УДК 629.015; 629.1.07 DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-003-010
UDC 629.015; 629.1.07

РОЗРАХУНОК БАЛАНСУ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ ПІД ЧАС РІВНОМІРНОГО РУХУ

Аль-Амморі А.Н., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, ammourilion@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0375-6108
Іщенко Р.М., кандидат фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, rm_ischenko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0158-4020
Верховецька І.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна, lonelyspace@bigmir.net, orcid.org/0000-0001-9063-9470

CALCULATION OF POWER BALANCE OF ELECTRIC CAR DURING UNIFORM MOVEMENT

Al-Ammouri A.N., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, ammourilion@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0375-6108
Ishchenko R.M., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, rm_ischenko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0158-4020
Verkhovetska I.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine, lonelyspace@bigmir.net, orcid.org/0000-0001-9063-9470

Постановка проблеми.

Відомо, що з кожним роком попит на електромобілі стрімко зростає. Останьому сприяє постійний розвиток нових технологій, що здешевлюють виробництво і експлуатацію вказаних транспортних засобів та роблять їх доступними для все більшого кола споживачів. Крім того, постійне зростання цін на органічне паливо (бензин, газ і дизпаливо) для автомобілів з двигуном внутрішнього згоряння та значне погіршення екологічної ситуації у світі, спричинене, зокрема, масовими викидами шкідливих речовин автомобілями, також призвело до збільшення попиту на електромобілі, що є безпечними для навколишнього природного середовища. Необхідно відзначити, що електромобілі відмінно задовольняють потребу в переміщенні у міських умовах, для яких характерно наявність значної кількості світлофорів, а також тягнучок і заторів. Відповідно, рух в міських умовах здійснюється з невеликою швидкістю та на відносно невеликі відстані.

Основними технічними характеристиками електромобілів, які забезпечують їх конкурентоспроможність з автомобілями, є запас ходу (мінімум 300-400 км) і час перезарядки на електрозаправках (менше однієї години). Необхідно відзначити, що під час досліджень, спрямованих на вдосконалення зазначених технічних характеристик електромобілів, важливо мати інформацію про силовий, енергетичний та потужністний баланс (який найбільше використовується на практиці) електромобіля під час його руху. Відповідно, питання розрахунку балансу потужності електромобіля на даний час є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Як у вітчизняній, так і в закордонній науково-технічній літературі існує ряд робіт, присвячених розгляду різних методів і засобів вдосконалення технічних характеристик електромобілів та автомобілів з комбінованою енергоустановкою (гібридних автомобілів). Метою більшості вказаних робіт є збільшення запасу ходу зазначених транспортних засобів шляхом зменшення витрат електричної енергії акамулятора. Зокрема, у роботі [1] авторами отримано рівняння питомих витрат енергоносія під час руху транспортного засобу з електричною тяговою установкою за елементарним спрощеним циклом та отримано методику оцінювання ефективності рекуперативного гальмування для елементарного спрощеного циклу руху. У роботі [2] запропоновано метод розрахунку балансу потужності під час руху гібридного автомобіля та визначено оптимальний алгоритм роботи комбінованої енергоустановки вказаного транспортного засобу для випадку міського циклу руху. Автором роботи [3] отримано просте співвідношення, що описує процес розгону автомобіля. До вказаного співвідношення входять лише чотири змінні величини – маса автомобіля, потужність двигуна, час і кінцева швидкість розгону. У роботі [4] представлено методику розрахунку необхідної потужності електродвигуна в залежності від величини часу розгону електромобіля до заданої швидкості руху. За словами авторів вказаної роботи, такий підхід дозволяє більш аргументовано

вибирати електродвигун та його основні технічні характеристики, зокрема, потужність та обертовий момент. У роботі [5] запропоновано метод підвищення запасу ходу електромобіля шляхом використання ефективного круїз-контролю, який, враховуючи дорожню обстановку, забезпечує рух транспортного засобу з оптимальною постійною швидкістю. При цьому зводяться до мінімуму втрати енергії на прискорення електромобіля. Для збільшення запасу ходу електромобіля у роботі [6] розроблено програму, яка допомагає водію вибрати оптимальний стиль водіння в залежності від погодних умов, якості дорожнього покриття, рівня заряду акумулятора та інших чинників.

Таким чином, з огляду науково-технічної літератури можна зробити висновок про те, що питання розрахунку балансу потужності електромобіля під час різних видів руху (рівномірного, рівноприскореного, зі змінним прискоренням) недостатньо досліджене, що актуалізує мету представленої роботи.

Формування цілей статті.

Враховуючи вищезазначене, мета статті полягає у дослідженні балансу потужності електромобіля під час рівномірного руху та встановленні залежності значень потужностей електродвигуна, що витрачаються на подолання сили опору коченню та сили опору повітря від швидкості руху електромобіля.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Рівняння силового балансу під час руху електромобіля можна записати за допомогою другого закону Ньютона, врахувавши усі сили, що діють на вказаний транспортний засіб:

$$m\vec{a} = \vec{F}_m + \vec{F}_к + \vec{F}_n + \vec{F}_{nід} + \vec{F}_i + m\vec{g} + \vec{N}, \quad (1)$$

де m – маса електромобіля;
a – прискорення електромобіля;
F_m – сила тяги на ведучих колесах електромобіля;
$F_к$ – сила опору коченню коліс електромобіля;
F_n – сила опору повітря;
$F_{nід}$ – сила опору підйому;
F_i – сила інерції, тобто сила опору розгону електромобіля;
mg – сила тяжіння;
N – сила реакції дороги на колеса електромобіля.

