6. Ярошенко Ф.А. Управление инновационными проектами и программами на основе системы знаний Р2М: монография / Ярошенко Ф.А., Бушуев С.Д., Танака Х. – К.: «Саммит-Книга», 2012. – 272 с.
7. Директива 2008/50/ЄС Європейського парламенту та ради від 21 травня 2008 року про якість атмосферного повітря та чистіше повітря для Європи.
8. Директива Ради «Про небезпечні відходи» №91/689 ЄС від 16.12.2008 р. затверджена Регламентом (ЄС) №1272/2008 Європейського Парламенту та Ради.
9. ДСТУ-Н Б В.1.1-33:2013 Настанова з розрахунку та проектування захисту від шуму сельбищних територій, Мінрегіон України, Київ, 2014, 46 с.
10. ДСТУ ISO 2631-1:2004. Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину, Держспоживстандарт України, 2004 р., № 268.
11. ДСН 3.3.6.039-99 Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації, МОЗ України, 1999 р., № 39.
12. ДСТУ ISO 2631-1:2004. Вібрація та удар механічні. Оцінка впливу загальної вібрації на людину.
13. ДСанПіН Державні санітарні норми та правила утримання територій населених місць, Наказ МОЗ від 17.03.2011, № 145.
14. ДБН Б.2.2-12:2018 Планування і забудова територій Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства Київ, 2018, 187 с.
15. Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки, Наказ Міністерства праці та соціальної політики України N 637 від 04.12.2002.
16. ДСТУ 3855-99 Пожежна безпека. Визначення пожежної небезпеки матеріалів та конструкцій.

REFERENCES

1. Birjukov D.S. Zahyst krytychnoji infrastruktury v Ukraini: vid naukovoogo osmyslennja do rozrobky zasad polityky [Protecting critical infrastructure in Ukraine: from scientific thinking to policy formulation]. Naukovo-informacijnyj visnyk Akademiji nacional'noji bezpeky, 2015, issue 3-4, pp. 155-170.
2. Zachko O.B., Kobylkin D.S., Holovatyj R.R. Modeli upravlinnja bezpekoju infrastrukturykh proektiv na stadiji planuvannja [Models of safety management of infrastructure projects at the planning stage]. Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI». Serija : Stratehichne upravlinnja, upravlinnja portfeljamy, prohramamy ta proektamy, 2019, issue 2, pp. 43-49.
3. Ljadovs'ka V.M. Vyznachennja krytychnoji informacijnoji infrastruktury ta jiji zahyst: analiz pidhodiv [Definition of critical information infrastructure and its protection: analysis of approaches]. Zv'jazok, 2014, issue 4, pp. 3-7.
4. Jevsjejev V.O. Mozhlyvi shljahy udoskonalennja zahystu krytychnoji infrastruktury Ukrainy z urahuvannjam svitovogo dosvidu [Possible ways to improve the protection of critical infrastructure of Ukraine in the light of world experience]. Zbirnyk naukovykh prac' Harkivs'kogo nacional'nogo universytetu Povitrynyh Syl, 2016, issue 4 (49), pp. 168-172.

5. Potejeva M.A. Udoshkonalennja mehanizmu derzhavnogo reguljuvannja transportnoji infrastruktury Ukrainy [Improvement of the mechanism of state regulation of transport infrastructure of Ukraine]. *Produktyvni syly i regional'na ekonomika*, 2008, issue 2, pp. 127-133.
6. Jaroshenko F.A., Bushuev S.D., Tanaka H. *Upravlenie innovacionnymi proektami i programmami na osnove sistemy znanij R2M: monografija* [Management of innovative projects and programs based on P2M knowledge system: monograph]. Kyjiv, «Sammit-Kniga», 2012, 272 p.
7. Dyrektyva 2008/50/JeS Jevropejs'kogo parlamentu ta rady vid 21 travnja 2008 roku pro jakist' atmosferного povitlja ta chystishe povitlja dlja Jevropy.
8. Dyrektyva Rady «Pro nebezpechni vidhody» №91/689 JeS vid 16.12.2008 r. zatverdzhena Reglamenteom (JeS) №1272/2008 Jevropejs'kogo Parlamentu ta Rady.
9. DSTU-N B V.1.1-33:2013 Nastanova z rozrahunku ta proektuvannja zahystu vid shumu sel'byshhnyh terytorij, Minregion Ukrai'ny, Kyi'v, 2014, 46 s.
10. DSTU ISO 2631-1:2004. Vibracija ta udar mehanichni. Ocinka vplyvu zagal'noi' vibracii' na ljudynu, Derzhspozhyvstandart Ukrai'ny, 2004 r., № 268.
11. DSN 3.3.6.039-99 Derzhavni sanitarni normy vyrobnychoi' zagal'noi' ta lokal'noi' vibracii', MOZ Ukrai'ny, 1999 r., № 39.
12. DSTU ISO 2631-1:2004. Vibracija ta udar mehanichni. Ocinka vplyvu zagal'noi' vibracii' na ljudynu.
13. DSanPiN Derzhavni sanitarni normy ta pravyla utrymannja terytorij naselenyh misc', Nakaz MOZ vid 17.03.2011, № 145.
14. DBN B.2.2-12:2018 Planuvannja i zabudova terytorij Ministerstvo regional'nogo rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunal'nogo gospodarstva Kyi'v, 2018, 187 s.
15. Metodyka vyznachennja ryzykiv ta i'h pryjnatnyh rivniv dlja deklaruvannja bezpeky ob'ektiv pidvyshhenoi' nebezpeky, Nakaz Ministerstva praci ta social'noi' polityky Ukrai'ny N 637 vid 04.12.2002.
16. DSTU 3855-99 Pozhezhna bezpeka. Vyznachennja pozhezhnoi' nebezpeky materialiv ta konstrukcij.

РЕФЕРАТ

Хрутьба В.О. Формування системи критеріїв оцінки впливу на довкілля в проєктах будівництва та реконструкції об'єктів критичної інфраструктури / В.О. Хрутьба, В.І. Зюзюн, О.В. Барабаш, Д.С. Неvedров // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

В статті на основі існуючих підходів до ідентифікації та систематизації критеріїв оцінки було розроблено систему критеріїв для оцінки впливу на довкілля проєктів будівництва та реконструкції об'єктів критичної інфраструктури. Запропонована система критеріїв оцінки впливу на довкілля в першу чергу актуальна для об'єктів критичної інфраструктури транспорту.

Мета роботи – формування системи критеріїв оцінки впливу на довкілля в проєктах будівництва та реконструкції об'єктів критичної інфраструктури для ідентифікації можливих небезпек та загроз для довкілля проєктів даного типу.

Методи дослідження – методології управління проєктами і програмами; механізми ідентифікації та систематизації критеріїв.

Розроблена система критеріїв складається з п'яти основних блоків критеріїв, а саме: якість приземного шару атмосферного повітря, поведження з відходами, фізичні чинники впливу на довкілля, соціальне середовище та техногенне середовище. Кожен із зазначених блоків критеріїв містить показники які його деталізують.

Результати статті можуть бути впроваджені при здійсненні процедури оцінки впливу на довкілля проєктів будівництва та реконструкції об'єктів критичної інфраструктури.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – розробка методу оцінки впливу на довкілля проєктів будівництва та реконструкції об'єктів критичної інфраструктури транспорту.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТРАНСПОРТ, БЕЗПЕКА, ПРОЄКТ, ОБ'ЄКТ, КРИТИЧНА ІНФРАСТРУКТУРА, КРИТЕРІЙ, ЗАХИСТ.

ABSTRACT

Khrutba V.A., Ziuziun V.I., Barabash O.V., Nevedrov D.S. Formation of a System of Criteria for Assessing the Environmental Impact in Construction and Reconstruction Projects of Critical Infrastructure. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue. 1 (46).

In the article, based on existing approaches to the identification and systematization of assessment criteria, a system of criteria has been developed to assess the environmental impact of construction projects and the reconstruction of critical infrastructure. The proposed system of environmental impact assessment criteria is first and foremost relevant to critical transport infrastructure.

Purpose of the study – creation of a system of environmental impact assessment criteria in construction projects and the reconstruction of critical infrastructure to identify potential environmental hazards and threats to projects of this type.

Method of the study – methodology of project and program management; mechanisms for identification and systematization of criteria.

A system of criteria has been developed consisting of five main blocks of criteria, namely: the quality of the surface layer of atmospheric air, waste management, physical factors of influence, social environment and industrial environment. Each of these blocks of criteria contains indicators that detail them.

The results of the article can be implemented in the process of environmental impact assessment of construction projects and reconstruction of critical infrastructure.

Forecast assumptions about the object of study – developing a method for assessing the environmental impact of construction and reconstruction projects for critical transport infrastructure.

KEY WORDS: TRANSPORT, SECURITY, PROJECT, OBJECT, CRITICAL INFRASTRUCTURE, CRITERIA, PROTECTION.

РЕФЕРАТ

Хрутьба В.А. Формирование системы критериев оценки воздействия на окружающую среду в проектах строительства и реконструкции объектов критической инфраструктуры / В.А. Хрутьба, В.И. Зюзюн, Е.В. Барабаш, Д.С. Неведров // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье на основе существующих подходов к идентификации и систематизации критериев оценки была разработана система критериев для оценки воздействия на окружающую среду проектов строительства и реконструкции объектов критической инфраструктуры. Предложенная система критериев оценки воздействия на окружающую среду в первую очередь актуальна для объектов критической инфраструктуры транспорта.

Цель работы – формирование системы критериев оценки воздействия на окружающую среду в проектах строительства и реконструкции объектов критической инфраструктуры для идентификации возможных опасностей и угроз для окружающей среды проектов данного типа.

Методы исследования – методологии управления проектами и программами; механизмы идентификации и систематизации критериев.

Разработана система критериев состоит из пяти основных блоков критериев, а именно: качество приземного слоя атмосферного воздуха, обращение с отходами, физические факторы воздействия, социальная среда и техногенная среда. Каждый из указанных блоков критериев содержит показатели, которые их детализируют.

Результаты статьи могут быть внедрены при осуществлении процедуры оценки воздействия на окружающую среду проектов строительства и реконструкции объектов критической инфраструктуры.

Прогнозные предположения по развитию объекта исследования – разработка метода оценки влияния на окружающую среду проектов строительства и реконструкции объектов критической инфраструктуры транспорта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ТРАНСПОРТ, БЕЗОПАСНОСТЬ, ПРОЕКТ, ОБЪЕКТ, КРИТИЧЕСКАЯ ИНФРАСТРУКТУРА, КРИТЕРИЙ, ЗАЩИТА.

АВТОРИ:

Хрутьба Вікторія Олександрівна, доктор технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності, e-mail: viktoriia.khrutba@gmail.com, тел. +380935372915, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 312, orcid.org/0000-0002-8121-2042.

Зюзюн Вадим Ігорович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, e-mail: vladim1489_@ukr.net, тел. +380939834845, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 312, orcid.org/0000-0001-6566-8798

Барабаш Олена Василівна, кандидат біологічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, e-mail: el_barabash@ukr.net,

тел. +380983663316, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 312, orcid.org/0000-0001-5206-2922.

Неведров Дмитро Сергійович, здобувач, Національний транспортний університет, e-mail: viktoriia.khrutba@gmail.com, тел. +380935372915, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 312, orcid.org/0000-0001-7213-6159.

AUTHOR:

Khrutba Viktoriia Alexandrovna, Doctor of Science, National Transport University Head of the Department of Ecology and Safety of Vital Functions, e-mail: viktoriia.khrutba@gmail.com, tel. +380935372915, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovch-Pavlenko st. 1, of. 312, orcid.org/0000-0002-8121-2042.

Ziuziun Vadym Ihorovych, PhD, National Transport University, Associate Professor of the Department of Ecology and Safety of Vital Functions, e-mail: vadim1489_@ukr.net, тел. +380939834845, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 312, orcid.org/0000-0001-6566-8798.

Barabash Olena Vasylivna, PhD, National Transport University, Associate Professor of the Department of Ecology and Safety of Vital Functions, e-mail: el_barabash@ukr.net, тел. +380983663316 Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovch-Pavlenko st. 1, of. 312, orcid.org/0000-0001-5206-2922.

Nevedrov Dmitriy Sergeevich, graduate student, National Transport University, e-mail: viktoriia.khrutba@gmail.com, tel. +380935372915, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovch-Pavlenko st. 1, of. 312, orcid.org/0000-0001-7213-6159.

АВТОРЫ:

Хрутьба Вікторія Олександрівна, доктор технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, заведующая кафедрой экологии и безопасности жизнедеятельности, e-mail: viktoriia.khrutba@gmail.com, тел. +380935372915, Украина, 01010, м. Киев, ул. Омеляновича-Павленка 1, к. 312, orcid.org/0000-0002-8121-2042.

Зюзиун Вадим Игоревич, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности, e-mail: vadim1489_@ukr.net, тел. +380939834845, Украина, 01010, м. Киев, ул. Омеляновича-Павленка 1, к. 312, orcid.org/0000-0001-6566-8798.

Барабаш Елена Васильевна, кандидат биологических наук, доцент, Национальный транспортный университет, доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности, e-mail: el_barabash@ukr.net, тел. +380983663316, Украина, 01010, м. Киев, ул. Омеляновича-Павленка 1, к. 312, orcid.org/0000-0001-5206-2922.

Неведров Дмитрий Сергеевич, соискатель, Национальный транспортный университет, e-mail: viktoriia.khrutba@gmail.com, тел. +380935372915, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 312, orcid.org/0000-0001-7213-6159.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Бойченко С.В., доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, декан факультету екологічної безпеки, інженерії та технологій, Київ, Україна.

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

REVIEWER:

Boichenko S.V., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Aviation University, Dean of the Faculty of Environmental Safety, Engineering and Technology, Kyiv, Ukraine.

Sakhno V.P., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, Head of the department of motor vehicles, Kyiv, Ukraine.

РОЗРАХУНКОВА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ СТИСНЕННЯ ПОВІТРЯ З РІДИНОЮ В ЦИЛІНДРІ ДВЗ

Хрулев О.Е., кандидат технічних наук, Міжнародне моторне бюро, Київ, Україна, alo.engine@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6841-9225

Дмитрієв С.О., доктор технічних наук, Національний авіаційний університет, Київ, на, sad@nau.edu.ua, orcid.org/0000-0002-4461-1837

THE CALCULATING MODEL OF AIR COMPRESSION PROCESS WITH LIQUID IN THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE CYLINDER

Khrulev A.E., PhD in Technical Science, International Motor Bureau, Kiev, Ukraine, alo.engine@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6841-9225

Dmitriev S.A., Doctor of Technical Sciences, National Aviation University, Kiev, Ukraine, sad@nau.edu.ua, orcid.org/0000-0002-4461-1837

РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА СЖАТИЯ ВОЗДУХА С ЖИДКОСТЬЮ В ЦИЛИНДРЕ ДВС

Хрулев А.Э., кандидат технических наук, Международное моторное бюро, Киев, Украина, alo.engine@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6841-9225

Дмитриев С.А., доктор технических наук, Национальный авиационный университет, Киев, Украина, sad@nau.edu.ua, orcid.org/0000-0002-4461-1837

Постановка проблемы.

Из практики исследования причин неисправностей двигателей внутреннего сгорания известно, что одной из весьма распространенных причин тяжелых повреждений в эксплуатации, вызывающих неработоспособность (отказ) ДВС вплоть до его неремонтопригодности, является попадание жидкости в цилиндр. При подходе поршня к верхней мертвой точке значительное количество жидкости может привести к резкому возрастанию давления в цилиндре и повреждению деталей шатунно-поршневой группы. Такое явление получило общее условное название – гидроудар [1,2].

Гидроудар обычно вызывает скрытые повреждения в двигателе, прежде всего – деформацию шатуна. Если такая деформация не слишком велика, она не препятствует работе двигателя, но в стержне деформированного шатуна возникают нештатные изгибающие нагрузки, что через некоторое время приводит к усталостному разрушению (Рис. 1) и выходу двигателя из строя.

Опыт эксплуатации и ремонта различных двигателей показывает, что гидроудар возможен в транспортных ДВС любого типа, назначения и области применения, исследования признаков, причин и причинно-следственных связей данного явления оказываются достаточно актуальными для практики, причем не только эксплуатации транспортных средств, но и их конструирования.

Анализ последних исследований и публикаций.

Практика показывает, что при определенных условиях в цилиндр ДВС могут попасть различные жидкости [3,4]. Так, наиболее распространенной эксплуатационной причиной «водяного» гидроудара в цилиндре является попадание воды, поступившей из окружающей среды через впускную или выпускную систему [5,6]. У двигателей с турбонаддувом встречается «масляный» гидроудар вследствие поступления в цилиндр моторного масла, скопившегося в агрегатах или узлах впускной системы. Реже наблюдается «топливный» гидроудар в результате неисправности элементов топливной системы, а наиболее редким можно считать гидроудар, вызванный поступлением в цилиндр охлаждающей жидкости.

Однако, несмотря на многочисленные упоминания гидроудара в источниках информации [7,8], никаких количественных оценок или характеристик этого явления в них не приводится, а описание гидроудара часто ограничивается только кратким упоминанием некоторых его признаков, да и то, в большинстве случаев, неполным. Что бывает недостаточно для практического определения всех признаков повреждения и выявления причины неисправности конкретного двигателя.

Целью статьи является исследование механизма сжатия воздуха с жидкостью в цилиндре ДВС с целью выявления количественных характеристик этого явления.



Рисунок 1 – Типичный вид повреждения шатуна при гидроударе в цилиндре ДВС (справа). При дальнейшей эксплуатации это приводит к усталостному разрушению стержня (слева) вследствие нештатных изгибающих нагрузок.

Figure 1 – Typical damage to conrod during hydrolock in the engine cylinder (right). During further operation, this leads to fatigue failure of the stem (left) due to abnormal bending loads.

Основной материал.

Задача определения параметров воздуха в цилиндре при попадании в него жидкости может быть разбита на несколько этапов. На первом этапе необходимо рассмотреть все геометрические и кинематические параметры, связанные с движением поршня в цилиндре при наличии жидкости (Рис. 2). Это позволяет составить расчетные уравнения для параметров газа в цилиндре, после чего можно получить количественные данные.



Рисунок 2 – При движении поршня вверх на такте сжатия занятие несжимаемой жидкостью (1) части объема воздуха в цилиндре является вполне ожидаемой причиной более быстрого повышения давления.
Figure 2 – When the piston moves upward during the compression stroke, filling by an incompressible fluid (1) of a part of the air volume in the cylinder is a quite expected reason for a more rapid pressure rise.

Необходимо отметить, что похожие задачи по определению параметров воздуха в цилиндре давно решены, а на основе их решения разработан целый ряд стандартных программ для расчета цикла ДВС [9]. Однако использовать их для рассматриваемого процесса сжатия воздуха с заданным количеством жидкости не удастся, поскольку учет влияния жидкости на процесс сжатия в них не предусмотрен. Вследствие этого решение задачи о сжатии в цилиндре воздуха с жидкостью требует разработки соответствующей расчетной методики.

Методика расчета процесса сжатия в цилиндре воздуха при наличии жидкости.

Для решения задачи необходимо вначале сделать упрощающие допущения, которые позволят составить соответствующие уравнения, но, в то же время, не окажут заметного негативного воздействия на результат. В соответствии с этим были сделаны следующие упрощающие допущения:

- 1) жидкость, попавшая в цилиндр, несжимаема,
- 2) физические свойства жидкости вследствие быстротечности процесса не зависят от температуры и давления воздуха, температура и свойства жидкости принимаются неизменными и одинаковыми по всему ее объему,
- 3) в исследуемом процессе жидкость не подвергается испарению, конденсации, химическим реакциям и иным видам преобразования,
- 4) воспламенение и горение топлива исключаются (например, в ДВС с искровым зажиганием любая жидкость из указанных выше шунтирует искровой промежуток свечи зажигания и препятствует искровому разряду. В дизеле ситуация сложнее, но рассматриваемые жидкости могут либо также препятствовать воспламенению топлива, либо делать его горение неустойчивым),
- 5) протечки воздуха и жидкости из цилиндра через неплотности в поршневых кольцах и клапанах не учитываются,
- 6) мгновенные параметры воздуха в цилиндре по объему одинаковы, их изменение по углу поворота коленчатого вала происходит квазистационарно,
- 7) скорость вращения коленчатого вала постоянна и от попадания в цилиндр жидкости не зависит (это равносильно допущению того, что коленчатый вал тяжелый и/или его инерция при вращении очень велика).

Рассмотрим теперь процесс сжатия воздуха с жидкостью в цилиндре от момента закрытия впускных клапанов, для чего вначале уточним геометрические параметры. Текущий объем воздуха в цилиндре равен:

$$V = x \pi / 4 D^2 + V_{kc} (1 - \varepsilon_v), \quad (1)$$

где: x – текущая координата днища поршня, отсчитываемая от верхней мертвой точки, D – диаметр цилиндра, V_{kc} – объем камеры сгорания, $\varepsilon_v = V_v / V_{kc}$ – относительный объем жидкости (по отношению к объему камеры), или коэффициент заполнения камеры сгорания жидкостью.

С учетом того, что геометрическая степень сжатия:

$$\varepsilon = V_h / V_{kc} + 1,$$

где $V_h = S \pi / 4 D^2$ – рабочий объем цилиндра, S – ход поршня, из выражения (1) получим значение текущего объема воздуха в цилиндре в виде:

$$V = V_h \left(x/S + \frac{1 - \varepsilon_v}{\varepsilon - 1} \right) = V_h A_\varphi, \quad (2)$$

$$\text{где } A_\varphi = \left(x/S + \frac{1 - \varepsilon_v}{\varepsilon - 1} \right).$$

Из выражения (2) видно, что увеличение количества жидкости приводит к уменьшению объема воздуха в цилиндре за счет его замещения жидкостью.

Относительная координата днища поршня, входящая в формулу (2), находится по формулам, описывающим кинематику кривошипно-шатунного механизма ДВС [10], в зависимости от угла поворота коленчатого вала φ , отсчитываемого от верхней мертвой точки:

$$x/S = 0,5 \left[(1 - \cos \varphi) + \lambda_c / 4 (1 - \cos 2\varphi) \right], \quad (3)$$

где $\lambda_c = R/L_c$ – относительное удлинение шатуна.

Тогда коэффициент A_φ , входящий в формулу (2), после подстановки в нее формулы (3) можно получить в виде:

$$A_\varphi = 0,5 \left[(1 - \cos\varphi) + \lambda_c/4 (1 - \cos 2\varphi) \right] - (1 - \varepsilon_v)/(\varepsilon - 1). \quad (4)$$

Рассмотрим теперь воздух в цилиндре. Согласно 1-му закону термодинамики применительно к рассматриваемому процессу сжатия в цилиндре [11], изменение внутренней энергии воздуха dU по времени процесса $d\tau$ в результате производства над воздухом работы dA и отбора от него теплоты Q_w можно представить как:

$$dU = dA - Q_w d\tau. \quad (5)$$

Уравнение (5) можно переписать в виде:

$$mC_p dT = -pdV - \alpha_w F_w (T - T_w) d\tau, \quad (6)$$

где $dA = -pdV$ – термодинамическая работа, $Q_w = \alpha_w F_w (T - T_w)$ – количество теплоты, отводимой от воздуха в стенки, α_w – коэффициент теплоотдачи, $F_w = \pi D (0,5 D + x)$ – площадь стенок цилиндра, $dU = mC_p dT$ – изменение внутренней энергии в процессе, C_p – теплоемкость воздуха, m – масса воздуха в цилиндре (при сжатии не изменяется, поскольку утечек из цилиндра нет).

Выражение для dV можно получить из (2) и (4):

$$dV = V_h dA_\varphi = V_h B_\varphi d\varphi, \quad (7)$$

где коэффициент B_φ :

$$B_\varphi = 0,5(\sin\varphi + \lambda_c \sin 2\varphi). \quad (8)$$

Тогда уравнение (6) с помощью выражения (7) и с учетом того, что $\varphi = \omega \tau$, где $\omega = \pi n/30$ – угловая скорость коленвала, n – частота вращения, мин^{-1} , можно переписать в виде:

$$\frac{dT}{d\varphi} = -T \frac{R B_\varphi}{C_p A_\varphi} - \frac{30 \alpha_w F_w}{\pi n m C_p} (T - T_w). \quad (9)$$

Запишем теперь уравнение состояния, связывающее давление p , температуру T и объем V воздуха в цилиндре:

$$pV = mRT, \quad (10)$$

где R – газовая постоянная воздуха.