Сили тяжіння та реакції дороги спрямовані вертикально, тому їх проекції на горизонтальну вісь OX дорівнюють нулю. Крім того, під час рівномірного руху електромобіля по горизонтальній дорозі його швидкість не змінюється з часом, відповідно прискорення, сила опору підйому та сила інерції дорівнюють нулю. Отже, з урахуванням того, що сили опору коченню та опору повітря спрямовані проти руху електромобіля (тобто будуть зі знаком мінус), рівняння силового балансу електромобіля, що рухається з постійною швидкістю, записується у наступному вигляді:

$$F_m = F_к + F_n. \quad (2)$$

Сила опору коченню коліс електромобіля визначається співвідношенням [7, с. 6]:

$$F_к = m \cdot g \cdot f_k, \quad (3)$$

m – маса електромобіля;
g – прискорення вільного падіння;
f_k – коефіцієнт опору коченню.

Сила опору повітря під час руху електромобіля визначається співвідношенням [8, с. 176]:

$$F_n = \frac{\rho \cdot C_x \cdot S \cdot \upsilon^2}{2}, \quad (4)$$

де ρ – густина повітря;
C_x – коефіцієнт опору повітря, що визначається окремо для кожного типу кузова транспортного засобу;
S – лобова площа електромобіля, тобто площа проекції електромобіля на площину, перпендикулярну до його повздовжньої осі;
υ – швидкість руху електромобіля.

Отже, з врахуванням формул (3) і (4), рівняння силового балансу електромобіля під час рівномірного руху буде мати вигляд:

$$F_m = m \cdot g \cdot f_k + \frac{\rho \cdot C_x \cdot S \cdot \upsilon^2}{2}. \quad (5)$$

Необхідно відзначити, що на практиці більше використовується рівняння балансу потужності транспортного засобу. Рівняння балансу потужності показує, як розподіляється потужність, що підводиться до ведучих коліс електромобіля, під час подолання різних опорів руху. Як відомо із загального курсу фізики [9, с. 32], потужність дорівнює добутку сили, прикладеної до тіла, на його швидкість. Відповідно, складові рівняння балансу потужності електромобіля можна отримати шляхом почленного множення складових рівняння силового балансу на швидкість електромобіля:

$$P(\upsilon) \cdot \eta_{mp} = F_m \cdot \upsilon, \tag{6}$$

$$P_к = F_к \cdot \upsilon = m \cdot g \cdot f_k \cdot \upsilon, \tag{7}$$

$$P_п = F_п \cdot \upsilon = \frac{\rho \cdot C_x \cdot S \cdot \upsilon^3}{2}, \tag{8}$$

де $P(\upsilon)$ – потужність електродвигуна електромобіля, необхідна для руху зі швидкістю υ;
η_{mp} – коефіцієнт корисної дії (ККД) трансмісії електромобіля;
$P_к$ – потужність, що витрачається на подолання сили опору коченню;
$P_п$ – потужність, що витрачається на подолання сили опору повітря.

Тоді рівняння балансу потужності електромобіля під час рівномірного руху записується у вигляді:

$$P(\upsilon) \cdot \eta_{mp} = P_к + P_п. \tag{9}$$

Поділивши обидві частини рівняння (9) на ККД трансмісії η_{mp}, та з врахуванням формул (7) і (8), остаточно отримаємо рівняння балансу потужності електромобіля під час рівномірного руху:

$$P(\upsilon) = \frac{1}{\eta_{mp}} \left(m \cdot g \cdot f_k \cdot \upsilon + \frac{\rho \cdot C_x \cdot S \cdot \upsilon^3}{2} \right). \tag{10}$$

Таким чином, отримане співвідношення (10) може використовуватися для розрахунку потужності електродвигуна електромобіля, що необхідна для його рівномірного руху з заданою швидкістю. Як видно зі співвідношення (10), зміна потужності електродвигуна з часом визначається лише зміною швидкості електромобіля. Інші технічні характеристики електромобіля, що входять до формули (10), не змінюються з часом.

Необхідно відзначити, що коефіцієнт опору коченню f_k, що враховується під час розрахунку потужності, яка витрачається на подолання сили опору коченню, головним чином залежить від стану і типу дорожнього покриття, типу шини і швидкості транспортного засобу. Крім того, коефіцієнт опору коченню залежить від тиску і температури шини, величини зносу протектора шини, навантаження на колесо, величини прикладеного до колеса моменту та інших чинників [10]. У науково-технічній літературі представлено ряд співвідношень, за якими розраховується коефіцієнт опору коченню. У даній роботі вказану фізичну величину розраховано за найбільш використовуємою емпіричною залежністю другого порядку [11, с. 101], згідно з якою значення коефіцієнта опору коченню залежить від квадрату швидкості електромобіля:

$$f_k = f_0 \left(1 + \frac{\upsilon^2}{1500} \right), \tag{11}$$

де $f_0 = 0.015$ – коефіцієнт опору коченню під час малої швидкості руху (до 30 км/год);
υ – швидкість руху транспортного засобу, м/с.