Дифференцирование уравнения (10) дает:

$$p dV + V dp = mR dT,$$

откуда

$$dp = mR \frac{dT}{V} - p \frac{dV}{V},$$

или

$$\frac{dp}{d\varphi} = m \frac{R}{V} \frac{dT}{d\varphi} - \frac{R}{V} \frac{dV}{d\varphi}. \quad (11)$$

Подставляя в уравнение (11) выражение (9) для $dT/d\varphi$, получим:

$$\frac{dp}{d\varphi} = -p \frac{B_\varphi}{A_\varphi} \left(1 + \frac{R}{C_p}\right) - \frac{30 \alpha_w F_w R}{\pi n m C_p A_\varphi} (T - T_w). \quad (12)$$

Упростим систему уравнений (9) и (12), приведя их к виду:

$$\begin{aligned} \frac{dT}{d\varphi} &= -T \gamma \psi, \\ \frac{dp}{d\varphi} &= -p \gamma \left(\psi + \frac{C_p}{R}\right), \end{aligned} \quad (13)$$

где коэффициенты:

$$\psi = 1 + \frac{30\alpha_w F_w R}{\pi n p V_h B_\varphi} (T - T_w),$$

$$\gamma = \frac{R B_\varphi}{c_p A_\varphi},$$

а коэффициенты A_φ и B_φ находятся по формулам (4) и (8) соответственно.

Для определения коэффициента теплоотдачи от воздуха в стенки можно воспользоваться формулой Вошни [11]

$$\alpha_w = 130 \frac{(p \cdot 10^{-5})^{0.8} \omega_m^{0.8}}{T^{0.53} D^{0.2}},$$

где для такта сжатия $\omega_m = 2,28 C_m$, $C_m = S n / 30$ – средняя скорость поршня.

Система уравнений (13) может быть решена численно с начальными условиями, решение представляет собой численные значения давления и температуры в функции угла поворота коленчатого вала:

$$p, T(\varphi) = \int f(p, T, \varphi, \dots) d\varphi.$$

В 1-м приближении это можно сделать путем численного интегрирования уравнений (13) простым методом Эйлера, задав начальные значения давления и температуры в момент закрытия впускных клапанов, которые можно найти с помощью стандартных программ расчета рабочего цикла ДВС.

Определение начальных условий задачи о сжатии воздуха в цилиндре.

Для выполнения расчета необходимо определить влияние жидкости на процесс впуска. Поскольку речь идет о приближенной модели, можно сделать упрощающее допущение о том, что объем жидкости мал по сравнению с объемом цилиндра (что вполне допустимо с ошибкой, составляющей не более отношения объема камеры сгорания к объему цилиндра, т.е. около 10%).

Для расчета начальных условий, необходимых для моделирования, была использована программа Lotus Engine Simulation [9,12]. Программа построена на основе расчета мгновенных параметров термодинамического цикла ДВС (средние по объему давление и температура в цилиндре) по углу поворота коленчатого вала. При этом в примыкающих к цилиндру впускных и выпускных каналах течение газа рассчитывается как одномерное, что позволяет учесть динамические явления в трубопроводах и их влияние на параметры воздуха и газа в цилиндре.

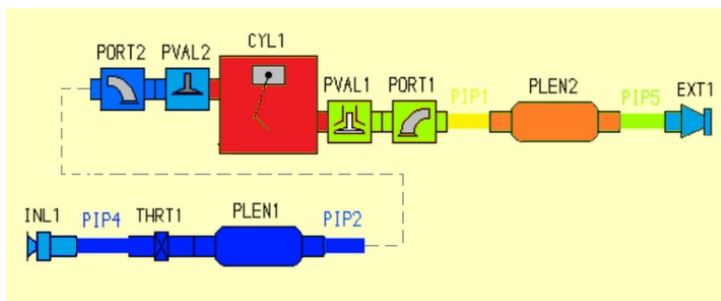


Рисунок 3 – 1-цилиндровая геометрическая модель двигателя в программе Lotus Engine Simulation.

Figure 3 – 1-cylinder geometric engine model in the Lotus Engine Simulation software.

Поскольку целью расчета являлись не основные интегральные параметры двигателя (мощность, крутящий момент, удельный расход топлива), а температура и давление в цилиндре, использовалась упрощенная 1-цилиндровая модель (Рис. 3).

При расчете были заданы тип ДВС – бензиновый с искровым зажиганием, размерность двигателя 83x80 мм, степень сжатия 9,0, режим работы 3000 мин⁻¹, закрытие впускных клапанов 40° после нижней мертвой точки, температура стенок 390K и другие параметры.

Расчет цикла проводился с учетом теплообмена со стенками, что было обеспечено заданием в программе соответствующих коэффициентов теплоотдачи (программа учитывает теплообмен газа со стенками камеры сгорания и поршня, а также потери тепла в охлаждающую жидкость).

На Рисунке 4 представлены расчетные диаграммы давления и температуры в цилиндре на режимах от 1000 до 6000 об/мин, включая выбранный режим 3000 об/мин. Эти данные позволили установить начальные значения давления и температуры, соответствующие моменту закрытия впускных клапанов, необходимые для последующего моделирования гидроудара путем расчета такта сжатия при наличии жидкости (для данного примера было получено $p_0 = 1,21$ бар, $T_0 = 371K$ при $\varphi = 220^\circ$).

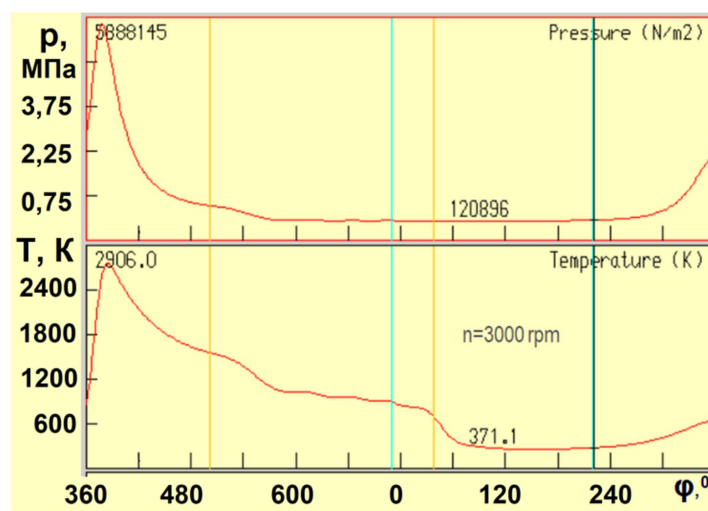


Рисунок 4 – Диаграммы давления p и температуры T в цилиндре ДВС по углу поворота φ коленвала на режиме 3000 об/мин, полученные с помощью программы Lotus Engine Simulation.

Figure 4 – The diagrams of pressure p and temperature T in the engine cylinder by crankshaft rotation angle φ at 3000 rpm, obtained using the Lotus Engine Simulation software.

Результаты моделирования сжатия воздуха с жидкостью.

Расчет процесса сжатия воздуха в цилиндре с указанными выше начальными условиями в диапазоне углов поворота коленчатого вала от момента закрытия впускных клапанов ($\varphi = 220^\circ$) до верхней мертвой точки был выполнен для различных значений коэффициента заполнения камеры сгорания жидкостью ε_v .

Результаты расчета (Рис. 5) показывают, что давление в цилиндре начинает заметно возрастать по сравнению с обычным сжатием без жидкости только за $50-60^\circ$ до верхней мертвой точки, а за $10-20^\circ$ до нее при большом заполнении камеры сгорания жидкостью давление может возрасти в десятки или даже в сотни раз.

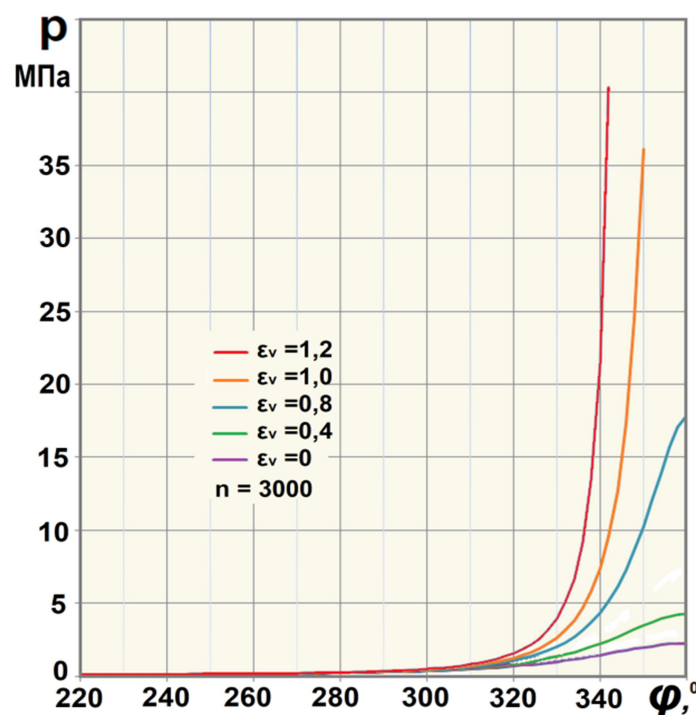


Рисунок 5 – Изменение давления в цилиндре по углу поворота коленвала при различных значениях коэффициента заполнения камеры.

Figure 5 – Variation of the cylinder pressure by the crankshaft rotation angle at various values of the chamber filling ratio.

Резкий рост давления при наличии жидкости именно в заключительной фазе сжатия хорошо виден, если перестроить диаграмму в виде зависимости давления в цилиндре от коэффициента заполнения камеры сгорания при различном угловом положении коленчатого вала (Рис. 6). Для сравнения аналогичный расчет был проведен для дизеля той же размерности со степенью сжатия 22. На Рисунке 7 хорошо видно, что за счет более высокой степени сжатия изменение давления в цилиндре дизеля при гидроударе происходит гораздо резче и по величине, при прочих равных условиях, во много раз превосходит давление в цилиндре бензинового ДВС (Рис. 5).

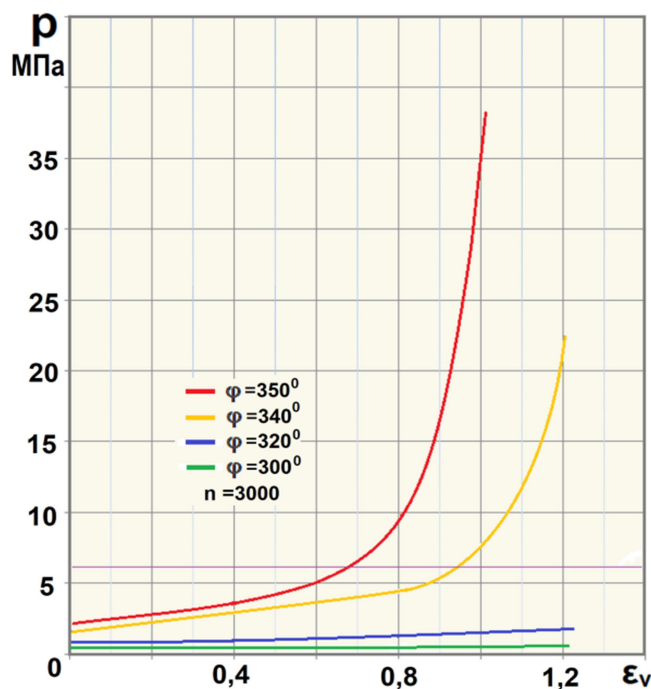


Рисунок 6 – Диаграмма изменения давления в цилиндре в зависимости от коэффициента заполнения жидкостью при разных углах поворота коленчатого вала.
Figure 6 – The diagram of the cylinder pressure variation depending on the liquid filling ratio at different crankshaft rotation angles.

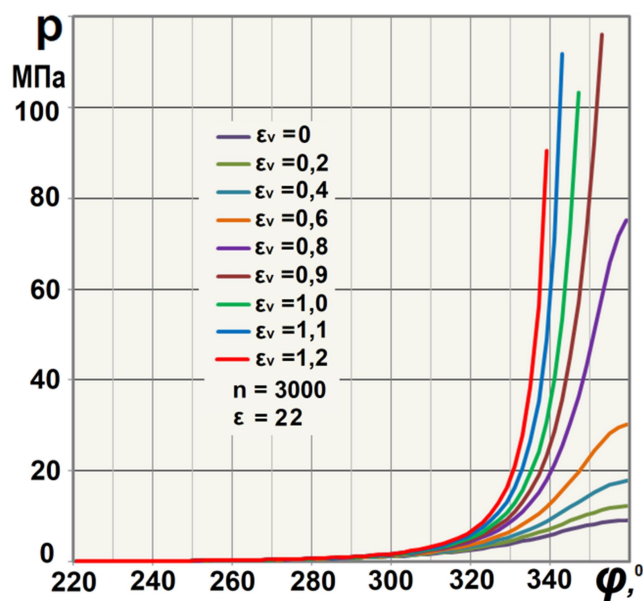


Рисунок 7 – Изменение давления в цилиндре дизеля при разном количестве жидкости.
Figure 7 – Pressure variation in the diesel cylinder at different liquid amount.

Понятно, что значительный рост давления, обусловленный наличием большого количества жидкости в сравнении с объемом камеры, может вызвать повреждения деталей. Следовательно, полученные данные можно использовать для дальнейшего исследования, поскольку они определяют условия для задач определения напряженно-деформированного состояния и потери устойчивости шатуна.

Выводы.

Разработанная методика расчета параметров воздуха при попадании жидкости в цилиндр ДВС (гидроудар) позволяет получить зависимость величины мгновенного давления в цилиндре по углу поворота коленчатого вала в зависимости от коэффициента заполнения камеры сгорания жидкостью. Расчетным путем установлено, что при заполнении камеры сгорания жидкостью приблизительно на 80% начинается значительный рост давления в заключительной фазе такта сжатия, и за 10-20° до верхней мертвой точки, в зависимости от количества жидкости, давление в цилиндре возрастает в десятки раз относительно нормального процесса сжатия, что определяет повреждение деталей. Разработанная методика может быть использована в задачах моделирования повреждений ДВС при гидроударе, включая потерю устойчивости стержня шатуна, для уточнения признаков и причин повреждения данного вида.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Greuter E., Zima S. Engine Failure Analysis. Internal Combustion Engine Failure and Their Causes. – Warrendale: SAE International, 2012. – 582 p.
2. Engine components and filters. Damage profiles, probable causes and prevention. Technical information MS3-1109. – Farmington Hills: Mahle Aftermarket Inc., 2016. – 76 p.
3. Хрулев А.Э. Методика определения причины неисправности ДВС при тяжелых эксплуатационных повреждениях / А.Э.Хрулев, Кочуренко Ю.В. // Двигатели внутреннего сгорания. – 2017. – №1. – С. 52-60. DOI: 10.20998/0419-8719.2017.1.10.
4. Хрулев А.Э. и др. Экспертиза технического состояния и причины неисправностей автомобильной техники / Дроздовский В.Б., Лосавио С.К., Хрулев А.Э. – Москва: Издательство АБС, 2019. – 966 с.
5. Хрулев А. Гидроудар в цилиндре / А.Хрулев // Автомобиль и сервис. – 2000. – №4. – С.8-10
6. Хрулев А. Гидроудар «замедленного действия» / А.Хрулев, С.Самохин // Автомобиль и сервис. – 2011. – №1. – С.36-39.
7. Kumar P.S. and Kumar K. Buckling Analysis and Shape Optimization of Connecting Rod using FEA. – REST Journal on Emerging trends in Modelling and Manufacturing. – 2016. – No.2 (2). – P. 44-50.
8. Shenoy P.S., Fatemi A. Dynamic analysis of loads and stresses in connecting rods. – Journal of Mechanical Engineering Science. – 2006. – Vol.220. – Part C. – P. 615-624. DOI: 10.1243/09544062JMES105.
9. Машиностроение. Энциклопедия. Двигатели внутреннего сгорания. Т. IV–14 / Л.В.Греухов, Н.А.Иващенко, В.А.Марков и др.// Под общ. ред. А.А.Александрова и Н.А.Иващенко. – Москва: Машиностроение, 2013. – 784 с.
10. Heywood J.B. Internal Combustion Engine Fundamentals: McGraw–Hill Series in Mechanical Engineering / J.B.Heywood. – New York, McGraw–Hill, Inc., 1988. – 930 p.
11. Дьяченко В.Г. Теория двигателей внутреннего сгорания. Учебник для студентов высших учебных заведений. Пер. с укр. / В.Г. Дьяченко. – Харьков: ХНАДУ, 2009. – 500 с.
12. Duleba B. Simulation of Automotive Engine in Lotus Simulation Tools / B.Duleba // Transfer inovacii. – 2014. – No. 30. – P. 48-52.

REFERENCES

1. Greuter, E., Zima, S. (2012) Engine Failure Analysis. Internal Combustion Engine Failure and Their Causes. Warrendale, SAE International, 582 p. [in English].
2. Engine components and filters. Damage profiles, probable causes and prevention. (2016) Technical information MS3-1109. Farmington Hills, Mahle Aftermarket Inc., 76 p. [in English].

3. Khrulev, A.E., Kochurenko Y.V. (2017) Metodika opredeleniya prichiny neisprabnosti DVS pri tyajelykh ekspluatazhionnykh povrejdeniyakh [Method for determining the cause of the ICE failure for severe damages in operation]. Dvigateli vnutrennego sgoraniya – Internal Combustion Engines, 1, 52-60 [in Russian]. DOI: 10.20998/0419-8719.2017.1.10 [in Russian].
4. Khrulev, A.E., Losavio, S.K., Drozdovsky, V.B. (2019) Expertiza tekhnicheskogo sostoyaniya i prichiny neispravnostey avtomobilnoy tekhniki [Technical condition expertise and automotive technology fault causes]. Moscow, Publishing house ABS, 966 p. [in Russian].
5. Khrulev, A. (2000) Gidroudard v szilindre [Hydrolock in the cylinder]. Avtomobil i servis – Automobile and service, 4, 8–10 [in Russian].
6. Khrulev, A., Samokhin, S. (2011) Gidroudard «otlojennogo deistviya» [Hydrolock «delayed action»] Avtomobil i servis – Automobile and service, 08, 36-39 [in Russian].
7. Kumar, P.S., Kumar, K. (2016) Buckling Analysis and Shape Optimization of Connecting Rod using FEA. REST Journal on Emerging Trends in Modelling and Manufacturing, 2 (2), 44-50 [in English].
8. Shenoy, P.S., Fatemi, A. (2006) Dynamic analysis of loads and stresses in connecting rods. Journal of Mechanical Engineering Science, 220 (C), 615-624. DOI: 10.1243/09544062JMES105 [in English].
9. Grekhov, L.V. and others. (2013) Mashinostroenie. Ensiklopediya. Dvigateli vnutrennego sgoraniya [Mechanical Engineering. Encyclopedia. Internal combustion engines]. Vol. IV–14, Ed. A.A.Aleksandrov and N.A.Ivaschenko. Moscow, Mashinostroenie, 784 p. [in Russian].
10. Heywood, J.B. (1988) Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw–Hill Series in Mechanical Engineering. New York, McGraw–Hill Inc., 930 p. [in English].
11. Dyachenko, V.G. (2009) Teoriya dvigateley vnutrennego sgoraniya [Theory of internal combustion engines]. Kharkov, HNADU, 500 p. [in Russian].
12. Duleba, B. (2014) Simulation of Automotive Engine in Lotus Simulation Tools. Transfer innovacii, 30, 48-52 [in English].

РЕФЕРАТ

Хрулев О.Е. Розрахункова модель процесу стиснення повітря з рідиною в циліндрі ДВЗ / О.Е. Хрулев, С.О.Дмитрієв // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

У статті розглянуто особливості та виконаний попередній аналіз ознак і причин пошкоджень шатуна двигуна внутрішнього згорання, які спричинили влучення рідини в циліндр (гідроудар).

Об'єкт дослідження — циліндр двигуна внутрішнього згорання при попаданні в його рідини.

Мета роботи — дослідження механізму стиснення повітря з рідиною в циліндрі ДВЗ з метою виявлення відсутніх в даний час кількісних характеристик явища гідроудару, який викликає деформацію і подальше руйнування шатуна.

Метод дослідження — теоретичний, включає розробку методики розрахунку зміни параметрів повітря в процесі стиснення з рідиною. На основі спрощень припущень з рівнянь стану та енергії газу отримана система диференціальних рівнянь для розрахунку тиску і температури повітря з рідиною в циліндрі, які вирішуються шляхом чисельного інтегрування по куту повороту колінчастого вала. Початкові умови для вирішення отримані з використанням стандартної програми розрахунку циклу ДВЗ. В результаті виконано математичне моделювання процесу стиснення і розрахунок тиску в циліндрі за кутом повороту колінчастого вала в залежності від коефіцієнта заповнення камери згорання рідиною.

Практичне застосування методики та отриманих результатів полягає в їх використанні в задачах моделювання ушкоджень ДВС, включаючи розрахунки втрати стійкості шатуна при гідроударі, а також для уточнення ознак і причин пошкодження.

Розрахунковим шляхом за допомогою розробленої методики встановлено, що з ростом кількості рідини максимальний тиск в циліндрі ДВЗ при стисканні швидко зростає, починаючи з відносного заповнення камери згорання 80%. При подальшому збільшенні заповнення рідиною, порівняного з об'ємом камери згорання, зростання тиску в завершальній фазі такту стиснення можливий в десятки та навіть сотні разів, що і визначає пошкодження шатуна при гідроударі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ, ДВЗ, ШАТУН, ЦИЛІНДР, НЕСПРАВНІСТЬ, ПОШКОДЖЕННЯ, ГІДРОУДАР, РОЗРАХУНОК, МОДЕЛЮВАННЯ.

ABSTRACT

Khrulev A.E., Dmitriev C.A. The calculating model of air compression process with liquid in the internal combustion engine cylinder. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The paper discusses the features and performs a preliminary analysis of the symptoms and the causes of the connecting rod damage of an internal combustion engine caused by liquid entering the cylinder (hydrolock).

Object of the study is the cylinder of an internal combustion engine when liquid enters it.

Purpose of the study is to research the mechanism of compression air with a liquid in the engine cylinder for identifying currently absent quantitative characteristics of the phenomenon of hydrolock, which causes deformation (buckling) and subsequent destruction of the connecting rod.

Method of the study is theoretical, includes the development of a methodology for calculating the variation of the air parameters during compression air with a liquid. Based on simplifying assumptions, a system of differential equations for the pressure and temperature of the air with a liquid in a cylinder is obtained from the equations of gas state and energy. The system is solved by numerical integration over the crankshaft rotation angle with initial conditions were obtained using the standard ICE cycle calculation software. As a result, computation of the cylinder pressure in compression process by the crankshaft rotation angle depending on the filling ration of the combustion chamber with liquid was performed.

The practical use of the methodology and the results obtained consists in their application in the problems of the engine damage simulation, including the calculations of the connecting rod buckling during hydrolock, as well as to clarify the symptoms and the causes of the damage.

By calculation using the developed methodology, it was found that with an increase in the amount of a liquid, the maximum pressure in the internal combustion engine cylinder rapidly increases during compression, starting with the combustion chamber filling ratio of 80%. With a further increase in liquid filling, commensurate with the volume of the combustion chamber, pressure rise in the final phase of the compression stroke is possible tens or even hundreds of times, which determines the damage to the connecting rod during hydrolock.

KEYWORDS: INTERNAL COMBUSTION ENGINE, ICE, CONNECTING ROD, CYLINDER, FAILURE, DAMAGE, HYDROLOCK, SIMULATION.

РЕФЕРАТ

Хрулев А.Э. Расчетная модель процесса сжатия воздуха с жидкостью в цилиндре ДВС / А.Э. Хрулев, С.А.Дмитриев // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье рассмотрены особенности и выполнен предварительный анализ признаков и причин повреждений шатуна двигателя внутреннего сгорания, вызванных попаданием жидкости в цилиндр (гидроудар).

Объект исследования – цилиндр двигателя внутреннего сгорания при попадании в него жидкости.

Цель работы – исследование механизма сжатия воздуха с жидкостью в цилиндре ДВС с целью выявления отсутствующих в настоящее время количественных характеристик явления гидроудара, вызывающего деформацию и последующее разрушение шатуна.

Метод исследования – теоретический, включает разработку методики расчета изменения параметров воздуха в процессе сжатия с жидкостью. На основе упрощающих допущений из уравнений состояния и энергии газа получена система дифференциальных уравнений для давления и температуры воздуха с жидкостью в цилиндре, решаемых путем численного интегрирования по углу поворота коленчатого вала. Начальные условия для решения получены с использованием стандартной программы расчета цикла ДВС. В результате выполнено математическое моделирование процесса сжа-

тия и расчет давления в цилиндре по углу поворота коленчатого вала в зависимости от коэффициента заполнения камеры сгорания жидкостью.

Практическое применение методики и полученных результатов заключается в их использовании в задачах моделирования повреждений ДВС, включая расчеты потери устойчивости шатуна при гидроударе, а также для уточнения признаков и причин повреждения.

Расчетным путем с помощью разработанной методики установлено, что с ростом количества жидкости максимальное давление в цилиндре ДВС при сжатии быстро возрастает, начиная с относительного заполнения камеры сгорания 80%. При дальнейшем увеличении заполнения жидкостью, соизмеримого с объемом камеры сгорания, рост давления в заключительной фазе такта сжатия возможен в десятки и даже сотни раз, что и определяет повреждение шатуна при гидроударе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, ДВС, ШАТУН, ЦИЛИНДР, НЕИСПРАВНОСТЬ, ПОВРЕЖДЕНИЕ, ГИДРОУДАР, МОДЕЛИРОВАНИЕ.

АВТОРИ:

Хрулев Олександр Едуардович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, судовий експерт, Міжнародне Моторне Бюро (ФОП Хрулев А.Е.), e-mail: alo.engine@gmail.com, +38 096 1632183, Україна, 07853, Київська обл., Бородянський р -н, смт Немішаєве, вул.Шкільна, 15, orcid.org/0000-0002-6841-9225.

Дмитрієв Сергій Олексійович, доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, директор Навчально-наукового аерокосмічного інституту, e-mail: sad@nau.edu.ua, +380 44 406 7410, Україна, 03058, Київ, просп.Комарова, 1.

AUTHORS:

Khrulev Alexander Eduardovich, PhD in Technical Science, Senior researcher, forensic expert, International Motor Bureau (FOP Khrulev A.E.), e-mail: alo.engine@gmail.com, +38 096 1632183, Ukraine, 07853, Kiev region, Borodyansky district, village Nemishajeve, vul.Shkilna, 15, orcid.org/0000-0002-6841-9225.

Dmitriev Sergey Alekseevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Aviation University, Director of the Educational and Scientific Aerospace Institute, e-mail: sad@nau.edu.ua, +380 44 406 7410, Ukraine, 03058, Kiev, Komarova ave., 1.

АВТОРЫ:

Хрулев Александр Эдуардович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, судебный эксперт, Международное Моторное Бюро (ФОП Хрулев А.Э.), e-mail: alo.engine@gmail.com, +38 096 1632183, Украина, 07853, Киевская обл., Бородянский р-н, пгт Немешаево, ул.Школьная, д.15, orcid.org/0000-0002-6841-9225.

Дмитриев Сергей Алексеевич, доктор технических наук, профессор, Национальный авиационный университет, директор Учебно-научного аэрокосмического института, e-mail: sad@nau.edu.ua, +380 44 406 7410, Украина, 03058, Киев, просп.Комарова, 1.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Хрутьба В.О., доктор технічних наук, професор кафедри екології та безпеки життєдіяльності Національного транспортного університету, Київ, Україна

Скрипник В.С., кандидат технічних наук, доцент, заступник директора з навчальної роботи Надвірнянського коледжу Національного транспортного університету, Надвірна, Україна

REVIEWERS:

Khrutba V.O., Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Ecology and Safety of Vital Functions, National Transport University, Kyiv, Ukraine

Skrypnyk V.S., the Candidate of Technical Sciences, docent, the Deputy Director for Educational Work in Nadvirna college of the National Transport University, Nadvirna, Ukraine

ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА ТЕХНОЛОГІЇ ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Червякова Т.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, cherti2015@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3672-9173

INFORMATION SECURITY OF CLOUD COMPUTING TECHNOLOGY

Chervyakova T.I., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, cherti2015@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3672-9173

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Червякова Т.И., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, г. Киев, Украина, cherti2015@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3672-9173

Постановка проблеми.

Останнім часом все більшого поширення набуває технологія хмарних обчислень, що передбачає віддалений (в тому числі через Інтернет) доступ користувачів до сховищ даних, обчислювальних ресурсів і програмних додатків [1, 2].

Клієнти хмарних сервісів можуть істотно зменшити вартість зберігання даних і використання обчислювальних потужностей, використовуючи загальнодоступні мережеві сховища і обчислювальні ресурси. Постачальник послуг об'єднує ресурси для обслуговування широкого кола споживачів в єдиний пул для динамічного і ефективного перерозподілу потужностей між споживачами в умовах постійної зміни попиту на потужності.

Різноманітність пристроїв, що використовуються в хмарних обчисленнях, радикальним чином знижують вартість використання обчислювальних ресурсів [3]. Зменшена вартість розподілених обчислень, спільної пам'яті та систем зберігання даних фундаментально змінюють економіку обробки даних, роблячи хмарні обчислення вельми привабливими для багатьох клієнтів.

При цьому часто не береться до уваги той факт, що при передачі даних у хмару власник практично позбавляється можливості контролювати їх безпеку [4], а провайдери не поспішають брати на себе відповідальність за їх безпеку [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблемам інформаційної безпеки хмарних обчислень присвячені дослідження таких вітчизняних науковців: Г.С. Гриджука, Є.С. Бондаря., І.В. Бондаренка, І.Д. Горбенка, О.О.Гудзовати, Ю.Л. Поночовного, а також зарубіжних учених таких, як Бердник А.В., Ісаєв Е.А., Корнілов В.В., Brenton C., Jansen W, Grance T., Reshetova E., Karhunen J., Nyman T., Asokan N. та ін. Однак, подальших досліджень потребує розробка стратегії інформаційної безпеки технології хмарних обчислень.

Цілі статті – аналіз теоретичних і практичних аспектів інформаційної безпеки технології хмарних обчислень, визначення їх принципів і перспектив.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Одним із основних підходів до реалізації хмарної інфраструктури є технологія віртуалізації – надання обчислювальних ресурсів, абстрагованих від їх реальної апаратної реалізації, наприклад, одночасне використання декількох, ізольованих одна від одної, операційних систем (ОС) і додатків на одному комп'ютері. Сукупність комп'ютерних ресурсів, що емулює роботу окремих компонентів апаратного або програмного забезпечення (ПЗ), або комп'ютера, прийнято називати віртуальною машиною (ВМ). Наявність декількох ВМ на одному реальному комп'ютері забезпечує можливість незалежної роботи на одному фізичному сервері (вузлі) декількох операційних систем і додатків.

На даний час існує дві основні технології створення систем хмарних обчислень шляхом віртуалізації серверів. У першому підході віртуалізація здійснюється за допомогою гіпервізора – програмної надбудови над основною ОС, яка відокремлює віртуальні машини від сервера і в міру необхідності динамічно виділяє обчислювальні ресурси для кожної ВМ (Amazon, Azure, VMWare) [6].

Другий підхід має переваги з точки зору обчислювальної продуктивності системи і економії дискових ресурсів завдяки використанню контейнерами ядра основної системи. При цьому користувачі обмежені в виборі ОС виключно дистрибутивами сімейства GNU/Linux, що в більшості випадків сприймається як суттєвий недолік контейнерної віртуалізації. Водночас, суттєвий вигравш у продуктивності дозволяє в даному випадку використовувати ресурси хмари навіть для високоефективних обчислень [7]. Останні роки Amazon і Azure, крім традиційної віртуалізації на основі гіпервізора, почали надавати послуги на основі контейнерних технологій [8]. Google використовували дану технологію спочатку як основну [9].

Другим недоліком до недавнього часу були серйозні проблеми в безпеці: оскільки кожен контейнер має доступ до ядра основної системи, то потенційний зловмисник міг отримати привілейовані права в основній системі, зламавши один з контейнерів у хмарі. Слід зазначити, що в останніх розробках системи віртуалізації LXC з'явилася можливість запускати непривілейовані контейнери, зламавши які зловмисник отримає тільки обмежені права користувача в основній системі [10].

У зв'язку з технологічними особливостями, що використовуються для побудови структури хмарних обчислень, до стандартних типів загроз, які є наслідком розміщення ресурсів на фізичних серверах, додалися складності, пов'язані з контролем хмарного середовища віртуалізації, трафіку між гостьовими машинами та розмежуванням прав доступу. Більш того, розподілена і відкрита структура хмарних обчислень з мультидоменною структурою, розрахованої на багатьох користувачів, стала дуже привабливою мішенню для потенційних зловмисників.

Архітектура хмарних сервісів складається з трьох взаємозалежних рівнів: інфраструктура, платформа і додатки. Кожен з цих рівнів може бути уразливим до програмних і конфігураційних помилок, яких припустилися користувачі або провайдери сервісу. Система хмарних обчислень може піддаватися декільком видам загроз безпеки, включаючи загрози цілісності, конфіденційності та доступності її ресурсів, даних і віртуальної інфраструктури, які можуть бути використані нецільовим чином, наприклад, в якості майданчика для поширення нових атак [11].

Зберігання даних у хмарі означає, що дані містяться на загальнодоступних серверах. Якщо компанія перейде в хмару без урахування непередбачених наслідків, критичні корпоративні дані, такі, як, наприклад, інформація про клієнтів або інтелектуальна власність, піддадуться підвищеному ризику. При цьому юридичну відповідальність за збереження інформації, як і раніше, несе організація, що розмістила ці дані в хмарі, а не провайдер хмарних послуг.

Інша серйозна проблема захисту даних у хмарі – це нездатність для клієнта хмарних послуг самому проводити аудит і контролювати події служби безпеки, наприклад, за допомогою перевірки лог-файлів. Це може серйозно обмежити можливості з пошуку загроз, які призвели до порушення безпеки системи.

У хмарних обчисленнях важливу роль відіграє технологія віртуалізації. Однак принципи віртуалізації містять потенційні загрози інформаційній безпеці хмарних обчислень, наприклад, пов'язані з використанням загальних сховищ даних різними ВМ. Кожна ВМ зберігається у вигляді образу, який являє собою окремий файл. Розміри цих файлів можуть бути змінені в залежності від поточних потреб користувача сервісу. Зменшення розміру розділу однією з ВМ хмари і збільшення розділу іншої можуть привести до того, що фізичні сектори, що містять інформацію про віддалені файли, перемістяться з однієї ВМ на іншу. В результаті користувач другої ВМ може отримати доступ і відновити дані, які раніше належали іншій організації. Одним із можливих рішень є шифрування всієї інформації. В цьому випадку зашифрована інформація не зможе бути відновлена без відповідних ключів [12]. Однак слід враховувати, що шифрування може призвести до використання додаткових обчислювальних ресурсів і значно уповільнювати процес читання і запису даних.

На противагу фізичному серверу, ВМ з такою ж ОС і додатками з ідентичними налаштуваннями схильна до більшого ризику. Якщо провайдер хмари резервує, управляє або маніпулює ВМ для клієнтів на основі своїх власних конфігураційних шаблонів, то контроль доступу і базові конфігурації не відповідатимуть таким у власному дата-центрі організації. Навіть в рамках одного провайдера хмари, може виникати ситуація, коли налаштування примірника ВМ в одному розміщенні будуть відрізнятися від налаштувань в іншому розміщенні [13].

ВМ динамічні. Вони клонуються і можуть переміщатися між фізичними серверами. Дана мінливість впливає на розробку цілісності системи безпеки. Однак уразливості ОС або додатків у віртуальному середовищі поширюються безконтрольно і часто проявляються через деякий проміжок часу (наприклад, при відновленні з резервної копії). У середовищі хмарних обчислень важливо надійно зафіксувати стан захисту системи, незалежно від її місця розташування.

Сервери хмарних обчислень і локальні сервери використовують одні й ті самі ОС і додатки. Для хмарних систем висока загроза віддаленого злому або зараження шкідливим ПЗ. Система виявлення та запобігання вторгненням повинна бути здатною виявляти шкідливу активність на рівні ВМ, незалежно від їх розташування в хмарному середовищі.

Навіть коли ВМ вимкнена, вона також наражається на небезпеку зараження. Для цього цілком достатньо доступу до сховища образів ВМ через мережу. При цьому на вимкненій ВМ неможливо запустити захисне програмне забезпечення. В даному випадку має бути реалізованим захист не тільки всередині кожної ВМ, а й на рівні гіпервізора.

При використанні хмарних обчислень периметр мережі розмивається або зникає. Це призводить до того, що менш захищена частина мережі визначає загальний рівень захищеності. Для розмежування сегментів з різними рівнями довіри в хмарі ВМ повинні самі забезпечувати себе захистом, переміщаючи мережевий периметр до самої ВМ. Корпоративний firewall (міжмережевий екран) – основний компонент для впровадження політики ІТ-безпеки і розмежування сегментів мережі – не в змозі вплинути на сервери, розміщені в хмарних середовищах [14].

Стандартно виділяють три основні завдання інформаційної безпеки: конфіденційність, цілісність і доступність [15]. Конфіденційність – це приховування інформації і ресурсів. Цілісність – це достовірність даних або ресурсів, зазвичай пов'язана із запобіганням будь-яких некоректних або неавторизованих змін. Доступність визначається здатністю використовувати інформацію або ресурси [16]. Принципово вважається, що доступ до даних можуть отримати тільки особи, що пройшли аутентифікацію в якості клієнта сервісу і власника саме цих даних.

Один з основних моментів, який необхідно враховувати стосовно безпеки в хмарі, полягає в тому, що відповідальність за використання ресурсів поділяється між клієнтом і постачальником хмарного сервісу. І необхідно розуміти, де закінчується відповідальність провайдера хмарних обчислень і починається відповідальність клієнта.

При побудові складних систем (різновидом яких є хмари) застосовують архітектурну концепцію багаторівневої безпеки (Defense-in-Depth) – механізм, який використовує кілька рівнів захисту, щоб збільшити витрати часу атакуючого на злам системи, а також підрахувати кількість спроб зламу для прийняття рішення про блокування атакуючого [17].

Відповідно при побудові системи безпеки середовища хмар також можна виділити свої шари контролю та доступу. Хмара комбінує можливості користувача і постачальника, брандмауери і різновиди способів ізоляції. При цьому окремі елементи безпеки можуть контролюватися користувачем незалежно від провайдера (рис. 1).



Рисунок 1 – Багаторівнева система безпеки хмар на прикладі трьох моделей хмарних сервісів [18]

Figure 1 – Multi-level cloud safety system on the example of three models of cloud services [18]

NIST в своїй спеціальній публікації [4] виділяє три моделі хмарних обчислень:
інфраструктура як сервіс (IaaS);
платформа як сервіс (PaaS);
програмне забезпечення як сервіс (SaaS).

При цьому для кожної моделі хмарних обчислень управління даними змінюється. Так, в різних сервісах клієнтом контролюються різні шари безпеки незалежно від провайдера [18].

У моделі IaaS (наприклад, IBM SoftLayer або Amazon Web Services) на стороні замовника можна побудувати свої власні технічні засоби забезпечення безпеки. Клієнт може мати повний контроль над реальною конфігурацією сервера, що гарантує йому більший контроль ризиків безпеки оточення і даних.

У моделі PaaS (IBM Bluemix, Microsoft Windows Azure) постачальник управляє лише апаратною платформою і операційною системою, що обмежує можливості підприємства замовника в управлінні ризиками на цих рівнях.

У моделі SaaS (Salesforce.com, Google) платформа і інфраструктура повністю управляється провайдером хмарних послуг. У можливостях управління клієнт виявляється обмеженим тільки мінімальним набором налаштувань конфігурації програми під свої потреби.

Відповідальність постачальника хмарного сервісу починається з фізичної безпеки і безпеки середовища. Цей рівень безпеки – високорівневий, оскільки пов'язаний з керованістю хмарию як єдиною інформаційною системою. Саме постачальник хмарного сервісу здійснює експлуатацію фізичних серверів центрів обробки даних. Тому клієнт повинен розглянути наступні ключові моменти: фізичний доступ персоналу до серверів і мережевої інфраструктури; засоби пожежної сигналізації та пожежогасіння; кліматичний і температурний контроль над серверами й іншими апаратними засобами; знищення пристроїв зберігання даних, виведених з експлуатації.

На відміну від фізичної безпеки, мережева безпека, в першу чергу, являє собою побудову надійної моделі загроз, що включає в себе захист від вторгнень і міжмережевий екран. Використання брандмауера має на увазі роботу фільтра по розмежуванню внутрішніх мереж ЦОД на підмережі з різним рівнем довіри. Це можуть бути окремо сервери, доступні з Інтернету, або сервери з внутрішніх мереж.

Доступ через Інтернет до управління обчислювальною потужністю хмари – одна з ключових характеристик хмарних обчислень. Тому, розмежування контролю доступу та забезпечення прозорості змін на системному рівні є одними з головних критеріїв захисту.

Аналогічним чином на загальний рівень безпеки впливає вибір моделі розгортання хмарного середовища: приватна хмара (інфраструктура, підготовлена для ексклюзивного використання єдиною організацією); публічна хмара (інфраструктура, призначена для вільного використання широким колом користувачів); суспільна хмара (вид інфраструктури, призначений для використання конкретною спільнотою споживачів з організацій, що мають спільні завдання); гібридна хмара (комбінація двох або більше різних хмарних інфраструктур).

До ключових особливостей приватних хмар в структурі забезпечення інформаційної безпеки можна віднести:

- відповідальність клієнта за інфраструктуру;
- можливість детального налаштування управління безпеки;
- добра видимість внутрішньоденних операцій;
- легкий доступ до системних логів і політикам;
- додатки і дані залишаються всередині мережевого екрану.

Прийнято вважати, що приватні хмари є найбільш безпечними, оскільки дозволяють впровадити власні засоби шифрування і захисту ще на етапі їх створення, а також залишити дані в існуючій інфраструктурі компанії. Однак, якщо дані не захищені належним чином в хмарі, вони можуть бути втрачені або пошкоджені незалежно від того, чи хмара приватна або публічна. Зокрема, недобросовісні особи всередині компанії, що мають довірений доступ до системи, можуть переглядати, пошкоджувати і викрадати незахищені дані.

Внутрішні загрози не є новими типами загроз, але при переході корпоративних дата-центрів в віртуальні традиційні механізми контролю доступу стають менш ефективними через непристосованість до віртуального простору. Наприклад, коли потрібно встановити екземпляр бази даних на новий фізичний сервер, застосовуються процедури управління змінами. Управління змінами являє собою процес прогнозування і планування майбутніх змін, реєстрації всіх потенційних змін для детального вивчення, оцінки наслідків, схвалення або відхилення, а також організації моніторингу і координації виконавців, що реалізують зміни в проекті. У віртуальній приватній хмарі новий

екземпляр бази даних може бути створений простим клонуванням вже існуючого віртуального сервера. Якщо дані з захищеного сервера передаються на незахищений, то ці дані зможуть переглянути користувачі, що мають менші права доступу в цій приватній хмарі.

Особливу увагу слід приділяти контролю трафіку між віртуальними серверами в хмарі. Традиційні засоби моніторингу працюють з використанням віддзеркалення трафіку з портів мережеских пристроїв і сенсорів, які здатні захоплювати і аналізувати цей трафік. Однак канали передачі даних між ВМ створюються в гіпервізорі. Шкідливий трафік і дані можуть переміщатися між ВМ без виходу в реальну мережу, що означає, що атака буде не помічена традиційними інструментами.

Дані, що зберігаються на вимкнених ВМ, також є уразливими у випадках, коли в основній ОС, на якій вони розміщуються, контроль доступу не налаштований належним чином, або не встановлені оновлення, що виправляють критичні уразливості.

На іншому полюсі (в бік зменшення безпеки) прийнято розташовувати публічні хмари. Можна виділити такі особливості публічних хмар:

- за інфраструктуру відповідає провайдер;
- менша налаштованість управління безпекою;
- немає видимості внутрішньоденних операцій;
- важкий доступ до логів і політикам;
- додатки і дані використовуються публічно.

Використовуючи публічну хмару, організації можуть скористатися інфраструктурою провайдера в хмарі (IaaS), платформою (PaaS) і програмним забезпеченням (SaaS). Дані зберігаються в середовищі хмарного провайдера з використанням орендованої інфраструктури комерційних ЦОД. У більшості випадків економія коштів в публічній хмарі досягається за рахунок більш ефективного використання загальних фізичних ресурсів. Це може означати як надання клієнтам різних ВМ, розміщених на одному й тому ж фізичному сервері, так і організаціям доступу до одного й того ж сервісу або додатку під різними обліковими записами. Наприклад, популярний хмарний CRM-додаток salesforce.com є прикладом надання одного й того ж сервісу різним клієнтам з використанням унікальних логінів для запобігання несанкціонованого доступу. При цьому дані різних користувачів виявляються перемішаними на одному сховищі. У будь-якому випадку при використанні віртуалізації доводиться брати до уваги весь комплекс проблем інформаційної безпеки, пов'язаний з цією технологією.

Звичайно, в рамках публічної хмари можливим є надання клієнту цілком окремого, виділеного комп'ютерного ресурсу, що, зокрема, дає можливість більш якісного моніторингу та аудиту. Однак такий додатковий рівень комфорту в забезпеченні безпеки часто супроводжується істотним збільшенням ціни використання хмарних ресурсів, що може в цілому знизити переваги таких перед власним дата-центром [13].

Класичні загрози інформаційній безпеці в публічній хмарі стають особливо актуальними. Існують і зовнішні загрози безпеки, такі як, наприклад, віддалені хакерські атаки. І, навіть, коли сховище даних досить добре захищене від зовнішніх атак, а контроль і розмежування доступу надає тільки мінімальні повноваження особливо довіреним особам, все ще залишаються відкритими питання безпеки при передачі даних між клієнтом і хмарною інфраструктурою. Сьогодні існує безліч стандартів і технологій передачі даних по інформаційних мережах і завдання забезпечення безпеки інформації в них є абсолютно нетривіальною, особливо в разі використання бездротових мереж. Зловмисники можуть перехопити дані безліччю способів, наприклад за допомогою підроблених серверів доменних імен, перехоплення маршрутів і трафіку при використанні співробітниками компанії не довірених хмар [19] і громадських Wi-Fi точок доступу та ін.

Організації можуть підвищити рівень безпеки при використанні гібридного підходу до хмарних обчислень, який поєднує в собі публічні та приватні хмари. Частина даних, які класифікуються організацією як найбільш критичні, залишаються в приватній хмарі, тоді як всі інші дані зберігаються в публічній хмарі.

Хоча цей підхід може гарантувати більшу безпеку, ніж стандартна модель публічної хмари, гібридні хмари несуть в собі ті ж ризики, що й приватні та публічні хмари у випадках неправильного їх використання. Збереження критично важливих даних усередині підприємства вимагає залучення механізмів і процедур, які гарантують, що ці дані не потраплять в публічну хмару.

Таким чином, для хмарних технологій спостерігається зворотна залежність: зі збільшенням ступеня відкритості технології, гнучкості роботи з нею і універсальності доступу зменшується захищеність системи і ускладнюється методика забезпечення її безпеки.

Для того, щоб створити більш безпечне середовище хмарних обчислень, організації можуть почати з простих кроків, наприклад, з розробки політики та процедури безпеки, підвищення прозорості у використанні хмарних додатків, платформ та інфраструктури і захисту даних з шифруванням і посиленням процедури доступу до елементів управління, таких як багатофакторна аутентифікація [20].