У таблиці 2 наведено значення коефіцієнта опору коченню для діапазону швидкостей руху електромобіля від 10 км/год до 100 км/год, що розраховані за формулою (11).

У даній роботі виконано розрахунок балансу потужності для поширеного у нашій країні електромобіля Nissan Leaf [12]. Технічні характеристики вказаного електромобіля та фізичні сталі, що використовувалися під час розрахунку балансу потужності, наведено в таблиці 1.

Значення маси електромобіля, що використовувалося під час розрахунку балансу потужності, було визначене з наступних міркувань. Оскільки маса спорядженого електромобіля Nissan Leaf (модель з електродвигуном потужністю 80 кВт) становить 1567 кг, а дозволена максимальна маса такого електромобіля дорівнює 1965 кг, то під час розрахунку було взято усереднене і заокруглене

значення – 1800 кг. Тобто під час розрахунку було використано значення маси частково завантаженого електромобіля.

Таблиця 1 – Технічні характеристики електромобіля Nissan Leaf та фізичні сталі
Table 1 – Technical characteristics of the electric car Nissan Leaf and physical constants

Легковий електромобіль Nissan Leaf	
Тип кузова електромобіля	5-дв. хетчбек (5 місць)
Максимальна потужність електродвигуна	P = 80 кВт (109 к. с.)
ККД трансмісії електромобіля	η_{mp} = 0.92
Маса електромобіля	m = 1800 кг
Коефіцієнт опору повітря	C_x = 0.29
Лобова площа електромобіля	S = 1.62 м^2
Прискорення вільного падіння	g = 9.81 м/с^2
Густина повітря	ρ = 1.23 кг/м^3

Розраховані значення потужностей електродвигуна електромобіля Nissan Leaf, що витрачаються на подолання сили опору коченню $P_к$ та сили опору повітря $P_п$, а також значення потужності електродвигуна $P(\upsilon)$, необхідне для рівномірного руху електромобіля з заданою швидкістю, наведено у таблиці 2. Вказані потужності розраховані за формулами (7), (8) і (10) відповідно. Усі розрахунки виконано з використанням одиниць вимірювання SI (System International). Крім того, в таблиці 2 наведено значення відносних потужностей електродвигуна електромобіля $P_к/P(\upsilon)$ і $P_п/P(\upsilon)$ у відсотках.

Таблиця 2 – Значення потужностей електромобіля Nissan Leaf під час рівномірного руху
Table 2 – The value of the powers of the electric car Nissan Leaf during uniform movement

Швидкість		f_k	$P_к$, кВт	$P_п$, кВт	$P(\upsilon)$, кВт	$P_к/P(\upsilon)$, %	$P_п/P(\upsilon)$, %
км/год	м/с						
10	2.8	0.015	0.74	0.006	0.81	91.4	0.7
20	5.6	0.015	1.48	0.05	1.66	89.2	3.0
30	8.3	0.016	2.34	0.17	2.73	85.7	6.2
40	11.1	0.016	3.14	0.40	3.85	81.6	10.4
50	13.9	0.017	4.17	0.78	5.38	77.5	14.5
60	16.7	0.018	5.31	1.35	7.24	73.3	18.6
70	19.4	0.019	6.51	2.12	9.38	69.4	22.6
80	22.2	0.020	7.84	3.17	11.97	65.5	26.5
90	25.0	0.021	9.27	4.53	15.00	61.8	30.2
100	27.8	0.023	11.29	6.23	19.04	59.3	32.7

Необхідно відзначити, що 8 % потужності електродвигуна електромобіля витрачається на трансмісію, оскільки ККД трансмісії становить 0.92 і не залежить від швидкості руху транспортного засобу. Решта потужності електродвигуна витрачається на подолання сил опору коченню та опору повітря в процесі рівномірного руху електромобіля.

На рисунку 1 у вигляді діаграми представлено залежність значень відносних потужностей електродвигуна електромобіля Nissan Leaf, що витрачаються на подолання сили опору коченню $P_к/P(\upsilon)$ та сили опору повітря $P_п/P(\upsilon)$, від швидкості руху електромобіля. Як видно з рисунку 1, під час рівномірного руху зі швидкістю до 40 км/год відносна потужність, що витрачаєтьс на подолання сили опору повітря, не перевищує 10 %. Тобто, під час рівномірного руху зі швидкістю до 40 км/год основні витрати потужності електродвигуна спрямовані на подолання сили опору коченню. Зі збільшенням швидкості електромобіля відносна потужність, що витрачається на подолання сили опору повітря, суттєво зростає і під час руху зі швидкістю 100 км/год складає 32.7 %.

У той же час, відносна потужність, що витрачається на подолання сили опору коченню, під час руху зі швидкістю 100 км/год дорівнє 59.3 %. Отже, під час рівномірного руху електромобіля зі швидкістю більше 40 км/год, суттєвими стають витрати потужності електродвигуна, спрямовані як на подолання сили опору коченню, так і на подолання сили опору повітря.