ІТ-організації повинні зосередитись на посиленні контролю доступу користувачів методом багатофакторної аутентифікації. Це ще більш важливо для компаній, які дають третім сторонам і постачальникам доступ до своїх даних у хмарі. Багатофакторні рішення аутентифікації, керовані централізовано, забезпечать більш безпечний доступ до всіх програм і даних, незалежно від того, чи знаходяться вони в хмарі або в локальній мережі [21].

Найбільш ефективним і універсальним способом забезпечення захисту даних, їх конфіденційності і цілісності – це використання шифрування даних при їх передачі по інформаційних мережах і при зберіганні всередині хмари. Наприклад, в керівництві по інформаційній безпеці [22], розробленому Альянсом безпеки хмар, стверджується, що шифрування надає переваги найменшій залежності як від провайдера хмарного сервісу, так і від експлуатаційних помилок.

Захист даних, заснований на шифруванні, робить ці дані марними для будь-якої особи, що не має ключів для їх дешифрування. І не важливо, знаходяться ці дані в процесі передачі або зберігання, вони залишаються захищеними. Власник ключів шифрування підтримує безпеку даних і приймає рішення, кому і до яких даних надавати доступ. Процедура шифрування може бути вбудована в існуючий робочий процес хмарних сервісів. Наприклад, адміністратор може зашифровувати всі дані резервного копіювання перед відправкою їх в хмарне сховище. Співробітник організації може захистити корпоративну інтелектуальну власність, перш ніж покласти її в приватну хмару. Представник компанії може зашифрувати особисті контракти клієнтів, перш ніж відправити їх в спільне робоче місце в публічній хмарі.

Висновки.

Одним з універсальних способів забезпечення захисту даних в хмарі є вибір рішення безпеки, заснованого на шифруванні даних на рівні файлів перш ніж вони покинуть довірену зону. ІТ-адміністратори і користувачі можуть частково повернути собі контроль над забезпеченням безпеки своїх даних, використовуючи рішення захисту, засновані на шифруванні даних. Використання відповідних методів шифрування запобігає неавторизованому доступу до даних незалежно від того, де вони знаходяться (в процесі передачі або зберігання в хмарі), і дозволяють організаціям використовувати переваги хмарних обчислень, не піддаючи важливі дані ризику або зводячи цей ризик до мінімуму.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лахно В.Д. Развитие информационно-коммуникационных технологий в Пушинском научном центре РАН. / В.Д. Лахно, Е.А. Исаев, В.Д. Пугачев, А.Ю. Зайцев, Н.С. Фиалко, С.Д. Рыкунов, М.Н. Устинин. // Математическая биология и биоинформатика. – 2012. – Т. 7, № 2. – С. 529–544.
2. Antonopoulos N., Gillam L. Cloud Computing: Principles, Systems and Applications. London: Springer-Verlag, 2010. – 379 p.
3. Исаев Е.А., Корнилов В.В. Проблема обработки и хранения больших объемов научных данных и подходы к ее решению. // Математическая биология и биоинформатика. – 2013. – Т. 8, № 1. – С. 49–65.
4. Jansen W, Grance T. Guidelines on Security and Privacy in Public Cloud Computing. 2011. – 80 p. (NIST Special Publication 800-144). URL: <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-144/SP800-144.pdf>
5. Amazon Web Services Customer Agreement. Website of Amazon Web Services. 2008. URL: <http://aws-portal.amazon.com/gp/aws/developer/terms-and-conditions.html>
6. White J.S., Pilbeam A.W. A survey of virtualization technologies with performance testing. arXiv.org: Cornell University Library. URL: <http://arxiv.org/pdf/1010.3233.pdf>
7. Xavier M.G., Neves M.V., Rossi F.D., Ferreto T.C., Lange T., De Rose C.A.F. Performance Evaluation of Container-Based Virtualization for High Performance Computing Environments. In: 21st Euro. Int. Conf. on Parallel, Distrib. & Network- based Processing. IEEE, 2013. – P. 233–240.
8. Morabito R. Power Consumption of Virtualization Technologies: an Empirical Investigation. arXiv.org: Cornell University Library. URL: <http://arxiv.org/pdf/1511.01232v1.pdf>

9. Cacciatore K., Czarkowski P., Dake S., Garbutt J., Hemphill B., Jainschigg J., Moruga A., Otto A., Peters C., Whitaker B.E. Exploring Opportunities: Containers and OpenStack. OpenStack White Paper. 2015. – 19 p. URL: <https://www.openstack.org/assets/pdf-downloads/Containers-and-OpenStack.pdf>
10. Reshetova E., Karhunen J., Nyman T., Asokan N. Security of OS-level virtualization technologies. arXiv.org: Cornell University Library. URL: <http://arxiv.org/pdf/1407.4245v1.pdf>
11. Patel A., Taghavi M., Bakhtiyari K., Junior J.C. An intrusion detection and prevention system in cloud computing: A systematic review. Journal of Network and Computer Applications. 2013. V. 36. – P. 25–41.
12. Brenton C. The basics of virtualization security. Cloud Security Alliance, 2011. – 17 p. URL: <https://cloudsecurityalliance.org/wp-content/uploads/2011/11/virtualization-security.pdf>
13. Kelley D. How Data-Centric Protection Increases Security in Cloud Computing and Virtualization Security Curve. Website of Cloud Security Alliance. 2011. – P. 1–6. URL: https://cloudsecurityalliance.org/wp-content/uploads/2011/11/DataCentricProtection_intheCloud.pdf
14. Бердник А.В. Проблемы безопасности облачных вычислений. Анализ методов защиты облаков от cloud security alliance / А.В. Бердник. // Альманах современной науки и образования. – Тамбов: Грамота, 2013. – № 10. – С. 35–38.
15. Lubacz J., Mazurczyk W., Szczypiorski K. Principles and Overview of Network Steganography. Communications Magazine. IEEE, 2014. V. 52. № 5. P. 225–229. URL: <http://arxiv.org/pdf/1207.0917.pdf>
16. Bishop M. Introduction to Computer Security, 1st ed. Boston: Pearson Education, 2004. – 747 p.
17. Prescott E. Small. Defense in Depth: An Impractical Strategy for a Cyber World. SANS Institute, 2011. – P. 2–4. URL: <https://www.sans.org/reading-room/whitepapers/assurance/defense-depth-impractical-strategy-cyber-world-33896>
18. Ржаиби В. Избавьтесь от опасений относительно безопасности данных в облаке. IBM developer Works, 2015. – 16 p. URL: <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/dm-1408datasecuritycloud/dm-1408datasecuritycloud-pdf.pdf>
19. Avoiding the hidden Costs of the Cloud: report of Symantec Corporation. 2013. – P. 1–11. URL: www.symantec.com/content/en/us/about/media/pdfs/b-state-of-cloud-global-results-2013.en-us.pdf
20. The Challenges of Cloud Information Governance: A Global Data Security Study: Ponemon Institute Research Report. 2014. P. 1–30. URL: <http://www2.safenet-inc.com/cloud-security-research/SafeNet-Cloud-Governance.pdf>
21. Sultan N. Making use of cloud computing for healthcare provision: Opportunities and challenges. International Journal of Information Management. 2014. – V. 34. – P. 177–184.
22. Hoff Ch. In: Security guidance for critical areas of focus in cloud computing. 2011. – P. 12–20. URL: <https://cloudsecurityalliance.org/guidance/csaguide.v3.0.pdf>

REFERENCES

1. Lakhno, V.D. (2012). Razvitie informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnolohii v Pushchinskom nauchnom tsentre RAN.[Development of information and communication technologies in the Pushchinsky Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. / V.D. Lahno, E.A. Isaev, V.D. Pugachev, A.Yu. Zaytsev, N.S. Fialko, S.D. Rykunov, M.N. Ustinin. // Matematicheskaya biologiya i bioinformatika.– T. 7, # 2. – S. 529–544. [in Russian]
2. Antonopoulos, N., Gillam, L. (2010). Cloud Computing: Principles, Systems and Applications. London: Springer-Verlag. – 379 p.
3. Isaev, E.A., Kornilov, V.V. (2013). Problema obrabotki i khraneniia bolshikh obiemov nauchnykh danykh i podkhody k ee resheniiu. [The problem of processing and storing large amounts of scientific data and approaches to its solution]. Matematicheskaya biologiya i bioinformatika. T. 8. № 1. – S. 49–65. [in Russian]
4. Jansen, W., Grance, T. (2011). Guidelines on Security and Privacy in Public Cloud Computing.– 80 p. (NIST Special Publication 800-144). URL: <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-144/SP800-144.pdf>
5. Amazon Web Services Customer Agreement. Website of Amazon Web Services. 2008. URL: <http://aws-portal.amazon.com/gp/aws/developer/terms-and-conditions.html>
6. White J.S., Pilbeam A.W. A survey of virtualization technologies with performance testing. arXiv.org: Cornell University Library. URL: <http://arxiv.org/pdf/1010.3233.pdf>
7. Xavier, M.G., Neves, M.V., Rossi, F.D., Ferreto, T.C., Lange, T., De Rose, C.A.F. (2013). Performance Evaluation of Container-Based Virtualization for High Performance Computing Environments. In: 21st Euro. Int. Conf. on Parallel, Distrib. & Network- based Processing. IEEE. – P. 233–240.

8. Morabito R. Power Consumption of Virtualization Technologies: an Empirical Investigation. arXiv.org: Cornell University Library. URL: <http://arxiv.org/pdf/1511.01232v1.pdf>
9. Cacciatore, K., Czarkowski, P., Dake, S., Garbutt, J., Hemphill, B., Jainschigg, J., Moruga, A., Otto, A., Peters, C., Whitaker, B.E. (2015). Exploring Opportunities: Containers and OpenStack. OpenStack White Paper. – 19 p. URL: <https://www.openstack.org/assets/pdf-downloads/Containers-and-OpenStack.pdf>
10. Reshetova E., Karhunen J., Nyman T., Asokan N. Security of OS-level virtualization technologies. arXiv.org: Cornell University Library. URL: <http://arxiv.org/pdf/1407.4245v1.pdf>
11. Patel, A., Taghavi, M., Bakhtiyari, K., Junior, J.C. (2013). An intrusion detection and prevention system in cloud computing: A systematic review. Journal of Network and Computer Applications. V. 36. – P. 25–41.
12. Brenton, C. (2011). The basics of virtualization security. Cloud Security Alliance. – 17 p. URL: <https://cloudsecurityalliance.org/wp-content/uploads/2011/11/virtualization-security.pdf>
13. Kelley, D. (2011). How Data-Centric Protection Increases Security in Cloud Computing and Virtualization Security Curve. Website of Cloud Security Alliance. – P. 1–6. URL: https://cloudsecurityalliance.org/wp-content/uploads/2011/11/DataCentricProtection_intheCloud.pdf
14. Berdnik, A.V. (2013). Problemy bezopasnosti oblachnykh vychislenii. Analiz metodov zashchity oblakov ot cloud security alliance. [Cloud computing security issues. Analysis of cloud protection methods from cloud security alliance]. Almanakh sovremennoi nauki i obrazovaniia. V: Almanakh sovremennoi nauki i obrazovaniia. – Tambov: Gramota. № 10. – S. 35–38. [in Russian]
15. Lubacz, J., Mazurczyk, W., Szczypiorski, K. (2014). Principles and Overview of Network Steganography. Communications Magazine. IEEE. V. 52. # 5. – P. 225–229. URL: <http://arxiv.org/pdf/1207.0917.pdf>
16. Bishop, M. (2004). Introduction to Computer Security, 1st ed. Boston: Pearson Education. – 747p.
17. Prescott, E. Small (2011). Defense in Depth: An Impractical Strategy for a Cyber World. SANS Institute. – P. 2 – 4. URL: <https://www.sans.org/reading-room/whitepapers/assurance/defense-depth-impractical-strategy-cyber-world-33896>
18. Rzhaby, V. (2015). Yzbav'tes' ot opasnyy otnosytel'no bezopasnosti dannikh v oblake. [Get rid of concerns about data security in the cloud]. IBM developer Works. – 16 p. URL: <https://www.ibm.com/developerworks/ru/library/dm-1408datasecuritycloud/dm-1408datasecuritycloud-pdf.pdf> [in Russian]
19. Avoiding the hidden Costs of the Cloud: report of Symantec Corporation. (2013). – P. 1–11. URL: www.symantec.com/content/en/us/about/media/pdfs/b-state-of-cloud-global-results-2013.en-us.pdf
20. The Challenges of Cloud Information Governance: A Global Data Security Study: Ponemon Institute Research Report. (2014). P. 1–30. URL: <http://www2.safenet-inc.com/cloud-security-research/SafeNet-Cloud-Governance.pdf>
21. Sultan, N. (2014). Making use of cloud computing for healthcare provision: Opportunities and challenges. International Journal of Information Management. V. 34. – P. 177–184.
22. Hoff, Ch. (2011). In: Security guidance for critical areas of focus in cloud computing. – P. 12–20. URL: <https://cloudsecurityalliance.org/guidance/csaguide.v3.0.pdf>

РЕФЕРАТ

Червякова Т.І. Інформаційна безпека технології хмарних обчислень. / Т.І. Червякова // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

Стаття присвячена аналізу теоретичних і практичних аспектів технології хмарних обчислень, виявленню основних проблем забезпечення інформаційної безпеки різних моделей хмарних сервісів і моделей розгортання хмарного середовища, а також вибору методів забезпечення безпеки обробки даних і способів підвищення безпеки хмарних обчислень.

Об'єкт дослідження – інформаційна безпека технології хмарних обчислень.

Мета роботи – аналіз теоретичних і практичних аспектів інформаційної безпеки технології хмарних обчислень, визначення їх принципів і перспектив.

Методи дослідження – аналіз, синтез, узагальнення, систематизація, графічні.

Одним із основних підходів до реалізації хмарної інфраструктури є технологія віртуалізації – надання обчислювальних ресурсів, абстрагованих від їх реальної апаратної реалізації. Зі збільшенням ступеня відкритості технології хмарних обчислень, гнучкості роботи з нею й універсальності доступу зменшується захищеність системи і ускладнюється методика забезпечення її безпеки.

Система хмарних обчислень може піддаватися декільком видам загроз безпеки, включаючи загрози цілісності, конфіденційності та доступності її ресурсів, даних і віртуальної інфраструктури.

При побудові системи інформаційної безпеки хмарного середовища слід враховувати модель його розгортання (приватна, публічна, суспільна чи гібридна хмара) та відмінності в шарах контролю і доступу користувача та провайдера в різних моделях хмарних сервісів (IaaS, PaaS, SaaS).

Найбільш ефективним і при цьому універсальним способом забезпечення в хмарі захисту даних, їх конфіденційності та цілісності – це використанням шифрування даних на рівні файлів при їх передачі по інформаційних мережах і при зберіганні всередині хмари.

ІТ-адміністратори і користувачі можуть частково повернути собі контроль над забезпеченням безпеки своїх даних, використовуючи рішення захисту, засновані на шифруванні даних. Використання відповідних методів шифрування запобігає неавторизованому доступу до даних незалежно від того, де вони знаходяться – в процесі передачі або зберігання в хмарі, і дозволяють організаціям використовувати переваги хмарних обчислень, не піддаючи важливі дані ризику або зводячи цей ризик до мінімуму.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ХМАРНІ ОБЧИСЛЕННЯ, ХМАРНІ СЕРВІСИ, ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА.

ABSTRACT

Chervyakova T.I. Information security of cloud computing technology. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article is devoted to the analysis of theoretical and practical aspects of technology of cloud computing, revealing of the main problems of providing information security of various models of cloud services and models of deployment of cloud environments, as well as the choice of methods for providing security of data processing and methods for improving the safety of cloud computing.

Object of research – information security technology cloud computing.

The purpose of the work is to analyze the theoretical and practical aspects of information security technology of cloud computing, determination of their principles and perspectives.

Methods of research – analysis, synthesis, generalization, systematization, graphic.

One of the main approaches to the implementation of cloud infrastructure is the virtualization technology - the provision of computing resources abstracted from their real hardware implementation. With the increase in the degree of cloud computing technology openness, the flexibility of its operation and the universality of access, the security of the system decreases and requires more complicated methods of ensuring its security.

The cloud computing system can be exposed to several types of security threats, including threats to the integrity, privacy and availability of its resources, data, and virtual infrastructure.

The construction of the cloud computing security system requires taking into account the model of its deployment (private, public or hybrid cloud) and the differences in the levels of control and access for user and provider in different cloud service models (IaaS, PaaS, SaaS).

The most effective and thus universal way of ensuring data protection in the cloud, as well as its confidentiality and integrity, is to use the data encryption at the file level when transmitting over information networks and when storing inside the cloud.

IT-administrators and users can partially regain control over the security of their data, using security-based solutions based on data encryption. Using the appropriate encryption methods prevents unauthorized access to data, regardless of where they are located, in the process of transmitting or storing it in the cloud, and allowing organizations to take advantage of cloud computing without compromising or minimizing risk.

KEYWORDS: CLOUD COMPUTING, CLOUD SERVICES, INFORMATION SECURITY.

РЕФЕРАТ

Червякова Т.И. Информационная безопасность технологии облачных вычислений. / Т.И. Червякова // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

Статья посвящена анализу теоретических и практических аспектов технологии облачных вычислений, выявлению основных проблем обеспечения информационной безопасности различных моделей облачных сервисов и моделей развертывания облачного среды, а также выбора методов обеспечения безопасности обработки данных и способов повышения безопасности облачных вычислений.

Объект исследования – информационная безопасность технологии облачных вычислений.

Цель работы – анализ теоретических и практических аспектов информационной безопасности технологии облачных вычислений, определение их принципов и перспектив.

Методы исследования – анализ, синтез, обобщение, систематизация, графические.

Одним из основных подходов к реализации облачной инфраструктуры является технология виртуализации – предоставление вычислительных ресурсов, отвлеченных от их реальной аппаратной реализации. С увеличением степени открытости технологии облачных вычислений, гибкости работы с ней и универсальности доступа уменьшается защищенность системы и осложняется методика обеспечения ее безопасности.

Система облачных вычислений может подвергаться нескольким видам угроз безопасности, включая угрозы целостности, конфиденциальности и доступности ее ресурсов, данных и виртуальной инфраструктуры.

При построении системы информационной безопасности облачной среды следует учитывать модель ее развертывания (частное, публичное, общественное или гибридное облако) и различия в слоях контроля и доступа пользователя и провайдера в различных моделях облачных сервисов (IaaS, PaaS, SaaS).

Наиболее эффективным и при этом универсальным способом обеспечения в облаке защиты данных, их конфиденциальности и целостности – это использованием шифрования данных на уровне файлов при их передаче по информационным сетям и при хранении внутри облака.

IT-администраторы и пользователи могут частично вернуть себе контроль над обеспечением безопасности своих данных, используя решения защиты, основанные на шифровании данных. Использование соответствующих методов шифрования предотвращает несанкционированный доступ к данным независимо от того, где они находятся – в процессе передачи или хранения в облаке, и позволяют организациям использовать преимущества облачных вычислений, не подвергая важные данные риску или сводя этот риск к минимуму.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ОБЛАЧНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ, ОБЛАЧНЫЕ СЕРВИСЫ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ.

АВТОР

Червякова Татьяна Ивановна, Национальный транспортный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры электроники та обчислювальної техніки, e <https://orcid.org/0000-0002-3672-9173>, e-mail: Chervyakova_T@mail.ru, тел.: +380674450896.

AUTHOR

Chervyakova Tatiana I., National Transport University, Ph.D., Associate Professor, Department of electronics and computers, <https://orcid.org/0000-0002-3672-9173>, e-mail: Chervyakova_T@mail.ru, tel.: +380674450896.

АВТОР

Червякова Татьяна Ивановна, Национальный транспортный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры электроники и вычислительной техники, <https://orcid.org/0000-0002-3672-9173>, e-mail: Chervyakova_T@mail.ru, тел.: +380674450896.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Воркут Т.А., доктор технических наук, профессор, завідувач кафедри транспортного права та логістики Національного транспортного університету, м. Київ, Україна.

Івохін Є.В., доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри системного аналізу та теорії прийняття рішень факультету комп'ютерних наук та кібернетики Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

REVIEWERS:

Vorkut T.A., PhD, Professor, Head of Department of Logistics and Transport Law, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Ivohin E.V., PhD, Professor of Department of System Analysis and Decision-Making Theory, Faculty of Computer Science and Cybernetics, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine.

КОНЦЕНТРАЦІЯ НАПРУЖЕНЬ В ОКОЛІ ТРІЩИНИ В ДОРОЖНЬОМУ ПОКРИТТІ ПРИ ДІЇ ТРАНСПОРТНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Шевчук Л.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, ludmilashevchuk25@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5748-9527

STRESS CONCENTRATION IN THE VICINITY OF A CRACK IN THE ROAD COATING UNDER TRANSPORT LOADS

Shevchuk L. V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, ludmilashevchuk25@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5748-9527

КОНЦЕНТРАЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ОКРЕСТНОСТИ ТРЕЩИНЫ В ДОРОЖНОМ ПОКРЫТИИ ПРИ ДЕЙСТВИИ ТРАНСПОРТНЫХ НАГРУЗОК

Шевчук Л. В., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, ludmilashevchuk25@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5748-9527

Постановка проблеми.

Особливу специфіку в роботу дорожньої конструкції вносять матеріали шарів покриття, що включають асфальтобетон, цемент, щебінь, пісок, ґрунт та ін. [2, 10]. Всі вони по-різному опираються розтягу, стисненню та зсуву, а асфальтобетон, крім того у загальному випадку, є нелінійним в'язко-пружно-пластичним матеріалом, властивості якого в значній мірі залежать від температури [6-9]. В практиці розрахунку напружено-деформованого стану таких систем ці властивості зазвичай використовуються лише для встановлення тенденції загальної механічної поведінки систем, а аналіз конкретної системи відбувається в пружній (термопружній) постановці з використанням так званих приведених модулів, що відповідають даному стану системи при заданому рівні навантаження [2].

Аналіз результатів дослідження.

В роботах [1-5] наведені результати скінченно-елементного моделювання напружено-деформованого стану конструкції дороги для випадків напруження суцільності в результаті наявності в ній розвантажуючого розрізу, підкріпленого жорсткою плитою, і при наявності розшарування. Показано, що ці недосконалості конструкції пов'язані з появою ефектів концентрації напружень. Оскільки розглянуті явища широко зустрічаються на практиці, проаналізуємо додатково вплив внутрішніх вертикальних тріщин на зміну полів напружень в шаруватій конструкції дороги з чотирма шарами покриття, який складається з дрібнозернистого асфальтобетона ($h_1 = 0,08$ м, $E_1 = 3200$ МПа), крупнозернистого асфальтобетона ($h_2 = 0,1$ м, $E_2 = 3200$ МПа), щебенево-піщаної суміші ($h_3 = 0,18$ м, $E_3 = 700$ МПа) та піска ($h_4 = 0,2$ м, $E_4 = 100$ МПа). Шаруватий одяг покриває ґрунтовий масив з модулем пружності $E_5 = 88,5$ МПа. Вибрані розрахункові схеми, коли вертикальна тріщина пронизує два верхніх шари (рис. 1 б) і третій шар (рис. 1 в).

Вважалося, що вертикальне навантаження інтенсивністю $P = 900$ кПа рівномірно розподілене на плямі поверхні, що відповідає площадці контакту шини автомобільного колеса з поверхнею дороги. Зона її розподілу на відбиток колеса з дорогою показана на кожному наведеному рисунку.

На вільних площинах шару 1 і ґрунтовому масиві задані умови рівності нулю нормальних і дотичних напружень

$$\sigma_y = 0, \tau_{yx} = \tau_{yz} = 0. \quad (1)$$

У межах контактної взаємодії напруження σ_y дорівнює тиску p , тому

$$\sigma_y = -p. \quad (2)$$

Для розв'язання задачі був використаний метод скінченних елементів. При цьому виділений для розрахунків шаруватий масив розбивався на тривимірні скінченні елементи і система диференціальних рівнянь замінювалася системою алгебраїчних скінченно-елементних рівнянь [1 – 4]

$$[K_u] \{u\} = \{q\}, \quad (3)$$

сформованих з урахуванням граничних рівнянь (1) – (2). Тут $[K_u]$ – матриця жорсткості для скінченно-елементної моделі всього пружного масиву, $\{u\}$ – вектор вузлових переміщень, $\{q\}$ – вектор навантаження.

Спочатку розглянемо випадок, коли покриття не має тріщини (рис. 1 а). Результати розрахунків представлені на рис 2-3. Як для прикладів, наведених вище, тут на кольоровому зображенні поля напружень кожному відтінку кольорової палітри відповідає значення напружень, які наведені справа на стовпчику кольорової шкали. Аналіз поля напружень σ_{xx} , представлених на рис. 2 а, свідчить про те, що найбільші стискаючі навантаження мають місце в центральній зоні розподілення навантаження. Їх локалізація і значення позначені зафарбованим кружком. Розтягуючі напруження σ_{xx} переважають в більш широкій зоні третього шару. Вони збільшуються по мірі наближення до площини контакту третього і четвертого шарів (см. незафарбований кружок), потім зазнають розрив і зменшуються майже до нуля. Характер розподілу цих напружень у вертикальному перерізі, який проходить через середину площадки розподілу зовнішнього навантаження P , показаний на рис. 2 в.

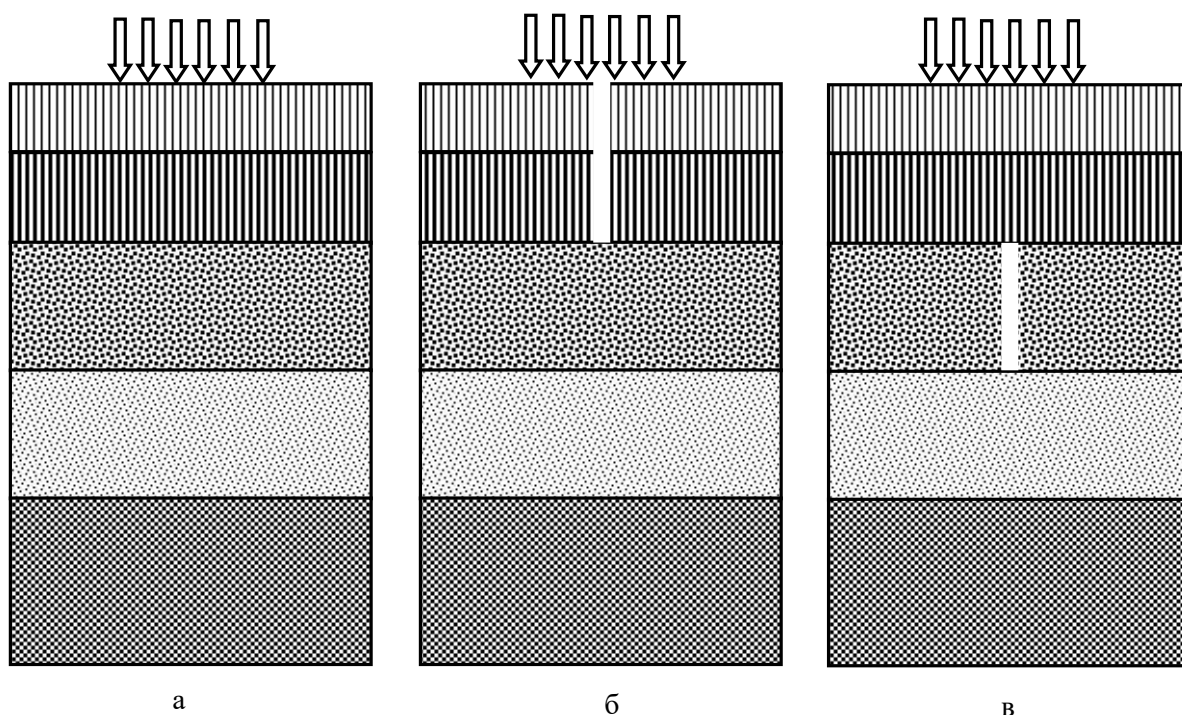


Рисунок 1 – Конструктивні схеми дорожнього одягу: без тріщини (а), з тріщинами в верхніх (б) і внутрішньому (в) шарах

Figure 1 – Road construction schemes: no cracks (a), with cracks in the upper (b) and inner (c) layers

Рис. 3 відображує картину розподілу напружень τ_{xy} . Ця функція майже симетрична відносно вертикалі, яка проходить через середину площадки розподілу навантаження і має більш гладке розподілення з двома зонами найбільших значень різних знаків. Вони відмічені кружочками. Графіки цієї функції в вертикальному перерізі, що проходить через центр найбільших додатних значень, представлений на рис. 3 в. Тут максимальні значення реалізуються на границі другого і третього шарів, являючись потенційною причиною розшарування покриття в цій зоні. Напруження σ_{yy} і σ_{zz} мають порівняно менші значення і тут не показані.

Введення в цю конструкцію вертикальної тріщини привело до суттєвої перебудови полів деформації і напружень та збільшило їхню інтенсивність. Розглянутий випадок, коли тріщина пронизувала два перших верхніх шара (рис. 1 а), проходячи біля краю площадки розподілу верхнього навантаження. При цьому зона концентрації напружень стиску перемістилася до гирла тріщини (рис. 4), де вони досягли значення $\sigma_{xx} = -7308,4$ кПа. Місце локалізації найбільших розтягуючих

напружень практично не змінилося, вони також зосереджені в нижній частині третього шару і досягли значення $\sigma_{xx} = 1314$ кПа.

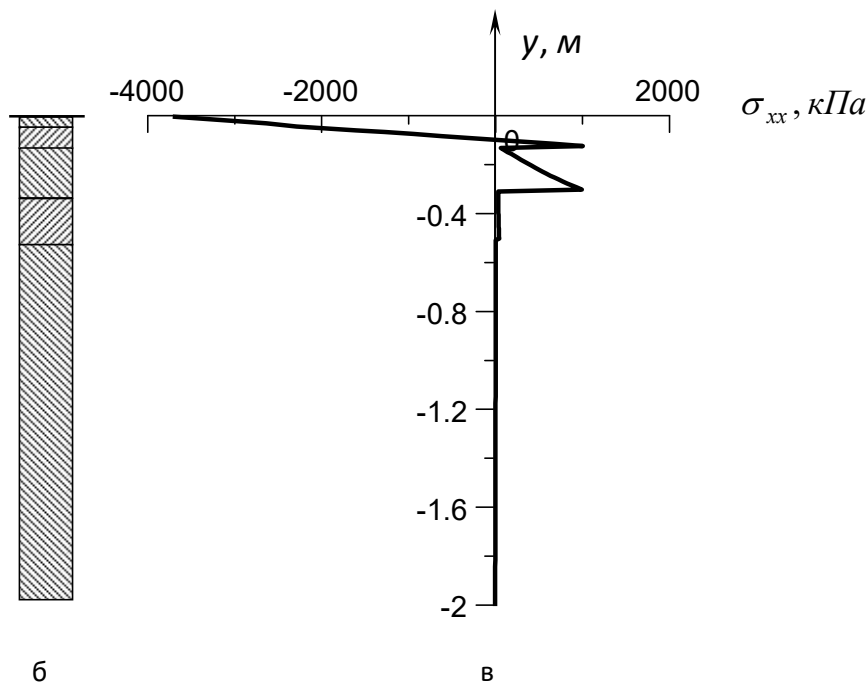
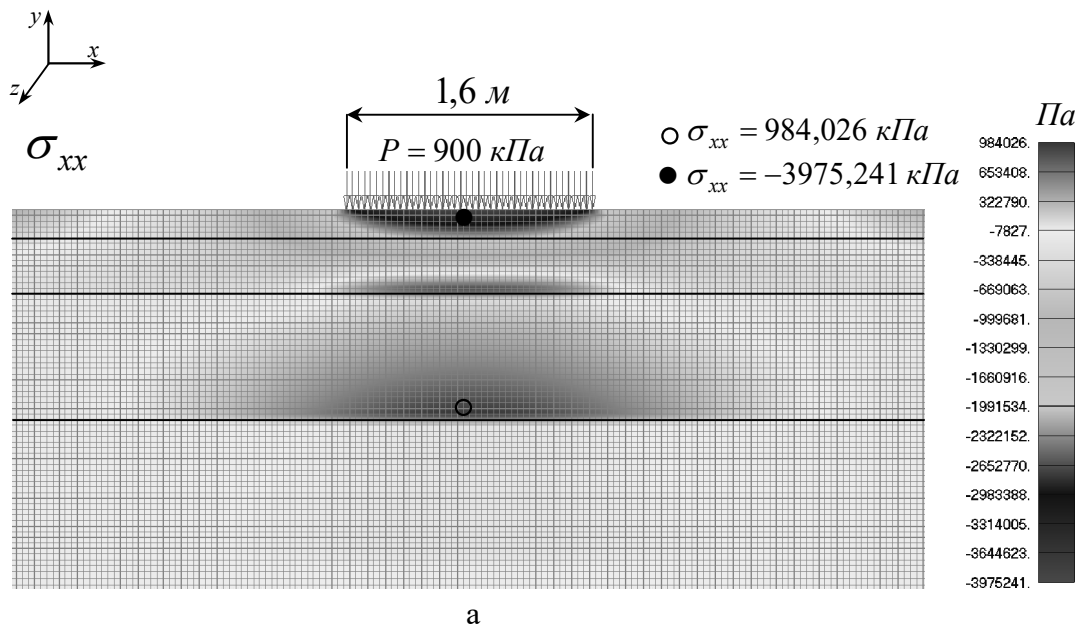
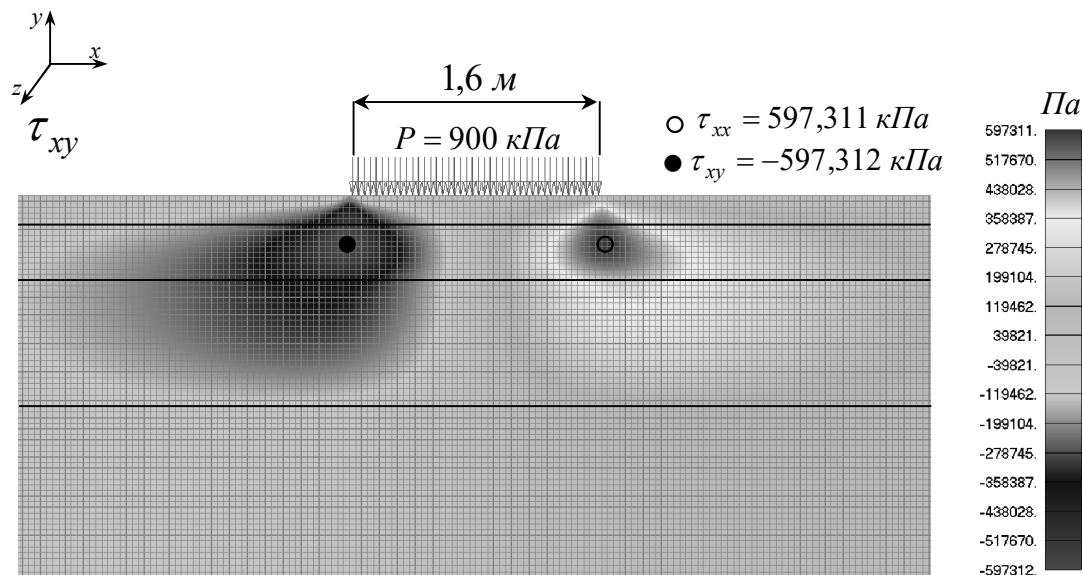
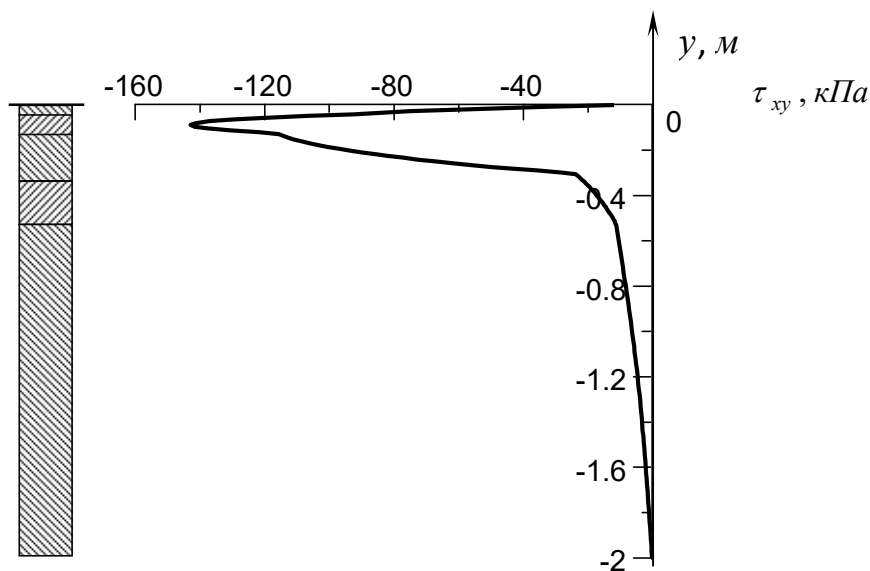


Рисунок 2– Нормальні напруження σ_{xx} в шарах покриття, яке не має тріщини: а – палітра поля напружень σ_{xx} ; б – схема розташування шарів; в – графік розподілу функції σ_{xx} в вертикальному (центральному по відношенню до навантаження) перерізі дороги
 Figure 2- Normal stresses σ_{xx} in layers of coating that are not cracked: а – palette of stress field σ_{xx} ; б – scheme of arrangement of layers; в – graph of the distribution of the function σ_{xx} in the vertical (central to the load) section of the road



а



б

в

Рисунок 3 – Дотичні напруження τ_{xy} в шарах покриття, яке не має тріщини: а – палітра поля напружень τ_{xy} ; б – схема розташування шарів; в – графік розподілу функції τ_{xy} в вертикальному (центральному по відношенню до навантаження) перерізі дороги
 Figure 3 – Tangent stresses τ_{xy} in layers of crack-free coating: a – stress field palette τ_{xy} ; b – scheme of arrangement of layers; c – graph of the distribution of the function τ_{xy} in the vertical (central to the load) section of the road

До гирла тріщини змістилися також і найбільші дотичні напруження (рис. 5). Вони досягли значення $\tau_{xy} = 1228,6$ кПа і збільшившись при цьому майже в три рази.

Значний практичний інтерес викликає випадок, коли вертикальна тріщина пронизує внутрішній шар (рис. 1 б). За розробленою методикою було виконано скінченно-елементне дослідження напружено-деформованого стану системи при розташуванні тріщини в третьому шарі під краєм відбитку контакту колеса з дорогою. Як видно з даних, які наведені на рис. 6, 7,

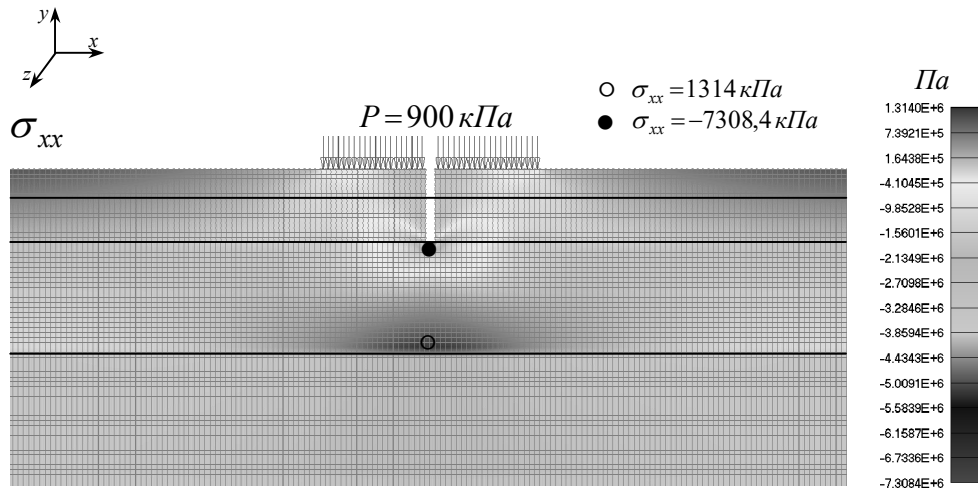


Рисунок 4 – Поле розподілу напружень σ_{xx} в шарах конструкції з тріщиною
Figure 4 – Field of stress distribution σ_{xx} in the layers of the structure with a crack

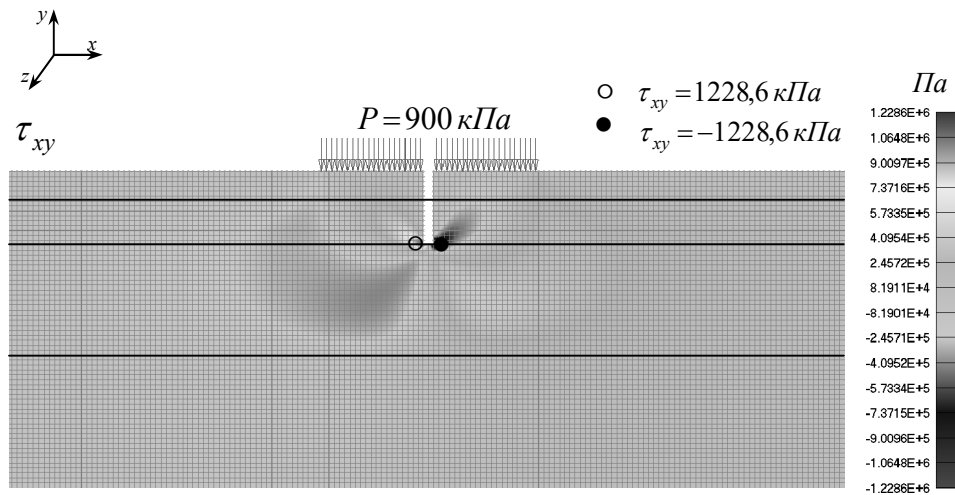


Рисунок 5 – Поле розподілу дотичних напружень τ_{xy}
Figure 5 – The field of distribution of tangent stresses τ_{xy}

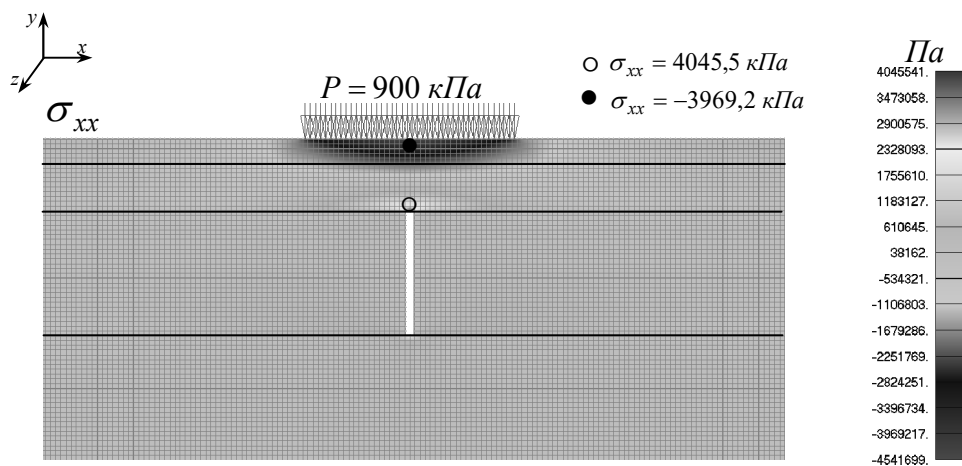


Рисунок 6 – Поле розподілу функції нормальних напружень σ_{xx}
Figure 6 – The field of distribution of the function of normal stresses σ_{xx}

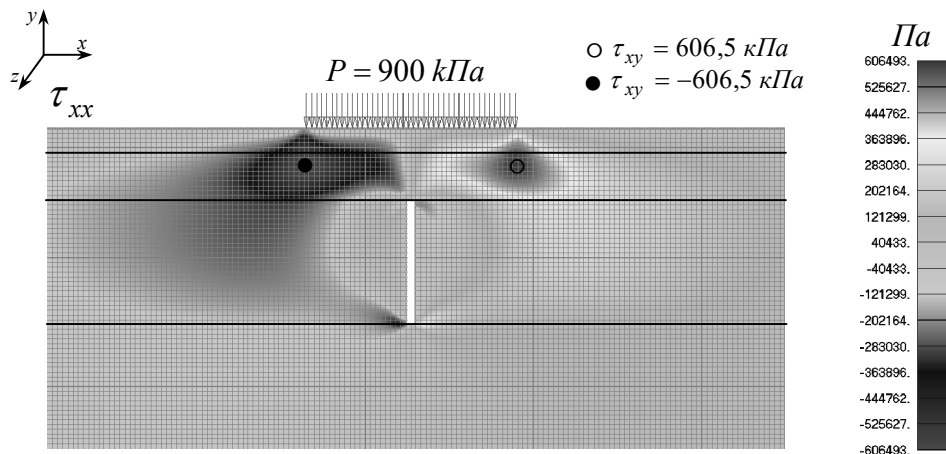


Рисунок 7 – Поле розподілу дотичних напружень τ_{xy}

Figure 7 – The field of distribution of tangent stresses τ_{xy}

значні величини напружень σ_{xx} і τ_{xy} мають місце в центральній та крайовій зонах розподілення навантаження P . Проте найбільша концентрація функції розтягуючих напружень σ_{xx} має місце у верхньому гирлі тріщини (рис. 6). У нижньому гирлі тріщини ця концентрація є відчутно меншою. У той же час необхідно врахувати, що підвищенні значення цієї функції досягли поверхні ґрунтового масиву, що має понижену міцність на зсув.

При цьому найбільші стискаючі напруження σ_{xx} реалізуються на поверхні верхнього шару. Вони мають значення $\sigma_{xx} = -3969,2$ кПа.

Внутрішня тріщина суттєво вплинула також і на розподіл та концентрацію дотичних напружень τ_{xy} (див. рис. 7). Зона концентрації цих напружень перемістилася до верхнього гирла тріщини.

Висновок.

Відзначимо, що виконаний скінченно-елементний аналіз впливу тріщини на напружено-деформований стан багатошарової системи відіграє, швидше, якісну роль, оскільки концентрація напружень в зонах тріщин у значній мірі залежить від геометрії тріщини та її структури в її гирлі. Зі зменшенням розмірів елементів скінченно-елементної решітки розрахункові напруження можуть як завгодно збільшуватися, тому уточнення цих розрахунків повинно здійснюватися в пружно-пластичній постановці. Проте навіть пружне формулювання задачі виявляється досить корисною для якісної (і кількісної) оцінки напружено-деформованого стану шаруватої конструкції, не тільки у всій розрахунковій області але і в деякому okolí тріщини.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гайдайчук В.В. Моделювання напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу під дією транспортних навантажень / В.В. Гайдайчук, В.В. Мозговий, Ю.О. Заєць, Л.В. Шевчук // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2017. – Вип. 99 – С.45 – 57.
2. Гуляєв В.І. Термопружний стан багатошарових дорожніх покриттів. / [В.І. Гуляєв, В.В. Гайдайчук, В.В. Мозговий та ін.] – НТУ, Київ, 2018. 252с.
3. Гуляєв В.І. Дослідження напружено-деформованого стану дорожнього одягу з укріпленою основою під поперечними тріщинами і швами. / В.І. Гуляєв, В.В. Мозговий, О.О. Густелєв, Н.В. Шлюнь, О.М. Куцман, С.А. Баран // Вісник Національного транспортного університету. — 2019. — Вип. 43. – С. 26 – 38.
4. Гуляєв В.І. Дослідження термонапруженого стану конструкцій дорожнього одягу / В.І. Гуляєв, В.В.Гайдайчук, В.В. Мозговий, Ю.О.Заєць, Л.В. Шевчук // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2017. – №1. – С. 6 – 12.
5. Гуляєв В.І.Сезонний перерозподіл полів напружень в конструкціях шаруватих покриттів доріг під дією транспортних навантажень / В.І.Гуляєв, Л.В. Шевчук, О.М. Куцман // Вісник Національного транспортного університету. — 2018. — Вип. 40. – С. 98 – 105.