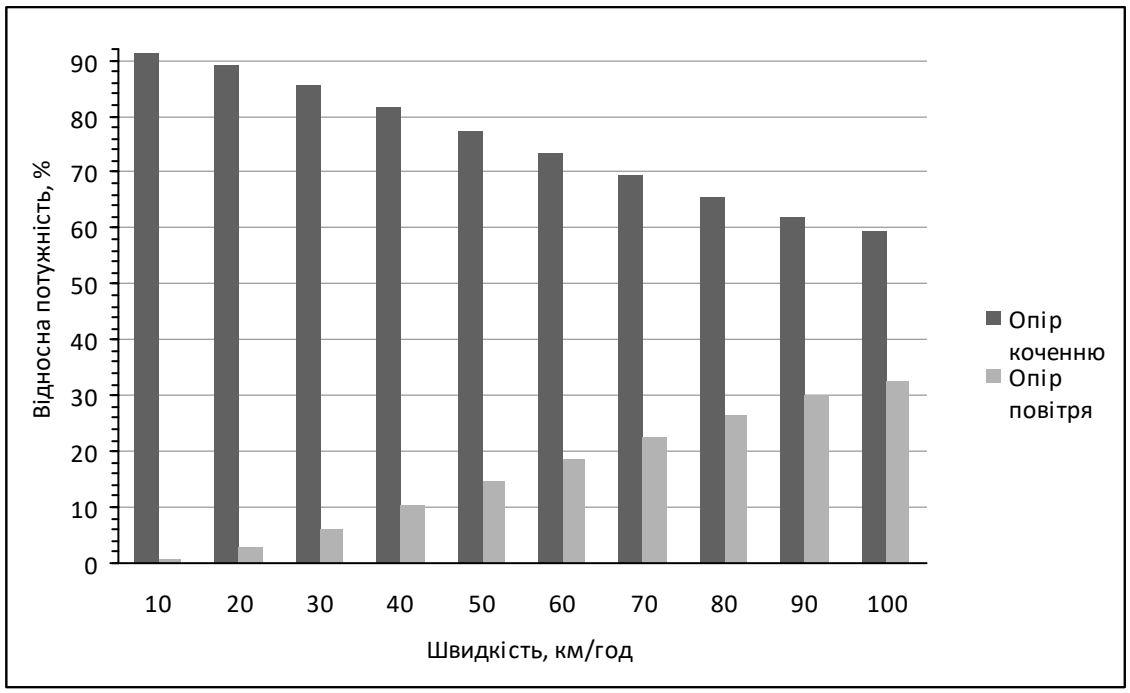


Рисунок 1 – Залежність значень відносних потужностей від швидкості електромобіля
Figure 1 – Dependence of relative power values on the speed of the electric car

Результати проведеного розрахунку балансу потужності електромобіля під час рівномірного руху можуть бути використані під час розробки ефективних систем керування електромобілем шляхом врахування витрат потужності електродвигуна на подолання сил опору коченню та опору повітря. Останнє може призвести до зменшення витрат електричної енергії акамулятора та, відповідно, покращення однієї з основних технічних характеристик електромобіля – запасу ходу.

Висновки і перспективи подальших досліджень.

Таким чином, у роботі отримано рівняння балансу потужності електромобіля під час рівномірного руху. Ключовою змінною величиною в рівнянні балансу потужності є швидкість руху електромобіля. З використанням вищезазначеного рівняння розраховано баланс потужності електромобіля Nissan Leaf (модель з електродвигуном потужністю 80 кВт) під час рівномірного руху. Встановлено, що під час рівномірного руху електромобіля зі швидкістю до 40 км/год основні витрати потужності електродвигуна спрямовані на подолання сили опору коченню. Під час рівномірного руху електромобіля зі швидкістю, що перевищує 40 км/год, також стають суттєвими витрати потужності електродвигуна, спрямовані на подолання сили опору повітря. Відзначено, що результати виконаного розрахунку балансу потужності електромобіля Nissan Leaf під час рівномірного руху можуть бути використані під час розробки ефективних систем керування електромобілем та вибору оптимального стилю водіння вказаного транспортного засобу, що може призвести до зменшення витрат електричної енергії акамулятора та збільшення запасу ходу електромобіля.

У наступній роботі планується розглянути спосіб отримання додаткової електричної енергії під час механічних коливань електромобіля, що виникають у процесі його руху.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Будніченко В.Б. Методика оцінювання ефективності рекуперативного гальмування для елементарного спрощеного циклу руху / В.Б. Будніченко, М.М. Гордієнко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – 2021. – Вип. 1 (48). – С. 37-43. DOI: 10.33744/2308-6645-2021-1-48-037-043.

2. Ломакин В.В. К расчету баланса мощности комбинированной энергоустановки гибридного автомобиля / В.В. Ломакин, А.В. Шабанов, А.А. Шабанов // Исследования, конструкции, технологии. – 2014. – № 1 (84). – С. 24-27.