6. Коваленко А.Д. Основы термоупругости. / А.Д. Коваленко – Киев: Наукова Думка, 1970. – 239 с.
7. Мозговий В.В. Механічні ефекти і парадокси явищ термопружного напруження в конструкціях дорожніх одягів / В.В. Мозговий, В.В.Гайдайчук, Ю.О.Заєць, Л.В. Шевчук, О.О. Густелев // Дороги і мости. – 2018. – Вип. 18 – С.128 – 146.
8. Перельмутер А. В., Сливнер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 600 с.
9. Шевчук Л.В. Скінченно-елементний моніторинг напружено-деформованого стану дорожнього покриття з розшаруванням / Л.В. Шевчук, О.В. Ващільна, І.В. Лебедева, С.А. Баран // Вісник КНУ ім. Т.Г. Шевченка. – 2018. – Вип. 2. – С. 57 – 63.
10. Radovskiy B., Teltayev B. Viscoelastic Properties of Asphalts Based on Penetration and Softening Point. Monograph. – Springer Nature, Switzerland, 2017. – 107 p.

REFERENCES

1. Gaydaychuk, V.V., Mozgoviy, V.V., Zaets, Yu. A., Shevchuk, L.V. (2017) Modeliuvannya napruzhenno-deformovanoho stanu konstrukttsii dorozhnoho odiahu pid diieiu transportnykh navantazhen [Simulation of stress-strain states of road structures under action of transport loads]. Opir materialiv i teoriia sporud – [Strength of Materials and Theory of structures], 99, 45-57 [in Ukrainian].
2. Gulyayev, V. I., Gaydaychuk, V.V., Mozgoviy, V.V. (2018) Termopruzhnii stan bahatosharovykh dorozhnykh pokryttiv [Thermoelastic state of multilayer pavements]. Kyiv. [in Ukrainian].
3. Gulyayev, V. I., Mozgoviy, V.V., Gustelev, O.O., Shlyun, N.V., Kutsman, O.M., Baran, S.A. (2019) Doslidzhennia napruzhenno-deformovanoho stanu dorozhn'oho odiahu z ukriplenoiu osnovoiu pid poperechnymy trischynamy i shvamy [Investigation of the stress-strain state of road clothing with reinforced base under transverse cracks and joints]. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu – [Herald of National Transport University], 43, 26-38.
4. Gulyayev, V. I., Gaydaychuk, V.V., Mozgoviy, V.V., Zaets, Yu. A., Shevchuk, L.V. (2017) Doslidzhennia termonapruzhenoho stanu konstrukttsii dorozhnoho odiahu [Analysis of thermo-stressed state of the road coating structures]. Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy – [Industrial building and engineering structures], 1, 6-12 [in Ukrainian].
5. Gulyayev, V. I., Shevchuk, L.V., Kutsman O. M. (2018) Sezonnyi pererozpodil poliv napruzhen v konstrukttsiiakh sharuvatykh pokryttiv dorih pid diieiu transportnykh navantazhen [Seasonal redistribution of stress fields in layered road structures under transport load action]. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu – [Herald of National Transport University], 40, 98-105. [in Ukrainian].
6. Kovalenko, A.D. (1970). Osnovy termopruzhnosti [Thermoelasticity fundamentals]. Kyiv: Naukova Dumka [in Russian].
7. Mozgoviy, V.V., Gaydaychuk, V.V., Zaets, Yu. A., Shevchuk, L.V., Gustelev, O.O., Kutsman, O.M. (2018) Mekhanichni efekty i paradoksy yavysch termopruzhnoho napruzhenia v konstrukttsiiakh dorozhnykh odiahiv [Mechanical effects and paradoxes of phenomena of thermoelastic stress in roadwear designs]. Dorohy i mosty – [Roads and bridges], 18, 128 – 146 [in Ukrainian].
8. Perelmuter, A.V., Slyvner, V.Y (2007) Raschetnye medely sooruzheniy y vozmozhnost ykh analiza [Design models of structures and the possibility of their analysis]. Moskva: DMK Press [in Russian].
9. Shevchuk, L.V., Vaschilina, O.V., Lebedieva, I.V., Baran, S.A. (2018) Skinchenno-elementnyi monitorynh napruzhenno-deformovanoho stanu dorozhnoho pokryttia z rozsharuvanniam [Finite element monitoring of stress-strain state of pavement with stratification]. Visnyk KNU im. T.H. Shevchenka – [Visnyk of KNU them. T.G. Shevchenko], 2., 57 – 63. [in Ukrainian].
10. Radovskiy B., Teltayev B. Viscoelastic Properties of Asphalts Based on Penetration and Softening Point. Monograph. – Springer Nature, Switzerland, 2017. – 107 p.

РЕФЕРАТ

Шевчук Л.В. Концентрація напружень в околі тріщини в дорожньому покритті при дії транспортних навантажень / Л.В. Шевчук // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

Поставлена задача про концентрацію напружень в околі тріщини в конструкції багат шарового дорожнього покриття при дії транспортних навантажень. Її аналіз відбувається в пружній постановці з використанням приведених модулів пружності, що відповідають даному стану системи при заданому рівні навантаження. Розглянуто випадки, коли покриття не має тріщини та має їх в верхніх і внутрішньому шарах.

Проаналізовано вплив поперечних тріщин на перерозподіл полів напружень при дії транспортних навантажень. У випадку, коли покриття не має тріщин, найбільші стискаючі напруження мають місце на верхній площині покриття. Розтягуючі напруження переважають в зоні третього шару. Вони збільшуються по мірі наближення до площини контакту третього і четвертого шару. Максимальні значення дотичних напружень реалізуються на границі другого і третього шарів, являючись при цьому потенційною причиною розшарування покриття в цій зоні. Якщо тріщина пронизує два перших верхніх шари, то найбільше напруження стиску перемістилися до гирла тріщини, а напруження розтягу залишилися практично незмінним. У випадку, коли вертикальна тріщина пронизує внутрішній шар, максимальні значення нормальних і дотичних напружень мають місце в центральній та крайовій зонах розподілення навантаження.

Виконано скінченно-елементний аналіз впливу тріщини на напружено-деформований стан багатшарової системи. Концентрація напружень в зонах тріщин у значній мірі залежить від геометрії тріщини та її структури в її гирлі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОМОБІЛЬНА ДОРОГА, ДОРОЖНЕ ПОКРИТТЯ, ТРАНСПОРТНІ НАВАНТАЖЕННЯ, НОРМАЛЬНЕ НАПРУЖЕННЯ, ДОТИЧНЕ НАПРУЖЕННЯ, НАПРУЖЕННО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН.

ABSTRACT

Shevchuk L.V. Stress concentration in the vicinity of a crack in the road coating under transport loads. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The problem of stress concentration in the vicinity of a crack under the action of transport loads is posed. Its analysis takes place in an elastic (thermoelastic) formulation using the given modules that correspond to a given state of the system at a given load level. Cases where the coating has no cracks and has them in the upper and inner layers are considered.

The effect of transverse cracks on the redistribution of stress fields under the action of transport loads is analyzed. In the case where the coating has no cracks, the greatest compressive stresses occur on the top plane of the coating. Tensile stresses predominate in the zone of the third layer. They increase as they approach the contact plane of the third and fourth layers. The maximum values of the tangent stresses are realized at the boundary of the second and third layers, thus being a potential cause of the coating delamination in this zone. If the crack penetrates the first two upper layers, then the greatest compression stress has moved to the fracture mouth, and the tensile stress remains almost unchanged. In the case where a vertical crack penetrates the inner layer, the maximum values of the normal and tangent values occur in the central and edge zones of the load distribution.

A finite element analysis of the effect of the crack on the stress-strain state of the multilayer system is performed. The stress concentration in the crack zones depends largely on the geometry of the crack and its structure at its mouth.

KEYWORDS: AUTOMOBILE ROAD, ROAD COATING STRUCTURE, TRANSPORT LOADS, NORMAL VOLTAGE, TENSION VOLTAGE, TENSION-DEFORMED CONDITION.

РЕФЕРАТ

Шевчук Л.В. Концентрация напряжений в окрестности трещины дорожном покрытии при воздействии транспортных нагрузок / Л.В. Шевчук // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

Поставлена задача о концентрации напряжений в окрестности трещины при воздействии транспортных нагрузок. Ее анализ выполнен в упругой постановке с использованием приведенных модулей упругости, соответствующих данному состоянию системы при заданном уровне нагрузки. Рассмотрены случаи, когда покрытие не имеет трещины и имеет их в верхних и внутреннем слоях.

Проанализировано влияние поперечных трещин на перераспределение полей напряжений при воздействии транспортных нагрузок. В случае если покрытие не имеет трещин, то наибольшие сжимающие напряжения имеют место на верхней плоскости покрытия. Растягивающие напряжения преобладают в зоне третьего слоя. Они увеличиваются по мере приближения к плоскости контакта третьего и четвертого слоя. Максимальные значения касательных напряжений реализуются на границе второго и третьего слоев, являясь при этом потенциальной причиной расслоения покрытия в этой зоне. Если трещина пронизывает два первых верхних слоя, то наибольшее напряжение сжатия переместились к устью трещины, а напряжение растяжения осталось практически неизменным. В

случае если вертикальная трещина пронизывает внутренний слой максимальные значения нормальных и касательных напряжений имеют место в центральной и краевой зонах распределения нагрузки.

Выполнен конечно-элементный анализ влияния трещины на напряженно-деформированное состояние многослойной системы. Концентрация напряжений в зонах трещин в значительной степени зависит от геометрии трещины и ее структуры в ее устье.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АВТОМОБИЛЬНАЯ ДОРОГА, ДОРОЖНОЕ ПОКРЫТИЕ, ТРАНСПОРТНЫЕ НАГРУЗКИ, НОРМАЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ, КАСАТЕЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ, НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ.

АВТОР:

Шевчук Людмила Володимирівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, асистент кафедри вищої математики, e-mail: ludmilashevchuk25@gmail.com, тел. +380667153633, Україна, 01010, м. Київ, вул. Бойчука 42, к. 511, orcid.org/0000-0002-5748-9527.

AUTHOR:

Shevchuk L. V., Ph.D., National Transport University, assistant department of mathematics, e-mail: ludmilashevchuk25@gmail.com, tel. +380667153633, Ukraine, 01010, Kyiv, Boychuka str.42, of.511, orcid.org/0000-0002-5748-9527

АВТОР:

Шевчук Людмила Владимировна, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, ассистент кафедры высшей математики, e-mail: ludmilashevchuk25@gmail.com, тел. +380667153633, Украина, 01010, г. Киев, ул. Бойчука 42, к. 511, orcid.org/0000-0002-5748-9527.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гайдайчук В.В., доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури, завідувач кафедри теоретичної механіки, Київ, Україна.

Лоза І.А., доктор фізико-математичних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри теоретичної механіки, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Gaidaichuk V.V., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, Kyiv National University of Structures and Architecture, Head of Department of Theoretical Mechanics, Kyiv, Ukraine.

Loza I.A., Ph.D., Physics and Mathematics (Dr), professor, National Transport University, Head of Department of Theoretical Mechanics, Kyiv, Ukraine.

ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ФОРМУВАННЯ І РОЗВИТОК МУЛЬТИМОДАЛЬНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Ширяєва С.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, svitlana007@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9696-635X

FACTORS AFFECTING THE FORMATION AND DEVELOPMENT OF THE MULTIMODALINE TRANSPORT SYSTEM OF UKRAINE IN MODERN CONDITIONS

Shyriaieva S.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, svitlana007@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9696-635X

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ И РАЗВИТИЕ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ УКРАИНЫ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Ширяева С.В., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, svitlana007@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9696-635X

Постанова проблеми.

На сьогоднішній день розвиток мультимодальних перевезень є найбільш перспективним напрямом для розбудови світової транспортної системи, оскільки дає можливість збільшити обсяги перевезень в будь-яке місце країни чи світу та залучати різні види транспорту, щоб зберегти довкілля. Мультимодальні перевезення активно розвиваються і удосконалюються на транспортних маршрутах Європи, Азії та США і сприяють інтеграції локальних транспортних систем у світову транспортну систему.

Україна розташована на перехресті торговельних шляхів. Через територію України проходять Пан'європейські транспортні коридори № 3, 5, 7, 9, коридори Організації співробітництва залізниць № 3, 4, 5, 7, 8 та транспортний коридор Європа – Кавказ – Азія (ТРАСЕКА).

Отже, Україна має великі перспективи для повноцінної інтеграції вітчизняної транспортної системи у світову транспортну систему, особливо при виконанні мультимодальних перевезень.

Важливим завданням є активізація заходів щодо формування і розвитку мультимодальної транспортної системи України, що сприятиме підвищенню конкурентоспроможності України на світовому ринку.

Аналіз основних досліджень і публікацій.

Проблеми інтер- та мультимодальних перевезень, формування мультимодальних систем розкриваються в роботах Милославської С.В., Миротина В.А., Плужникова К.І., Ташбаєва І.Е., Троїцької Н.А., Чубукова А.Б., Шилімова М.В., Караваєва В.І., Соколової О.Є., Лимонова Е.Л., Платонова О.І., Петренка О.І. та ін. [1-9, 13-15]

Враховуючи значну кількість наукових розробок досі не має єдиного трактування таких понять: «мультимодальні перевезення», «мультимодальна транспортна система».

Отже, актуальним є дослідження факторів, що впливають на формування та розвиток мультимодальної транспортної системи України.

Мета дослідження – визначення необхідних заходів щодо формування і розвитку мультимодальної транспортної системи України.

Виклад основного матеріалу дослідження.

В умовах інтеграційних процесів багатогалузева транспортна система видозмінюється у єдині логістичні ланцюги, активно розвивається мультимодальний, інтермодальний комбінований транспорт, відбувається формування єдиного ринку транспортних послуг на різних континентах.

Транспортна система України має низький рівень розвитку транспортно-логістичних технологій та об'єктів мультимодальних перевезень, що знижує її конкурентоспроможність та обмежує вихід української продукції на світовий транспортний ринок.

Світовий досвід свідчить про те, що одним із ефективних шляхів розвитку транспортних систем, що забезпечують доставку вантажів у відповідності з основними вимогами споживачів до транспортних послуг, є застосування мультимодальних перевезень.

Причинами виникнення мультимодальних перевезень вантажів є:

- потреба у безперевантажувальних технологіях доставки вантажів від вантажовідправників до вантажоодержувачів;
- вимоги клієнтів доставляти вантажі за системи «від дверей до дверей» і «точно в строк»;
- екологічні вимоги до транспортних засобів;
- конкурентна боротьба між різними видами транспорту;
- уніфікація вантажного місця і розвиток прогресивних транспортно-технологічних систем доставки вантажів – контейнерної, контрейлерної, ролкерної, ліхтерної, поромної;
- поява транспортних операторів, за допомогою яких з'явилась можливість концентрації виконання різноманітних послуг в організації перевезень різними видами транспорту в одних «руках»;
- використання наскрізного (уніфікованого) мультимодального транспортного коносаменту, єдиного для всього транспортно-логістичного ланцюга;
- використання єдиного наскрізного фрахту / тарифу у взаєморозрахунках між вантажовласником і транспортним оператором;
- єдина відповідальність за доставку вантажу від місця відправлення до місця призначення та виконання договору перевезення;
- послідовна централізована схема взаємодії ланок транспортного ланцюга.

Мультимодальні перевезення вантажів є однією з найважливіших складових транспортної концепції світового та національного значення, що сприяє ефективній взаємодії конкуруючих підприємств різних видів транспорту при наданні якісних послуг сучасного формату. Такі перевезення забезпечують доставку «від дверей до дверей», а також мають ряд переваг у частині відповідальності за всю доставку вантажів, ефективної системи контролю за проходженням вантажів, спрощення чисельних процедур на різних ділянках ланцюга постачань.

Отже, мультимодальне перевезення вантажів – перевезення вантажів двома або більше видами транспорту, яке організовується під відповідальністю оператора мультимодальних перевезень на підставі єдиного договору про мультимодальне перевезення за єдиним перевізним документом та за єдиною наскрізною ставкою фрахту.

Поява мультимодальних перевезень пов'язана передусім з глобальним розвитком контейнерних перевезень. Досвід країн, які є експортно-орієнтованими та вступили в ЄС, показав істотне зростання контейнеризації перевезень. В той час, як середній рівень контейнеризації в ЄС становить 45%, галузь контейнерних перевезень в Україні знаходиться на початковому етапі розвитку і становить 0,5%, а кількість терміналів – 7. При цьому обсяг перевезень залізницею – 0,13 млн TEU за кількістю регулярних сполучень – 9. Натомість, показники країн-членів ЄС такі: контейнеризація складає загальний показник в 45%, більше 200 терміналів та обсяг перевезень залізницею – 30 млн TEU за кількістю регулярних сполучень понад 400 (рис. 1). [10]



Рисунок 1 – Стан мультимодальних перевезень країнах ЄС, Білорусі, Росії та Україні [10]

Figure 1 – State of multimodal transport in the EU, Belarus, Russia and Ukraine [10]

Серед основних факторів, що стримують формування і розвиток мультимодальної транспортної системи України, є такі: недосконалість нормативно-правового регулювання питань мультимодальних перевезень; відсутність власного екологічно чистого рухомого складу різних видів транспорту особливо на автомобільному транспорті, який здійснює перевезення на далекі відстані; диспропорція між рівнями потужностей об'єктів мультимодальної транспортної інфраструктури та обсягами вантажопотоків; високі ризики операторів мультимодальних перевезень на значні відстані за участю двох і більше видів транспорту; політична обстановка в Україні; інформаційне забезпечення всіх ланок мультимодального логістичного ланцюга тощо.

Основним завданням у процесі формування мультимодальної транспортної системи є комплексний розвиток усіх складових:

- рухомого складу різних видів транспорту;
- мультимодальної транспортної мережі (мережі різних видів транспорту, що забезпечують мультимодальні перевезення).

Основною складовою транспортної мережі країни є мультимодальна транспортна мережа, яка представляє собою сукупність мультимодальних транспортних коридорів, мультимодальних транспортних вузлів та шляхів сполучення різних видів транспорту. [15-16].

Європейська комісія прийняла рішення затвердити карти Транс'європейської транспортної мережі (основна мережа TEN-T) в Україні та інших державах "Східного партнерства". Це означає, що Україна включена до Транс'європейської опорної транспортної мережі і стає важливим учасником розбудови транспортного коридору у сполученні Європа – Азія. Історичну значущість цього неможливо переоцінити. Українська транспортна мережа вперше стає частиною стратегічних транспортно-логістичних коридорів Євросоюзу. Це найважливіший крок на шляху інфраструктурної євроінтеграції України, який свідчить, що українська інфраструктура модернізується (рис.2) [12].

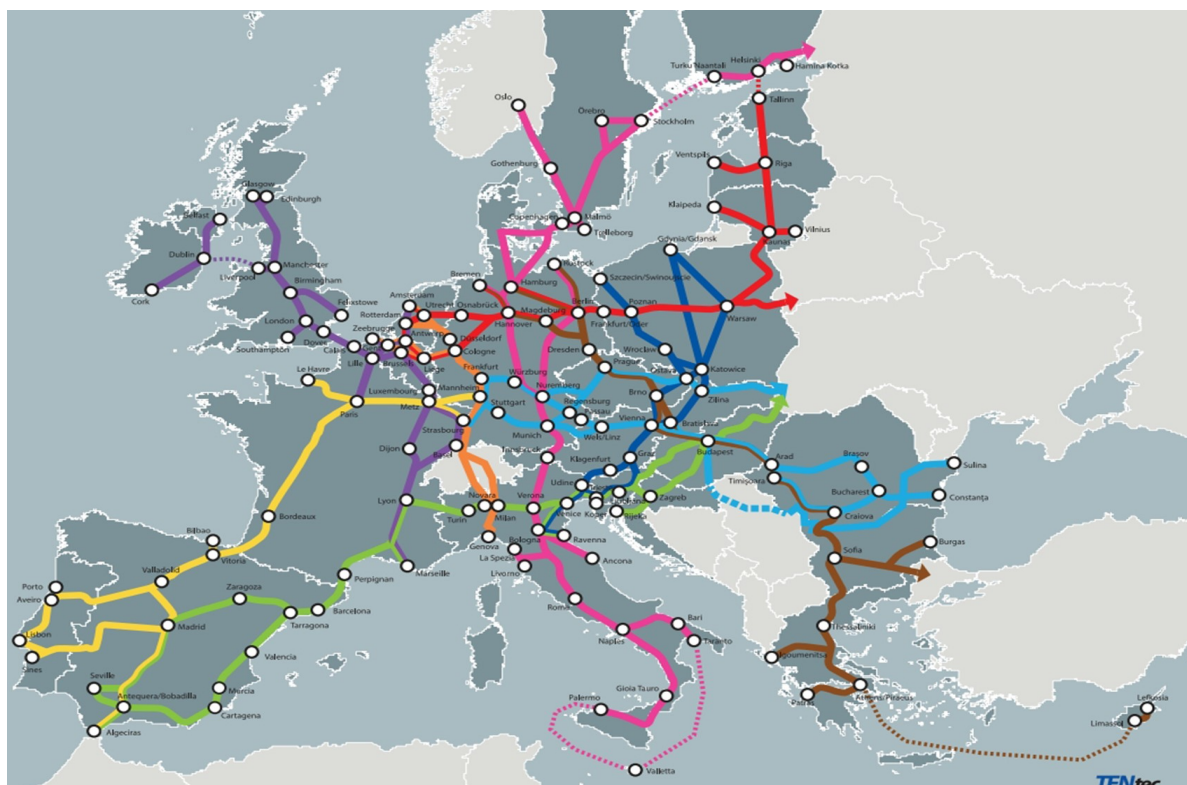


Рисунок 2 – Карта Європейської транспортної мережі TEN-T [12]

Figure 2 – Map of the European Transport Network TEN-T [12]

На сьогоднішній день, транспортна система України має низький рівень розвитку транспортно-логістичної інфраструктури для забезпечення належного обсягу мультимодальних перевезень, що знижує її конкурентоспроможність та гальмує вихід української продукції на світовий транспортний ринок.

Економіка України довгий час була спрямована на роботу з країнами СНД, і, як наслідок, майже відсутня необхідна інфраструктура контейнерних перевезень. В даний час відбувається процес переорієнтації вантажопотоків, проте є ризики залишитись «сірою» зоною в міжнародній мережі

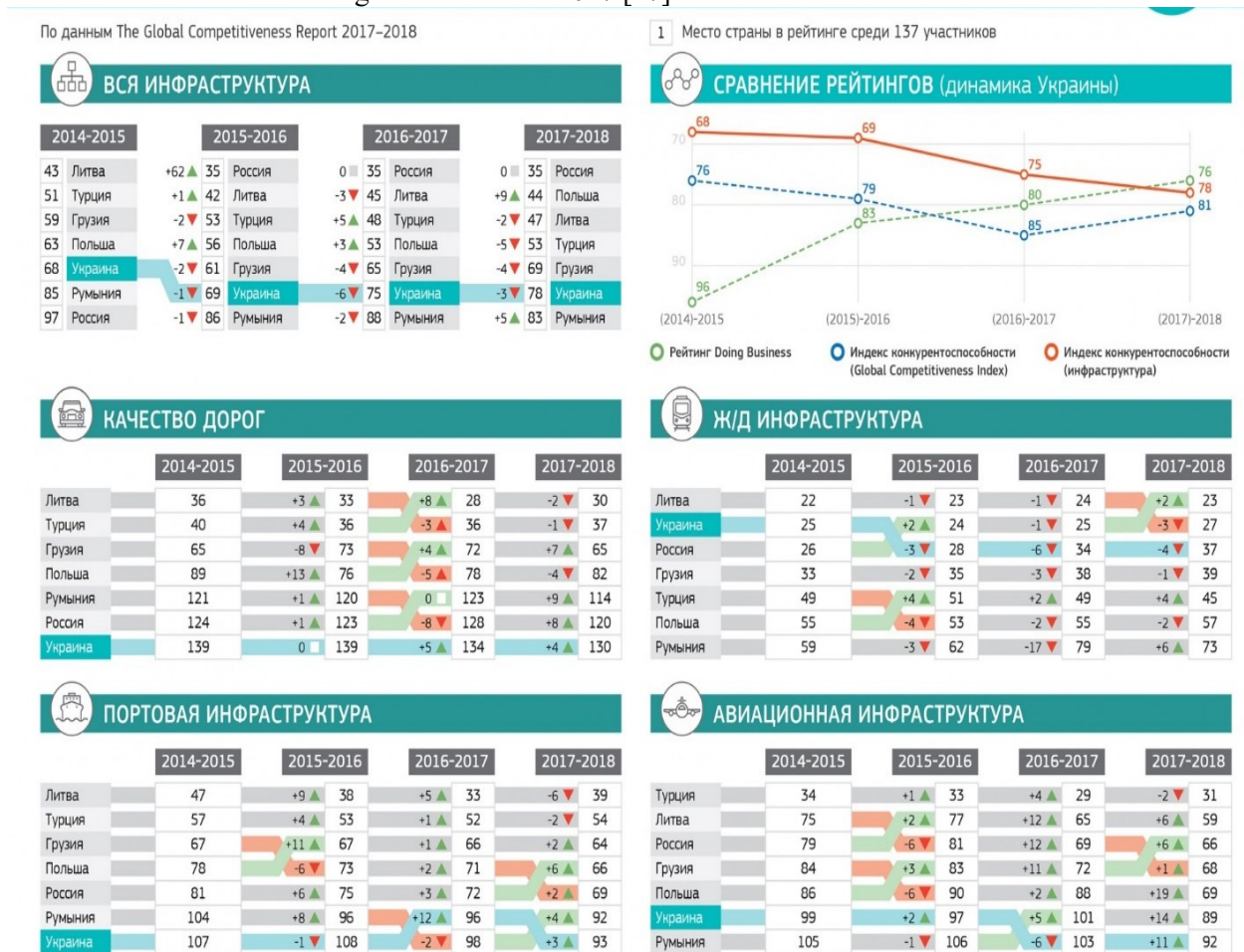
контейнерних перевезень через відсутність державної політики та відсутність розвинутої інфраструктури.

У 2017 році Всесвітній економічний форум опублікував традиційний щорічний рейтинг конкурентоспроможності країн світу. У порівнянні з рейтингом попереднього року Україна по параметру «інфраструктура» опустилася на три позиції – з 75 на 78 місце. Всього країн-учасниць рейтингу – 137.

За якістю доріг Україні вдалося піднятися за рік на 4 позиції (130 місце), також на три позиції – зростання за якістю портової інфраструктури (93 місце), плюс 11 пунктів – авіаційна інфраструктура (92 місце). А ось залізнична інфраструктура опустилася на 4 пункти. Проте, 37-е місце української залізниці – найвище із займаних України, в порівнянні з іншими видами транспорту (табл. 1). [17]

Таблиця 1 – Рейтинг інфраструктури України в світі в 2017 р. [17]

Table 1 – Ukraine's rating of the world in 2017 [17]



В Україні питання мультимодальних перевезень регулюються частково. Законодавство містить поняття перевезень у прямому змішаному сполученні, які регулюються нормами Господарського і Цивільного кодексів України, транспортними статутами, правилами перевезення та іншими нормативними актами.

Відповідно до чинного законодавства договір перевезення вантажу в прямому змішаному сполученні є багатостороннім, відправнику та одержувачу протистоїть не один перевізник, а більше, які визначаються співперевізниками. Під час укладення договору перевізник поряд з обов'язком доставити вантаж у пункт призначення набуває прав представника вантажовідправника і на підставі цього потім укладає від імені вантажовідправника договір із співперевізником. Таким чином, кожний наступний співперевізник, вступаючи у зобов'язання з попереднім перевізником, стає представником вантажовідправника.

Майнову відповідальність за незбереження вантажу, який перевозиться у прямому змішаному сполученні, несуть: сторона, яка подає вантаж до передачі його в пунктах перевалки; сторона, яка приймає вантаж після передачі вантажу в пунктах перевалки. Тобто відповідальність перед вантажовідправником несуть декілька співперевізників (кожен окремо на своєму етапі перевезення).

Для отримання відшкодування шкоди за втрачений (пошкоджений) вантаж необхідно чітко встановити етап, під час якого відбулося пошкодження (втрата) вантажу, що не завжди є можливим.

Отже, потрібно прийняти Закон України «Про мультимодальні перевезення» в якому пропонується визначити поняття мультимодального та комбінованого перевезення вантажів, термінал мультимодального перевезення, документу мультимодального перевезення, оператора та замовника мультимодального перевезення, визначення договору мультимодального перевезення, його істотних умов, прав та обов'язків його сторін, основних принципів державного регулювання та державної допомоги щодо такого виду перевезень.

В цьому законі доцільно передбачити, що під час надання послуги мультимодального перевезення вантажів відповідальність оператора мультимодального перевезення за вантаж перед замовником послуги охоплює період з моменту прийняття ним вантажу до мультимодального перевезення та до моменту видачі вантажу.

Таким чином, для отримання відшкодування шкоди за втрачений (пошкоджений) вантаж замовнику послуги не потрібно встановлювати, на якому етапі перевезення сталося пошкодження чи втрата вантажу або хто із співперевізників не виконав зобов'язання щодо вчасної доставки вантажу.[13]

Політика світової спільноти у сфері мультимодальних перевезень спрямована перш за все на захист навколишнього середовища шляхом переорієнтації значної частини перевезень, які здійснюються автомобільним транспортом (довгі відрізки маршруту перевезення), до використання більш екологічно чистих видів транспорту. Разом із захистом навколишнього середовища суттєво важливими є питання зміни клімату та споживання енергії. Отже, для формування мультимодальної транспортної системи України потрібен екологічно чистий рухомий склад різних видів транспорту.

Для забезпечення і організації безперервного перевізного процесу в мультимодальному сполученні важливу роль координатора і організатора займає оператор мультимодальних перевезень. В Україні та за кордоном потрібно створити мережу вітчизняних операторів мультимодальних перевезень, які будуть сприяти формуванню і розвитку мультимодальної транспортної системи України.

Для ефективної роботи всіх учасників мультимодальних перевезень дуже важливим фактором є інформаційне забезпечення всіх ланок перевізного процесу та використання новітнього електронного документообігу, яке потрібно удосконалювати.

В теперішній час тимчасове відокремлення частини Донецької й Луганської областей та анексія Криму значно звузили транзитні можливості України, а також перешкоджає формуванню і розвитку мультимодальної транспортної системи України.

Мультимодальні перевезення є складнішими і дорожчими від унімодальних, тому держава повинна сприяти їх розвитку, особливо при формуванні тарифно-цінової політики на мультимодальні перевезення.

Для врахування вищенаведених факторів щодо формування і розвитку мультимодальної транспортної системи України, необхідно виконати перелік таких завдань:

- налагодження мирної політичної обстановки в Україні;
- прийняття Закону України «Про мультимодальні перевезення», Правил мультимодальних перевезень;
- державну підтримку формування і розвитку мультимодальної транспортної системи України;
- забезпечення розвитку мультимодальних транспортних технологій та інфраструктурних комплексів для забезпечення взаємодії різних видів транспорту;
- створення мережі маршрутів регулярних контейнерних / мультимодальних вантажних поїздів, синхронізованих з маршрутами поїздів держав-членів ЄС;
- створення мережі мультимодальних транспортно-логістичних кластерів та базових логістичних центрів, “сухих портів”, терміналів, спеціалізованих перевантажувальних комплексів тощо;
- збільшення частки контейнерних перевезень та стимулювання розвитку контейнерних перевезень;
- часткову переорієнтацію вантажних перевезень на залізничний та внутрішній водний транспорт;
- гармонізацію розвитку припортової інфраструктури (залізничних підходів, автомобільних доріг) та пропускної спроможності портів;
- зменшення часу обробки вантажів та формальностей шляхом спрощення адміністративних процедур під час міжнародних перевезень;

– забезпечення єдиної технологічної сумісності на основних напрямках перевезень та стиках між видами транспорту.

Очікуваними результатами буде розбудова ефективної конкурентоспроможної національної мультимодальної транспортної системи України, а саме:

– забезпечення інтероперабельної (експлуатаційної) сумісності національної транспортної мультимодальної мережі з мультимодальною світовою транспортною мережею, у тому числі залізничною мережею колії завширшки 1435 міліметрів;

– створення пасажирських та вантажно-логістичних інфраструктурних комплексів як складової частини мультимодальних кластерів із залізничним, автомобільним, авіаційним та водним транспортом, зокрема шляхом розбудови системи мультимодальних транспортно-логістичних кластерів та логістичних центрів на кордонах, в портах та аеропортах в середні країни, що забезпечить в 2025 році місце України в топ-50, а у 2030-му в топ-20 світового рейтингу за індексом логістичної ефективності (LPI Світового банку);

– гарантування доставки “від дверей до дверей” та виконання “шести правил логістики” в ланцюгах поставок (вантаж, якість, кількість, час, місце, витрати – тобто необхідний товар, необхідної якості, в необхідній кількості доставлений у відповідний час у визначене місце з мінімальними витратами). [11]

Висновки.

Запропоновані заходи дозволять сформувати і розвивати мультимодальну транспортну систему України, що сприятиме підвищенню конкурентоспроможності України на світовому ринку.

Перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

Дослідження складових мультимодальної транспортної системи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Милославская С.В. Мультимодальные и интермодальные перевозки: Учеб. пособие / С.В. Милославская, К.И. Плужников. – М.: РосКонсульт, 2001. – 368 с.
2. Троицкая Н.А. Мультимодальные системы транспортировки и интермодальные технологии: учеб. пособие для студ. выс. учеб. заведений / Н.А. Троицкая, А.Б. Чубуков, М.В. Шилимов. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 336 с.
3. Логистика: управление в грузовых транспортно-логистических системах: учебное пособие / под ред. проф. Л.Б. Миротина. – М.: Юрист, 2002. – 414 с.
4. Лимонов Э.Л. Внешнеторговые операции морского транспорта и мультимодальные перевозки / Э.Л. Лимонов. – СПб.: Выбор, 2000. – 416 с.
5. Соколова О.Є. Концептуальні засади формування мультимодальної системи перевезення вантажів. / Наукоємні технології /. 2014, № 1 (21) – С.114-119.
6. Платонов О.І. Економічна безпека транспортних підприємств у мультимодальних перевезеннях вантажів. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук зі спеціальності 08.00.04 – економіка та управління підприємствами (за видами економічної діяльності). – 2016. – 221 с.
7. Петренко О.І., Дереповська Т.В. Проблеми розвитку мультимодальних перевезень в Україні та шляхи їх розв’язання / Ефективна економіка / 2017, № 5. – 7 с.
8. Глоссарий по статистике транспорта ЕЭК ООН. Третье издание, 2003. – 114-115 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp6/pdfdocs/glossru3.pdf.
9. Конвенция Организации Объединенных Наций о международных смешанных перевозках грузов, Женева, 24 мая 1980 г. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ci.uz.gov.ua/org/un/conv80comb.html>.
10. Довгань В. Як розвивати мультимодальні перевезення? 2018. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://cfts.org.ua/blogs/yak_rozvivati_multimodalni_perevezennya__393.
11. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mtu.gov.ua/projects/115>.
12. Єврокомісія затвердила карти Європейської транспортної мережі TEN-T в Україні. 14.11.2018. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zbruc.eu/node/84609>.
13. Проект Закону України «Про мультимодальні перевезення», 2018 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/projects/176>.

14. Ширяєва С.В. Логістика мультимодальних перевезень вантажів. / С.В. Ширяєва // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ – 2012. – Вип.26 – С.358-362.
15. Ширяєва С.В., Кравчук О.В. // Принципи моделювання національної мультимодальної транспортної мережі. / С.В. Ширяєва, О.В. Кравчук, // Проблеми транспорту. – К.: НТУ – 2013. – Вип.10 – С.266-272.
16. Ширяєва С.В. Даньківська К.І. Основні складові мультимодальної транспортної мережі / С.В. Ширяєва, К.І. Даньківська // Вісник Національного транспортного університету – К.: НТУ – 2015. – Вип.1 (31) – С.568-573.
17. Рейтинг інфраструктури України в мире в 2017 г. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://cfts.org.ua/infographics/rejting_infrastruktury_ukrainy_v_mire.

REFERENCES

1. Miloslavskaya, C.B., Pluzhnikov, K.I. (2001). Multimodalnye i intermodalnye perevozki [Multimodal and intermodal transportation]. Moscow: RosConsult [in Russian].
2. Troitskaya, O.N., Chubukov, A.B., Shilimov, M.V. (2009). Multimodalnye sistemy transportirovki i intermodalnye tehnologii [Multimodal transportation systems and intermodal technologies]. Moscow: Publishing Center "Academy" [in Russian].
3. Lemons, A.L. (2000). Vneshnetorgovye operacii morskogo transporta i multimodalnye perevozki [Foreign trade operations of sea transport and multimodal transportation]. SPb.: Choice [in Russian].
4. Mirotin, L.B. (2002). Logistika: upravlenie v gruzovyh transportno-logisticheskikh sistemah [Logistics: management in freight transport and logistics systems]. M.: Yurist [in Russian].
5. Sokolova, O.E. (2014). Konceptualni zasady formuvannya multimodalnoyi sistemi perevezennya vantazhiv [Conceptual ambush of forming a multimodal system of transporting vantazh]. Science & Technology [in Ukrainian].
6. Platonov, O.I. (2016). Ekonomichna bezpeka transportnih pidpriemstv u multimodalnih perevezennyah vantazhiv. [Economical bezpeka transport pidpriemstv at multimodal transportations vantazh v. Discrimination at the scientific level of the candidate of economic sciences and specialties 08.00.04 – economics and management of the company (for the types of economic activities)] [in Ukrainian].
7. Petrenko, O.I., Derepovska, T.V. (2017). Problemi rozvitku multimodalnih perevezhen v Ukrayini ta shlyahi yih rozv'yazannya [Problems with the development of multimodal transport to Ukraine that have their own promise] Efficient economics [in Ukrainian].
8. Glossary for Transport Statistics UNECE. (2003). Third Edition. [Electronic resource]. – Mode access: www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp6/pdfdocs/glossru3.pdf [in Russian].
9. United Nations Convention on International Multimodal Transport of Goods. (1980). [Electronic resource]. – Mode of access: <http://ci.uz.gov.ua/org/un/conv80comb.html> [in Russian].
10. Dovgan, V. (2018). Yak rozvivati multimodal transported? [How to develop multimodal transportation?]. [Electronic resource]. – Access mode: https://cfts.org.ua/blogs/yak_rozvivati_multimodalni_perevezennya_393 [in Ukrainian].
11. National transport strategy of Ukraine for the period up to 2030. (2018). [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.mtu.gov.ua/projects/115> [in Ukrainian].
12. The European Commission approved the maps of the European Transport Network TEN-T in Ukraine. (2018). [Electronic resource]. – Access mode: <https://zbruc.eu/node/84609> [in Russian].
13. Draft Law of Ukraine "On Multimodal Transport". (2018). [Electronic resource]. – Access mode: <https://mtu.gov.ua/projects/176> [in Ukrainian].
14. Shyriaieva, S.V. (2012). Logistika multimodalnih perevezhen vantazhiv [Logistics of multimodal cargo transportation]. Kyiv: Visnyk National Transport University [in Ukrainian].
15. Shyriaieva, S.V., Kravchuk, O.V. (2013). Principi modelyuvannya nacionalnoyi multimodalnoyi transportnoyi merezhi [Principles of modeling of the national multimodal transport network]. Kyiv: Problems of transport [in Ukrainian].
16. Shyriaieva, S.V., Dankivska, K.I. (2015). Osnovni skladovi multimodalnoyi transportnoyi merezhi [The main components of the multimodal transport network]. Kyiv: Visnyk National Transport University [in Ukrainian].
17. The rating of Ukraine's infrastructure in the world in 2017 [Electronic resource]. – Access mode: https://cft.org.ua/infographics/rejting_infrastruktury_ukrainy_v_mire [in Russian].

РЕФЕРАТ

Ширяєва С.В. Фактори, що впливають на формування і розвиток мультимодальної транспортної системи України в сучасних умовах / С.В. Ширяєва // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

У статті розглянуто основні фактори, що впливають на формування і розвиток мультимодальної транспортної системи України в сучасних умовах.

Об'єкт дослідження – процес формування вітчизняної мультимодальної транспортної системи.

Мета роботи – визначення необхідних заходів щодо формування і розвитку мультимодальної транспортної системи України.

На сьогоднішній день розвиток мультимодальних перевезень є найбільш перспективним напрямом для розбудови світової транспортної системи, оскільки дає можливість збільшити обсяги перевезень в будь-яке місце країни чи світу та залучати різні види транспорту, щоб зберегти довкілля.

В Україні мультимодальні перевезення знаходяться на початковому етапі розвитку. Серед основних факторів, що стримують формування і розвиток мультимодальної транспортної системи України, є недосконалість нормативно-правового регулювання питань мультимодальних перевезень; відсутність власного екологічно чистого рухомого складу різних видів транспорту особливо на автомобільному транспорті, який здійснює перевезення на далекі відстані; диспропорція між рівнями потужностей об'єктів мультимодальної транспортної інфраструктури та обсягами вантажопотоків; високі ризики операторів мультимодальних перевезень на значні відстані за участю двох і більше видів транспорту; політична обстановка в Україні; інформаційне забезпечення всіх ланок мультимодального логістичного ланцюга тощо. Для розв'язання цих проблем запропоновані заходи, що дозволять сформувати і розвивати мультимодальну транспортну систему України.

Результати роботи можуть бути застосовані для формування національної мультимодальної транспортної системи.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – дослідження складових мультимодальної транспортної системи.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МУЛЬТИМОДАЛЬНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, МУЛЬТИМОДАЛЬНА ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА.

ABSTRACT

Shyriaieva S.V. Factors influencing the formation and development of the multimodal transport system of Ukraine in modern conditions. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The article deals with the main factors influencing the formation and development of the multimodal transport system of Ukraine in modern conditions.

The object of the research is the process of formation of the domestic multimodal transport system.

The purpose of the work is to determine the necessary measures for the formation of the multimodal transport system of Ukraine.

In Ukraine, multimodal transportation is at the initial stage of development. Among the main factors hindering the formation and development of multimodal transport systems in Ukraine, is the imperfection of regulatory legal regulation of multimodal transport issues; absence of own environmentally friendly rolling stock of different types of transport, especially on road transport, which carries out transportation on long distances; imbalance between levels of capacity of objects of multimodal transport infrastructure and volumes of cargo flows; high risks of multimodal carriers at significant distances with two or more modes of transport; political situation in Ukraine; information provision of all parts of the multimodal logistics chain, etc. To solve these problems, measures have been proposed that will allow the formation and development of the multimodal transport system of Ukraine.

The results of the work can be applied for the formation of a national multimodal transport system.

Foreseeable assumptions about the development of the research object – the study of the components of the multimodal transport system.

KEYWORDS: MULTIMODAL TRANSPORTATION, MULTIMODALINE TRANSPORTATION SYSTEM.

РЕФЕРАТ

Ширяева С.В. Факторы, влияющие на формирование и развитие мультимодальной транспортной системы Украины в современных условиях / С.В. Ширяева // Вестник Национального

транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

В статье рассмотрены основные факторы, влияющие на формирование и развитие мультимодальной транспортной системы Украины в современных условиях.

Объект исследования – процесс формирования отечественной мультимодальной транспортной системы.

Цель работы – определение необходимых мероприятий по формированию мультимодальной транспортной системы Украины

На сегодняшний день развитие мультимодальных перевозок является наиболее перспективным направлением для развития мировой транспортной системы, поскольку дает возможность увеличить объемы перевозок в строй точку страны или мира и привлекать различные виды транспорта, чтобы сохранить окружающую среду.

В Украине мультимодальные перевозки находятся на начальном этапе развития. Среди факторов, сдерживающих формирование и развитие мультимодальной транспортной системы Украины, является несовершенство нормативно-правового регулирования вопросов мультимодальных перевозок; отсутствие собственного экологически чистого подвижного состава различных видов транспорта особенно на автомобильном транспорте, который осуществляет перевозки на дальние расстояния; диспропорция между уровнями мощностей объектов мультимодальной транспортной инфраструктуры и объемами грузопотоков; высокие риски операторов мультимодальных перевозок на значительные расстояния с участием двух и более видов транспорта; политическая обстановка в Украине; информационное обеспечение всех звеньев мультимодальной логистической цепи и тому подобное. Для решения этих проблем предложены меры, которые позволят сформировать и развивать мультимодальную транспортную систему Украины.

Результаты работы могут быть использованы для формирования национальной мультимодальной транспортной системы.

Прогнозные предположения по развитию объекта исследования – исследование составляющих мультимодальной транспортной системы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЕ ПЕРЕВОЗКИ, МУЛЬТИМОДАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ.

АВТОР:

Ширяева Світлана Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортних технологій, e-mail: svitlana007@gmail.com, тел.: +380508855299, Україна, 01010, Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 432, orcid.org/0000-0001-9696-635X.

AUTHOR:

Shyriaieva Svitlana V., Ph.D., associate professor, National Transport University, professor department of transport technologies, e-mail: svitlana007@gmail.com, tel.: +380508855299, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovich-Pavlenko, str. 1, of. 432, orcid.org/0000-0001-9696-635X.

АВТОР:

Ширяева Светлана Владимировна, кандидат технических наук, доцент, Национальный транспортный университет, профессор кафедры транспортных технологий, e-mail: svitlana007@gmail.com, тел.: +380508855299, Украина, 01010, Киев, ул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 432, orcid.org/0000-0001-9696-635X.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мельниченко О.І., кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, Київ, Україна.

Савченко Л.В., кандидат технічних наук, доцент, Національний авіаційний університет, доцент кафедри логістики, Київ, Україна.

REVIEWER:

Melnichenko O.I., Ph.D., Professor, National Transport University, Head of Department of Production, Repair and Materials Science, Kyiv, Ukraine.

Savchenko L.V., Ph.D., Associate Professor, National Aviation University, Associate Professor Department of Logistics, Kyiv, Ukraine.

СИНГУЛЯРНО ЗБУРЕНІ ЗАДАЧІ ТЕРМОМЕХАНІКИ ШАРУВАТИХ ДОРОЖНІХ ПОКРИТТІВ

Шлюнь Н.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, nataliyashlyun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1040-8870

Білобрицька О.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, olenkab@ukr.net, orcid.org/0000-0002-6751-6592

SINGULARLY PERTURBED PROBLEMS OF THERMO-MECHANICS OF LAYERED ROAD COATINGS

Shlyun N.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, nataliyashlyun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1040-8870

Bilobrytska O.I., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, olenkab@ukr.net, orcid.org/0000-0002-6751-6592

СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННЫЕ ЗАДАЧИ ТЕРМОМЕХАНИКИ СЛОИСТЫХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

Шлюнь Н.В., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, nataliyashlyun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1040-8870.

Білобрицька Е.І., кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, olenkab@ukr.net orcid.org/0000-0002-6751-6592

Вступ

Однією з найактуальніших проблем сьогодення України є будівництво нових і відновлення старих автомобільних доріг. Багатошарові дорожні конструкції можна віднести до одного з найбільш складних видів будівельних конструкцій задач науки про міцність та довговічність будівельних об'єктів. В першу чергу це пояснюється багатопараметричністю факторів, які визначають їх конструкції, властивості матеріалів, види навантажень та впливів на них, а також умов їх експлуатації. Тому проектувальникам дорожніх конструкцій та спеціалістам, що займаються теоретичним моделюванням механічної поведінки шаруватих масивів в процесі експлуатації, доводиться враховувати багато додаткових факторів, які ускладнюють їх роботу.

Постановка проблеми.

Перед тим, як звернутися до розв'язання задач термопружності розглянемо одну їх властивість, типovu для рівнянь теплопровідності і механіки.