3. Пожидаєв С.П. Оцінка енергетичного ККД автомобіля під час розгону / С.П. Пожидаєв // Техніка і технології АПК. – 2016. – № 7 (82). – С. 26-30.

4. Sapundzhiev M. Determination of the needed power of an electric motor on the basis of acceleration time of the electric car / M. Sapundzhiev, I. Evtimov, R. Ivanov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – Vol. 252. – P. 012063 (7). DOI:10.1088/1757-899X/252/1/012063.

5. Madhusudhanan A.K. A method to improve an electric vehicle's range: Efficient Cruise Control / A.K. Madhusudhanan // European Journal of Control. – 2019. – Vol. 48. – P. 83-96. DOI: 10.1016/j.ejcon.2018.12.006.

6. The possibilities of increasing the electric vehicle range / M. Mruzeka, I. Gajdaca, L. Kucera, T. Gajdosik // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 192. – P. 621-625.

7. Нуждин Р.В. Тяговый расчет автомобиля: методические указания к курсовому проектированию по дисциплине «Конструкция и потребительские свойства автомобилей» / Р.В. Нуждин. – Владимир: Издательство ВлГУ, 2018. – 36 с.

8. Аль-Амморі А.Н. Методи і засоби підвищення ефективності використання відновлювальних джерел енергії на транспорті: монографія / А.Н. Аль-Амморі, П.С. Соченко. – Київ: НТУ, 2014. – 220 с.

9. Фізика і транспорт: навчальний посібник / М.Ф. Дмитриченко, Ю.П. Гололобов, І.Р. Зачек, В.М. Габа, І.Є. Мороз. – Львів: Українська академія друкарства, 2014. – 328 с.

10.Гащук П.М. Феноменологічне й модельне означення поняття «коефіцієнт опору коченню» колеса транспортної машини / П.М. Гащук, С.В. Нікіпчук // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2013. – № 759. – С. 16-25.

11.Солтус А.П. Визначення коефіцієнта опору коченню колеса з еластичною шиною по недеформованій поверхні / А.П. Солтус, Е.С. Клімов, В.І. Пилипенко // Вісник Кременчуцького Національного університету імені Михайла Остроградського. – 2011. – Вип. 2. – Част. 1. – С. 99-104.

12.Технические характеристики электромобиля Nissan Leaf [Электронный ресурс] // Info Car. – 2021. – Режим доступа: https://nissan-leaf.infocar.ua/mod_3692_leaf_id903.html.

REFERENCES

1. Budnichenko, V.B., Hordiyenko, M.M. (2021). Metodyka otsinyuvannya efektyvnosti rekuperatyvnoho halmuvannya dlya elementarnoho sproshchenoho tsyklu rukhu [Methods for evaluating the effectiveness of recuperative braking for elementary simplified motion cycle]. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriya "Tekhnichni nauky". Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk – Bulletin of the National Transport university. "Technical Sciences" series. Scientific and technical collection, 1 (48), 37-43. DOI: 10.33744/2308-6645-2021-1-48-037-043 [in Ukrainian].

2. Lomakin, V.V., Shabanov, A.V., Shabanov, A.A. (2014). K raschetu balansa moshchnosti kombinirovannoy energoustanovki gibridnogo avtomobilya [To the calculation of the power balance of the combined power plant of a hybrid car]. Issledovaniya, konstruktsii, tekhnologii – Research, designs, technologies, 1 (84), 24-27 [in Russian].

3. Pozhydayev, S.P. (2016). Otsinka enerhetychnoho KKD avtomobilya pid chas rozhonu [Estimation of energy efficiency of the car during acceleration]. Tekhnika i tekhnolohiyi APK – Machinery and Technologies of Agro-Industrial Complex, 7 (82), 26-30 [in Ukrainian].

4. Sapundzhiev, M., Evtimov, I., Ivanov, R. (2017). Determination of the needed power of an electric motor on the basis of acceleration time of the electric car. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 252, 012063 (7). DOI:10.1088/1757-899X/252/1/012063 [in English].

5. Madhusudhanan, A.K. (2019). A method to improve an electric vehicle's range: Efficient Cruise Control. European Journal of Control, 48, 83-96. DOI: 10.1016/j.ejcon.2018.12.006 [in English].

6. Mruzeka, M., Gajdaca, I., Kucera, L., Gajdosik, T. (2017). The possibilities of increasing the electric vehicle range. Procedia Engineering, 192, 621-625 [in English].

7. Nuzhdin, RV. (2018). Tyagovyy raschet avtomobilya. Metodicheskiye ukazaniya. [Traction calculation of the car. Guidelines]. Vladimir: Izdatelstvo VlGU. 36 p. [in Russian].

8. Al-Ammouri, A.N., Sochenko, P.S. (2014). Metody i zasoby pidvyshchennya efektyvnosti vykorystannya vidnovlyuvalnykh dzherel enerhiyi na transporti. Monohrafiya. [Methods and means of increasing the efficiency of the use of renewable energy sources in transport. Monograph]. Kyiv: NTU. 220 p. [in Ukrainian].

9. Dmytrychenko, M.F., Gololobov, Yu.P., Zachek, I.R., Haba, V.M., Moroz, I.Ye. (2014). Fizyka i transport. Navchalnyy posibnyk. [Physics and transport. Tutorial]. Lviv: Ukrayinska akademiya drukarstva. 328 p. [in Ukrainian].

10.Hashchuk, P.M., Nikipchuk, S.V. (2013). Fenomenolohichne i modelne oznachennya ponyattya “koefitsiyent oporu kochennyu” kolesa transportnoyi mashyny [Phenomenological and model definition of the concept of "rolling resistance coefficient" of the wheel of a transport machine]. Visnyk Natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnika” – Bulletin of the National university “Lviv Polytechnic”, 759, 16-25 [in Ukrainian].

11.Soltus, A.P., Klimov, E.S., Pylypenko, V.I. (2011). Vyznachennya koefitsiyenta oporu kochennyu kolesa z elastychnoyu shynoyu po nedeformovaniy poverkhni [Determination of the coefficient of rolling resistance of a wheel with an elastic tire on an undeformed surface]. Visnyk Kremenchutskoho Natsionalnoho universytetu imeni Mykhayla Ostrohradskoho – Bulletin of Kremenchuk National university named after Mykhailo Ostrogradskiy, 2 (1), 99-104 [in Ukrainian].

12.Tekhnicheskiye kharakteristiki elektromobilya Nissan Leaf [Technical characteristics of electric car Nissan Leaf]. (2021). Info Car. [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupa: https://nissan-leaf.infocar.ua/mod_3692_leaf_id903.html [in Russian].

РЕФЕРАТ

Аль-Амморі А.Н. Розрахунок балансу потужності електромобіля під час рівномірного руху / А.Н. Аль-Амморі, Р.М. Іщенко, І.М. Верховецька // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

У статті отримано рівняння балансу потужності електромобіля під час рівномірного руху. Ключовою змінною величиною в рівнянні балансу потужності є швидкість руху електромобіля.

Об’єкт дослідження – баланс потужності електромобіля під час рівномірного руху.

Мета роботи – дослідження балансу потужності електромобіля під час рівномірного руху та встановлення залежності значень потужностей електродвигуна, що витрачаються на подолання сили опору коченню та сили опору повітря від швидкості руху електромобіля.

Методи дослідження – для досягнення мети роботи використовувалися наступні методи: аналіз, синтез, систематизація, узагальнення, формулювання висновків.

У роботі розраховано баланс потужності електромобіля Nissan Leaf під час рівномірного руху. Встановлено, що під час рівномірного руху електромобіля зі швидкістю до 40 км/год основні витрати потужності електродвигуна спрямовані на подолання сили опору коченню. Під час рівномірного руху електромобіля зі швидкістю, що перевищує 40 км/год, також стають суттєвими витрати потужності електродвигуна, спрямовані на подолання сили опору повітря.

Результати статті можуть бути використані під час розробки ефективних систем керування електромобілем та вибору оптимального стилю водіння вказаного транспортного засобу. Також результати роботи можуть бути впроваджені в освітній процес під час викладання навчальних дисциплін циклу професійної підготовки майбутніх фахівців транспортної галузі.

Прогнозні припущення щодо розвитку об’єкта дослідження – розгляд способу отримання додаткової електричної енергії під час механічних коливань електромобіля, що виникають у процесі його руху.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ, БАЛАНС ПОТУЖНОСТІ, РІВНОМІРНИЙ РУХ, СИЛА ОПОРУ КОЧЕННЮ, СИЛА ОПОРУ ПОВІТРЯ.

ABSTRACT

Al-Ammouri A.N., Ishchenko R.M., Verkhovetska I.M. Calculation of power balance of electric car during uniform movement. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

In this paper the equation of the power balance of the electric car during uniform movement is received. The key variable in the power balance equation is the speed of the electric car.

The object of the study – power balance of the electric car during uniform movement.

Purpose of the study – investigation of the balance of power of the electric car during uniform movement and establishment of dependence of values of powers of the electric motor which are spent on overcoming of force of resistance to rolling and force of resistance of air on speed of movement of the electric car.

Method of the study – for the purpose of the study, the following methods were used: analysis, synthesis, systematization, generalization, formulation of conclusions.

In this work the power balance of the Nissan Leaf electric car during uniform movement is calculated. It is established that during the uniform movement of the electric car at a speed of up to 40 km/h the main power consumption of the electric motor is aimed at overcoming the rolling resistance. During the steady

movement of the electric car at a speed exceeding 40 km/h, the power consumption of the electric motor aimed at overcoming the force of air resistance also becomes significant.

The results of the article can be used in the development of effective control systems for electric car and the selection of the optimal driving style of the specified vehicle. Also, the results of the work can be introduced into the educational process during the teaching of disciplines of the cycle of professional training of future specialists in the transport industry.

Forecast assumptions about the object of study – consideration of the method of obtaining additional electrical energy during mechanical vibrations of the electric car that occur during its movement.

KEY WORDS: ELECTRIC CAR, POWER BALANCE, UNIFORM MOVEMENT, FORCE OF ROLLING RESISTANCE, FORCE OF AIR RESISTANCE.