Багато математичних моделей, які адекватно описують фізичні процеси в термінах диференціальних рівнянь, містять (в явному або в неявному вигляді) і різні параметри, причому в типовій ситуації їх значення відомі лише наближено, з тією чи іншою точністю. Тому питання про характер поведінки розв'язків диференціального рівняння при незначній зміні величини параметра, що входить в рівняння, становить принципову цікавість. Починаючи з класичних робіт А. Пуанкаре і О.М. Ляпунова, досить детально вивчався так званий регулярний випадок – коли права частина рівняння, наприклад, II-го порядку

$$x'' = F(t, x, x', \varepsilon) \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (1)$$

регулярно (неперервно, гладко, аналітично) залежить від параметра ε в околі значення $\varepsilon = 0$, а розв'язки рівняння розглядаються на скінченному відрізку $0 \leq t \leq 1$ зміни незалежної змінної t . В цьому випадку для розв'язку такого рівняння при довільному малому ε існує близьке йому рівняння, що відповідає значенню параметра $\varepsilon = 0$.

Значно різноманітнішим і складнішим є сингулярний випадок, коли розв'язки залежать від малого параметру ε при другій похідній (тут насамперед слід згадати теорію усереднення Крилова-Боголюбова-Митропольського), і коли не виконується припущення про регулярність належності параметра рівнянню. Очевидно, що остання із перелічених ситуацій виникає, наприклад, для рівняння

$$\varepsilon x'' = f(t, x, x') \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (2)$$

де ε – параметр, який набуває як завгодно малих додатних значень (часто пишуть: $0 < \varepsilon \ll 1$). Відмітимо, щоб застерегти від помилки, що спроба заміни незалежної змінної $t = \sqrt{\varepsilon} \tau$ і $\frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{d^2 x}{\varepsilon d\tau^2}$ хоча і приводить рівняння (2) до «регулярного виду»

$$\varepsilon \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{\varepsilon d^2 x}{\varepsilon d\tau^2} = \frac{d^2 x}{d\tau^2} = f(\tau, x, x', \varepsilon), \quad (3)$$

проте при цьому кінцевому відрізку зміни нової змінної τ відповідає лише дуже малий (разом з ε) відрізок $0 \leq t \leq \varepsilon \cdot 1$ зміни старої змінної t .

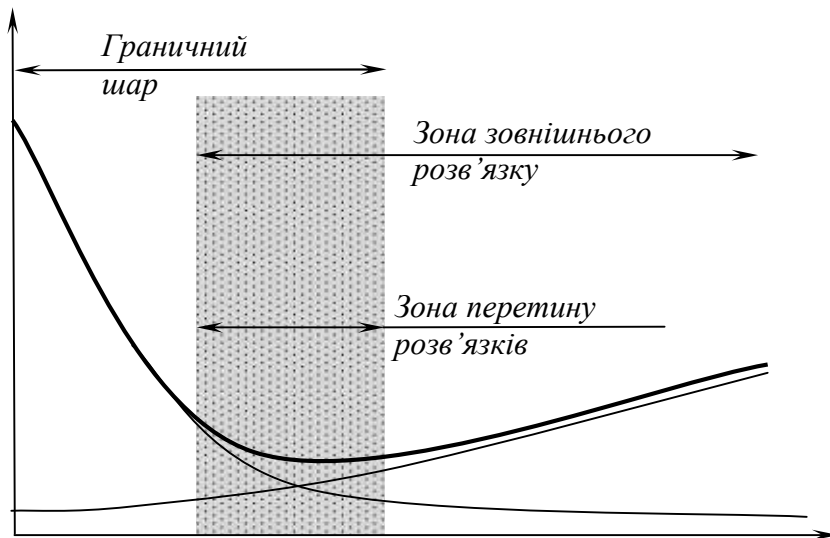
Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Математична теорія диференціальних рівнянь з малим параметром при старших похідних не надто давня. Мабуть, вперше на прикладну актуальність вивчення сингулярно збурених задач (і на «неминучість» їх появи серед математичних моделей природознавства) звернув увагу Л. Прандтль у зв'язку з розвинуеною ним в 1904 р. теорією пограничного шару в гідродинаміці. Сингулярно збурені задачі неодноразово виникали (не завжди, втім, усвідомлено) і пізніше в механіці, фізиці, техніці (нагадаємо для прикладу почате в 20-х роках Б. Ван-дер-Полем вивчення релаксаційних коливань в радіотехнічних приладах). Проте єдиних математичних підходів до подібних задач довго не існувало, кожна з них розглядалася ізольовано і розв'язувалась – з тією або іншою мірою строгості і повноти – індивідуальними прийомами.

«Малий множник при старшій похідній породив велику теорію» – ця фраза з математичного фольклору досить колоритно характеризує велику гілку теорії диференціальних рівнянь. Парадоксально, але ця гілка, отримавши сьогодні широку популярність у теоретиків і маючи важливе значення для прикладників, так і не отримала єдиного, загальноновживаного найменування. Одні автори називають об'єкт дослідження «рівнянням з малим параметром при старших похідних», інші говорять про «сингулярне збурення», треті використовують різноманітну термінологію, породжену численними застосуваннями: завдання «з пограничним шаром», «з крайовим ефектом», «зі стрибком ущільнення». Досить поширеним в літературі з прикладної математики є термін «жорсткі диференціальні рівняння», що стосуються даного випадку. Мабуть, перше з усіх наведених назв – найбільш точне, хоча воно дещо довге і тому не дуже зручне. Що стосується терміну «сингулярне збурення», то, незважаючи на його, взагалі кажучи, ширший, але розпливчатий сенс, він набагато точніше характеризує даний фізичний процес, пов'язаний з утворенням сингулярностей в прикорйомих зонах шуканої функції. Тому надалі будемо використовувати цей термін.

Рівняння з сингулярним збуренням (з малим параметром при старшій похідній) привернули увагу цілого ряду вчених – С.Е. Хайкіна, Л.І. Гутенмахера, І.С. Градштейна, К. Фрідрікса, В. Вазова, Н. Левінсона, А.М. Тихонова, Л.А. Люстерніка, А.Б. Васильєвої, М.Й. Вішіка, О'Donnell та ін. Важливо зауважити, що ця увага, як правило, породжувалася не просто допитливістю, а стимулювалася конкретними прикладними проблемами (наприклад, актуальними в той час проблемами конструювання аналогових обчислювальних пристроїв). Однак їх роботи не в повній мірі розкрили внутрішню специфіку досліджуваного об'єкту, не містили вдалої і досить загальної методики його дослідження. У самостійну математичну теорію вивчення диференціальних рівнянь з малим параметром при старшій похідній сформулювалося тільки після основоположних публікацій А.М. Тихонова 1948-1952 рр.

Відмічені особливості сингулярно збурених задач призводять до того, що шукана функція набуває вигляду крайового ефекту. У зв'язку з цим її важко апроксимувати простими аналітичними або чисельними методами. Тому при розв'язанні конкретних задач використовується метод виділення крайового ефекту. При його застосуванні повний (глобальний) розв'язок задачі комбінується з двох частин. Одна частина містить правильні розв'язки тільки в зоні граничного шару (рис. 1) та при віддаленні від нього, цей розв'язок не задовольняє вихідним рівнянням. Друга частина розв'язку виявляється дійсною лише при віддаленні від границі повної області, що розглядається та перестає задовольняти розв'язувальним рівнянням при наближенні до краю. Після побудови двох цих розв'язків їх не коректні зони видаляються й вони сполучаються так, щоб в зоні сполучення вони співпадали. В останні роки у зв'язку з розвитком методів обчислювальної математики стало можливим будувати глобальні розв'язки сингулярно збуреної задачі за один прийом, уникаючи розділення шуканої функції на граничний шар та зовнішній розв'язок.



Рисинук 1 – Схема сполучення шуканої функції сингулярно збуреної задачі на ділянці граничного шару та зовнішнього розв'язку.

Figure 1 – Schematic of the conjugation of a required function for the singularly perturbed problem in the domain of the boundary layer and the external solution.

Сингулярно збурені рівняння в термомеханіці шаруватих дорожніх покриттів

Сингулярний характер диференціальних рівнянь не обов'язково повинен бути пов'язаний з наявністю малого параметра ε при старшій похідній. Досить поширеними бувають випадки, коли сингулярність збурення диференціальних рівнянь є прихованою (неявною) і обумовлена великою довжиною L відрізка інтегрування рівнянь. Дійсно, для таких задач від рівняння

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = f(t, x, x'), \quad 0 \leq t \leq L, \quad L \gg 1 \quad (4)$$

за допомогою заміни

$$t = L\tau, \quad \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{1}{L^2} \frac{d^2 x}{d\tau^2} \quad (5)$$

можна перейти до рівняння

$$\frac{1}{L^2} \frac{d^2 x}{d\tau^2} = f(\tau, x, x'), \quad 0 \leq \tau \leq 1. \quad (6)$$

Оскільки $L \gg 1$, то $\frac{1}{L^2} = \varepsilon$ і рівняння (6) стає еквівалентним сингулярно збуреному рівнянню (2).

До таких типів рівнянь належить розглянута в даній роботі система диференціальних рівнянь пружного згину шаруватих дорожніх покриттів і теплопровідності. При цьому складність розв'язування цих рівнянь істотно перевершує складність сингулярно збурених рівнянь, відомих в науковій літературі. По-перше, це зумовлено тим, що в задачах дорожнього будівництва механіка пружного згину покриття (умовно, балки на пружній основі) описується рівняннями не другого, а четвертого порядку, і відрізок інтегрування L досягає великих значень. Тому параметр ε при старшій (четвертій) похідній при масштабуванні відрізка інтегрування L до одиниці набуває значення $\varepsilon = 1/L^4$.

До теперішнього часу «малому множнику при старшій похідній» присвячена величезна кількість робіт багатьох авторів, які вивчали початкові і крайові задачі, властивості, поведінку, думки і оцінки різних типів розв'язків, різноманітні додатки, а також різні модифікації проблеми, її узагальнення та споріднені питання.

Несподівано ці задачі виникли і в проблемах дорожнього будівництва у зв'язку з необхідністю моделювання генерування в дорожніх покриттях функцій напружено-деформованого стану, сконцентрованих у вигляді сингулярностей в крайових зонах і в малих околах ділянок прикладання транспортних навантажень та високоградієнтних полів температури.

Дійсно, явища, що протікають в дорожньому покритті, лежачому на ґрунтовому масиві та підданий дії локалізовано-вертикальному навантаженню від автомобільного колеса, можемо описувати моделлю пружної плити, що лежить на пружній основі. В свою чергу, для наочності, розглянемо випадок, коли навантаження локалізоване вздовж відрізка прямої. Тоді ця задача зводиться до плоского випадку рівноваги плоскої системи в площині, перпендикулярній відрізка розподілу навантаження і плита може бути замінена балкою на пружній основі. Її деформування описується рівнянням

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + ky = q(x) \quad (0 \leq x \leq L), \quad (7)$$

де коефіцієнт постелі k визначається пружними властивостями ґрунтового масиву, $q(x)$ – інтенсивність розподіленого навантаження.

Нехай, наприклад, ширина дороги $l = 10$ м, але нам зручніше розглянути деформування покриття в діапазоні від нуля до одиниці. Зробимо це, здійснивши перехід до нового масштабу незалежної змінної $X = x/10$. Тоді

$$x = 10X, \quad \frac{d^4 y}{dx^4} = \frac{d^4 y}{10^4 dX^4}$$

і рівняння (1.8) набуде вигляду

$$\frac{EI}{10^4} \frac{d^4 y}{dX^4} + ky = q(x), \quad (0 \leq x \leq 1). \quad (8)$$

Тут коефіцієнт перед старшою похідною став на чотири порядки меншим і вплив другого доданку став більш помітним. Однак першим доданком неможливо знехтувати, так як в цьому випадку рівняння (8) змінить свою структуру

$$ky = q(x) \quad (0 \leq x \leq 1) \quad (9)$$

і вже не буде диференціальним. Тому рівняння (8) є сингулярно збуреним, і оскільки рівняння (7) і (8) еквівалентні, то сингулярно збуреним є і рівняння (7) з розв'язками у вигляді сингулярностей та крайових ефектів. Причому ефект сингулярного збурення зростає зі збільшенням значення k . Звідси випливає, що сингулярно збуреною є і задача теорії пружності про деформування багатошарового покриття дороги і вона має розв'язок також у вигляді сингулярностей.

Складність задачі про теплове деформування дорожнього покриття ще більше посилюється в зв'язку з тим, що сингулярно збуреною також є задача про розподіл в його масиві полів температури. Для підтвердження цього судження розглянемо явище поширення тепла вглиб дорожнього масиву (вздовж координати x_3). Нехтуючи тепловими потоками в горизонтальному напрямі, запишемо рівняння нестационарної теплопровідності у вигляді

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x_2^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (10)$$

де a – коефіцієнт теплопровідності.

Будемо вважати, що в результаті теплового збурення дорожнього масиву добовими змінам температури $T(x_2, t)$ на вільній поверхні $x_2 = 0$ покриття при денному нагріванні та нічному охолодженні температури на поверхні $x_2 = 0$ можна вважати відомою, тобто $T(0, t)$ ($0 \leq t \leq 12$ год). Врахуємо, що коефіцієнти теплопровідності матеріалів шарів покриття маленькі, обрана для аналізу товщина багатошарового покриття (розрахункова глибина масиву) не мала і розрахункова протяжність зміни зовнішньої температури (12 годин) порівняно мала. Тоді роль доданку в лівій частині рівняння (10) (друга похідна по x_2) набагато менша ролі доданку в його правій частині (перша похідна по t) і рівняння (10) також є сингулярно збуреним. Зазначимо, що ця особливість

рівнянь теплопровідності (рівнянь математичної фізики параболічного типу) широко відома в прикладній математиці і вона у повному обсязі відображена в науковій літературі [7, 8, 9]. В нашому випадку ця особливість проявляється в тому, що розв'язок задачі теплопровідності також має вигляд крайового ефекту, локалізованого в елементах покриття, прилеглих до його вільної поверхні. Також високоградієнтний розподіл температури $T(x_2, t)$ вглиб призводить до великих значень нормальних і дотичних напружень, що провокують розтріскуванням і розшаруванням верхніх шарів покриття. Вони підтверджені результатами комп'ютерного моделювання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гайдайчук В.В. Моделювання напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу під дією транспортних навантажень / В.В. Гайдайчук, В.В. Мозговий, Ю.О. Заєць, Л.В. Шевчук // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2017. – Вип. 99 – С.45 – 57.
2. Гуляєв В.І. Дослідження напружено-деформованого стану дорожнього одягу з укріпленою основою під поперечними тріщинами і швами. / В.І. Гуляєв, В.В. Мозговий, О.О. Густелєв, Н.В. Шлюнь, О.М. Купман, С.А. Баран // Вісник Національного транспортного університету. — 2019. — Вип. 43. – С. 26 – 38.
3. Гуляєв В.І. Термопружний стан багат шарових дорожніх покриттів. / [В.І. Гуляєв, В.В. Гайдайчук, В.В. Мозговий та ін.] – НТУ, Київ, 2018. 252с.
4. Коваленко А.Д. Основы термоупругости. / А.Д. Коваленко. – Киев: Наукова Думка, 1970. – 239 с.
5. Новацкий В. Теория упругости. / В. Новацкий. – М.: Мир, 1975 – 872 с.
6. Русак В. Н. Математическая физика. – URSS, 2006. – 248 с.
7. Чанг Н., Хауэс Ф. Нелинейные сингулярно возмущенные краевые задачи. – М.: Мир, 1988. – 247 с.
8. Шишкин Г.И. Аппроксимация решений сингулярно возмущенных краевых задач с параболическим пограничным слоем // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1989. – Т.29, № 7. – С. 963 – 977.
9. Shishkin G.I. Method of splitting for singularly perturbed parabolic equations // East-West J.Numer. Math. – 1993. – V.1, № 2. – P. 147 – 163.

REFERENCES

1. Gaydaychuk, V.V., Mozgoviy, V.V., Zaets, Yu. A., Shevchuk, L.V. (2017) Modeliuvannia napruzhenodeformovanoho stanu konstruktсии dorozhnoho odiahu pid diieiu transportnykh navantazhen [Simulation of stress-strain states of road structures under action of transport loads]. Opir materialiv i teoriia sporud – [Strength of Materials and Theory of structures], 99, 45-57 [in Ukrainian].
2. Gulyayev, V. I., Mozgoviy, V.V., Gustelev, O.O., Shlyun, N.V., Kutsman, O.M., Baran, S.A. (2019) Doslidzhennia napruzhenodeformovanoho stanu dorozhn'oho odiahu z ukriplenoiu osnovoio pid poperechnymy trischynamy i shvamy [Investigation of the stress-strain state of road clothing with reinforced base under transverse cracks and joints]. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu – [Herald of National Transport University], 43, 26-38.
3. Gulyayev, V. I., Gaydaychuk, V.V., Mozgoviy, V.V. (2018) Termopruznyi stan bahatosharovykh dorozhnykh pokryttiv [Thermoelastic state of multilayer pavements]. Kyiv. [in Ukrainian].
4. Kovalenko, A.D. (1970) Osnovy termopruzhnosti [Thermoelasticity fundamentals]. Kyiv: Naukova Dumka [in Russian].
5. Novatskiy, V. (1975) Teoriya uprugosti [Theory of elasticity]. Moskva: Mir [in Russian].
6. Rusak V. N. (2006) Matematycheskaia fizyka. URSS, 248 p.
7. Chanh, N., Haues, F. (1988) Nelyneinye synhuliarno vozmushchennyye kraevyye zadachy [Nonlinear singularly perturbed boundary value problems]. Moskva: Mir [in Russian].
8. Shyshkyn H.Y. (1989) Approksymatsiya reshenyi synhuliarno vozmushchennykh kraevykh zadach s parabolicheskym pohranychnym sloem // Zhurnal vychyslytelnoi matematyky y matematycheskoi fizyky. 29(7), 963 – 977.
9. Shishkin G.I. (1993) Method of splitting for singularly perturbed parabolic equations // East-West J.Numer. Math., 1(2), 147 – 163.

РЕФЕРАТ

Шлюнь Н.В. Сингулярно збурені задачі термомеханіки шаруватих дорожніх покриттів / Н.В. Шлюнь, О.І. Білобрицька // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).

Обговорюється задача про сингулярну збуреність рівнянь пружного згину шаруватих дорожніх покриттів і теплопровідності. Показано, що складність розв'язування цих рівнянь істотно перевершує складність сингулярно збурених рівнянь, відомих в науковій літературі. По-перше, це зумовлено тим, що в задачах дорожнього будівництва механіка пружного згину описується диференціальними рівняннями в частинних похідних, і область інтегрування досягає великих розмір.

Розглянуто задачу про теплове деформування дорожнього покриття та розподіл в його масиві полів температури, переміщень та напружень. Доведено, що розв'язок задачі теплопровідності має вигляд крайового ефекту, локалізованого в елементах покриття, прилеглих до його вільної поверхні. Відмічено також, що високоградієнтний розподіл температури глибоко в масиву призводить до великих значень нормальних і дотичних напружень, що провокують розтріскування і розшарування верхніх шарів покриття. Вони підтверджені результатами комп'ютерного моделювання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СИНГУЛЯРНО ЗБУРЕНА ЗАДАЧА, ШАРУВАТЕ ДОРОЖНЕ ПОКРИТТЯ, ПОЛЕ ТЕМПЕРАТУРИ, ТРАНСПОРТНЕ НАВАНТАЖЕННЯ, ПОЛЕ НАПРУЖЕНЬ, ТЕРМОНАПРУЖЕНИЙ СТАН.

ABSTRACT

Shlyun N.V., Bilobrytska O.I. Singularly perturbed problems of thermo-mechanics of layered road coatings. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2020. – Issue 1 (46).

The problem of singular perturbation of the equations of elastic bending of layered pavements and thermal conductivity is discussed. It is shown that the complexity of solving these equations significantly exceeds the complexity of singularly perturbed equations known in the scientific literature. First, this is due to the fact that in the problems of road construction, the mechanics of elastic bending are described by the partial differential equations, and the integration domain reaches large dimensions.

The problem of thermal deformation of the pavement and distribution in its array of temperature, displacement, and stress fields is also considered. It is proved that the solution of the problem of thermal conductivity has the appearance of a boundary effect, localized in the elements of the coating adjacent to its free surface. Also is noted that high-gradient temperature distribution deep in the soil leads to large values of normal and tangential stresses that provoke cracking and delamination of the upper layers of the coating. They are confirmed by the results of computer simulation.

KEYWORDS: SINGULARLY PERTURBED PROBLEM, LAYERED ROAD COVERING, TEMPERATURE FIELD, TRANSPORT LOAD, STRESS FIELD, THERMAL STRAIN STATE.

РЕФЕРАТ

Шлюнь Н.В. Сингулярно возмущенные задачи термомеханики слоистых дорожных покрытий / Н.В. Шлюнь, Е.И. Билобрицька // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2020. – Вып. 1 (46).

Обсуждается задача о сингулярной возмущенности уравнений упругого изгиба слоистых дорожных покрытий и теплопроводности. Показано, что сложность решения этих уравнений существенно превосходит сложность сингулярно возмущенных уравнений, известных в научной литературе. Во-первых, это обусловлено тем, что в задачах дорожного строительства механика упругого изгиба описывается дифференциальными уравнениями в частных производных, и область интегрирования достигает больших размеров.

Рассмотрена задача о тепловом деформировании дорожного покрытия и распределение в его массиве полей температуры, перемещений и напряжений. Доказано, что решение задачи теплопроводности имеет вид краевого эффекта, локализованного в элементах покрытия, прилегающих к его свободной поверхности. Отмечено также, что высокоградиентное распределение температуры вглубь массива приводит к большим значениям нормальных и касательных напряжений провоцирующих растрескивание и расслоение верхних слоев покрытия. Они подтверждены результатами компьютерного моделирования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: СИНГУЛЯРНО ВОЗМУЩЕННЫЕ ЗАДАЧИ, СЛОИСТЫЕ ДОРОЖНЫЕ ПОКРЫТИЯ, ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ, ТРАНСПОРТНЫЕ НАГРУЗКИ, ПОЛЕ НАПРЯЖЕНИЙ, ТЕРМОНАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ.

АВТОРИ:

Шлюнь Наталія Володимирівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент, e-mail: nataliyashlyun@gmail.com, тел. +38(044) 280-71-09, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, orcid.org/0000-0003-1040-8870.

Білобрицька О.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: olenkab@ukr.net, тел. +38(044) 280-71-09, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, orcid.org/0000-0002-6751-6592.

AUTHORS:

Shlyun N.V., Ph.D., National Transport University, tel. +38(044) 280-71-09, Ukraine, 01103, Kyiv, Boichuk str., 42, e-mail: nataliyashlyun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1040-8870

Bilobrytska O.I., Ph.D, National Transport University, tel. +38(044) 280-71-09, Ukraine, 01103, Kyiv, Boichuk str., 42. e-mail: olenkab@ukr.net, orcid.org/0000-0002-6751-6592.

АВТОРЫ:

Шлюнь Наталия Владимировна, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, доцент, e-mail: nataliyashlyun@gmail.com, тел. +38(044) 280-71-09, Украина, 01103, г. Киев, ул. М. Бойчука, 42, orcid.org/0000-0003-1040-8870.

Билобрыцька Елена Ивановна, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, доцент, e-mail: olenkab@ukr.net, тел. +38(044) 280-71-09, Киев, Украина, ул. М. Бойчука, 42, orcid.org/0000-0002-6751-6592.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гайдайчук В.В., доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури, завідувач кафедри теоретичної механіки, Київ, Україна.

Лоза І.А., доктор фізико-математичних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри теоретичної і прикладної механіки, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Gaidaichuk V.V., Dr. Sc. (Engineering), Professor, Kyiv National University of Structures and Architecture, Head of Department of Theoretical Mechanics, Kyiv, Ukraine.

Loza I.A., Dr. Sc. (Physics and Mathematics), Professor, National Transport University, Head of Department of Theoretical and Applied Mechanics, Kyiv, Ukraine.