АВТОРИ:

Аль-Амморі Алі Нурддинович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: ammourilion@ukr.net, тел. +380442846709, +380983556786, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 406, orcid.org/0000-0002-0375-6108.

Іщенко 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.

Верховецька Інна Миколаївна, Національний транспортний університет, аспірантка кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: lonelyspace@bigmir.net, тел. +380442846709, +380961223849, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 207, orcid.org/0000-0001-9063-9470.

AUTHORS:

Al-Ammouri Ali N., doctor of technical sciences, professor, National Transport University, head of department of Information analysis and information security, e-mail: ammourilion@ukr.net, tel. +380442846709, +380983556786, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 406, orcid.org/0000-0002-0375-6108.

Ishchenko Ruslan M., candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, National Transport University, associate professor of department of Information analysis 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.

Verkhovetska Inna M., National Transport University, postgraduate student of department of Information analysis and information security, e-mail: lonelyspace@bigmir.net, tel. +380442846709, +380961223849, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 207, orcid.org/0000-0001-9063-9470.

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 physical and mathematical sciences, professor, National Transport University, dean of the Faculty of Transport and Information Technologies, Kyiv, Ukraine.

Manko D. Yu., candidate of physical and mathematical sciences, Institute for Information Recording National Academy of Sciences of Ukraine, researcher, Kyiv, Ukraine.

УДК 336
UDC 336
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-011-019

УПРАВЛІННЯ ОБОРОТНИМИ АКТИВАМИ НА СУЧАСНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Бабич Л.М., кандидат економічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, babich_ludmila@ukr.net, orcid.org/0000-0003-1602-929X
Головатий В.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, golovatijvadim@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9255-0736

CURRENT ASSETS MANAGEMENT AT A MODERN ENTERPRISE

Babich L.M., Candidate of Economic Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, babich_ludmila@ukr.net, orcid.org/0000-0003-1602-929X
Holovatyi V.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, golovatijvadim@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9255-0736

Постановка проблеми. Розвиток ринкових відносин в Україні вимагає нових підходів до управління економікою як на макрорівні, так і на рівні окремих підприємств. Особливого значення набувають проблеми створення таких механізмів управління фінансами підприємств, які б відповідали ринковим умовам господарювання та забезпечували достатній рівень платоспроможності і ліквідності. У сучасних умовах, коли для більшості підприємств типовим наслідком кризових явищ їхнього економічного розвитку стала нестача необхідних обсягів оборотних активів, неодмінно виникає ускладнена ситуація щодо забезпечення стабільності всіх важливих процесів господарювання. Низька забезпеченість виробничих підприємств оборотними активами супроводжується, як правило, і низьким рівнем їх використання, тому одним із найактуальніших завдань у напрямі створення умов для фінансової стійкості вітчизняних підприємств є суттєве вдосконалення механізму формування та використання оборотних активів.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Про важливість дослідження засад щодо формування та використання оборотних активів в цілому, а також окремих їх елементів неодноразово зазначалось у наукових працях Бабич Л.М. [1,2], Білик М.Д. [8,9], Бондаренко О.С. [3], Добровольської О.В. [5], Ковальчук І.В. [6], Поддєрьогіна А.М. [8,9] та ін..

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на значну кількість вітчизняних і зарубіжних публікацій, не було проведено достатньо поглиблених досліджень стосовно такої визначної складової в системі науково-теоретичних засад з управління оборотними активами, що, в першу чергу, торкається головних принципів, передових за сучасних умов господарювання методів, які б функціонально спрямовували реалізацію заходів щодо ефективної роботи і перспективної життєдіяльності підприємства в непростих економічних умовах сьогодення, що зачасту зазнають вразливих і непередбачуваних змін, і які можуть стати загрозливою перешкодою у проведенні аналітичних досліджень відносно перспектив впливу на процеси формування і використання оборотних активів, передовсім, чинників зовнішнього середовища.

Постановка завдання. Мета дослідження полягає в поглибленні на основі аналізу формування оборотних активів на окремому підприємстві науково-теоретичних засад та розробці пропозицій з управління оборотними активами в сучасних економічних умовах.

Виклад основного матеріалу. Оборотними активами, як відомо, визнаються грошові кошти та їх еквіваленти, що необмежені у використанні, а також інші активи, що призначені для реалізації чи споживання протягом операційного циклу, або ж протягом дванадцяти місяців з дати балансу. Значну частку оборотних активів на підприємствах складають запаси – предмети праці, що призначені для обробки, переробки, використання у виробництві для господарських потреб, а також засоби праці, які підприємство включає до складу малоцінних та швидкозношуваних предметів.[7]

Варто відразу ж зазначити, що, не дивлячись на вже значний обсяг наукових досліджень у царині проблем оборотного капіталу, в економічній літературі все ж досі не висвітлено єдиного підходу щодо визначення економічної сутності оборотних активів. Найчастіше дану економічну категорію трактують як механічне об'єднання різних за роллю в процесі кругообігу економічних категорій, або як поєднання активів, які протягом одного виробничого циклу можуть бути перетворені на гроші. Наприклад, згідно з думкою Ковальчук І.В. «Кошти підприємства, авансовані в предмети праці, разом із залишками грошей на його банківському рахунку, становлять оборотні

засоби підприємства. Оборотні засоби є найбільш мобільною частиною його активів, за умов звичайної господарської діяльності вони безперервно здійснюють кругообіг, знаходячись то на стадії виробництва, то в сфері обігу, змінюючи при цьому свою форму у відносно короткий строк (менший за рік, або операційний цикл). Виробничі запаси сировини і матеріалів передаються на подальшу обробку у виробничі цехи, де з них виготовляється продукція. Запаси готової продукції шляхом продажу переходять у дебіторську заборгованість, яка, в свою чергу, за настанням строку платежу перетворюється на грошові кошти» [6].

Найбільш поширеним в наукових джерелах є твердження , що оборотні активи – це вартість, що авансується в грошовій формі і приймає в процесі безперервного, планомірного кругообігу коштів форму оборотних виробничих фондів і фондів обігу [1,5,8]

Розгалуженість трактувань дає підстави прийти до висновку, що категорія оборотних активів є дещо складнішою для сприйняття, а ніж категорія основних засобів, адже оборотні кошти підприємства більш неоднорідні за своїм складом і мають суттєвий складник з окремих елементів. Так, серед них можуть бути матеріальні елементи (запаси сировини, матеріалів), які в подальшому становитимуть матеріальну основу виготовленої продукції, або ж будуть спожиті в процесі виробництва, але в речовій формі не увійдуть у створений продукт (запас пального); також будуть грошові кошти (готівка в касі підприємства або кошти на банківських рахунках), і, як правило, будуть різні види дебіторської заборгованості.

Та все ж, головне, що об’єднує всі елементи оборотних активів, це те, що вони використовуються протягом періоду, що не перевищує один рік у процесі здійснення операційної, інвестиційної та фінансової діяльності підприємства, і які спрямовуються на забезпечення стабільності його функціонування.

Оборотні активи за своєю величиною займають друге місце після основних засобів в загальному обсязі ресурсів, які визначають економіку підприємства з позиції вимог ефективного ведення його фінансово-господарської діяльності. При цьому важливо, що обсяг оборотних активів повинен бути достатнім для здійснення виробництва продукції (виконання робіт, надання послуг) в асортименті та у кількості, що може сприйнятися ринком, і, в той же час , цей обсяг має бути такий, що не призводить до збільшення виробничих витрат. У такий спосіб фінансовий стан підприємства знаходиться в безпосередній залежності від того, наскільки швидко засоби, які вкладені в активи, перетворюються в реальні гроші, а також наскільки в цілому забезпечене підприємство, відповідно до потреби, оборотними коштами.

Нині підприємствам надано право самостійно розраховувати нормативи оборотних коштів за допомогою використання нормативного методу, що враховує специфіку розрахунку для виробничих фондів і окремих елементів фондів обігу.

При цьому, важливо підкреслити, що формування оборотних активів починає відбуватися вже в момент заснування підприємства, тобто коли створюється його статутний (зареєстрований) капітал. Далі у процесі роботи джерелом поповнення оборотних активів стає отриманий прибуток та кошти, які прирівнюються до власних, тобто ті, що належать підприємству, але постійно знаходяться в обороті. До них включаються: мінімальна заборгованість з оплати праці працівників підприємства, яка переходить з місяця в місяць; резерви на покриття майбутніх витрат; мінімальна заборгованість перед бюджетом та позабюджетними фондами, яка також переходить; кошти кредиторів, отримані як передплати за продукцію (товари, роботи, послуги); кошти покупців, тощо. Скороченню загальної потреби суб’єкта господарювання в оборотних активах та стимулюванню їх ефективного використання сприяють також запозичені кошти.

Головною метою управління оборотними активами на підприємстві є забезпечення оптимальних їх обсягів за всіма складовими для отримання передбачених у фінансовій стратегії та у поточних фінансових планах, операційних і фінансових бюджетах економічних вигод.

Для проведення аналізу оборотних активів скористаємося даними звітності підприємства ДП «Украероруx» за 2018-2020 рр., що наводяться у табл. 1.

Наведені дані свідчать, що впродовж вказаного періоду на підприємстві ДП»Украероруx», яке займається дослідженням повітряного простору в межах кордонів України, спостерігалось певне коливання загального обсягу оборотних активів: за 2018-2019рр. – відбулось зростання на 552923 тис.грн., а за 2019-2020рр. – різке зменшення на 1646379 тис.грн. При цьому запаси у 2020 р. у порівнянні з 2019 р. зменшились на 107423 тис. грн., або ж на 2,06%, дещо схожа ситуація відбулася із виробничими запасами також. Та якщо зміни в запасах можна віднести до позитивних, то зміни в грошових коштах – до негативних, адже тільки за 2020 рік відбулось їх зменшення на суму 1193590 тис. грн.. Загалом же зменшення грошових коштів та їх еквівалентів завжди вказує на

формування загроз стосовно забезпечення необхідного рівня ліквідності та платоспроможності серед інших показників фінансового стану підприємства.

Таблиця 1 – Склад і структура оборотних активів ДП «Укравторух» за 2018-2020 рр.
Table 1 – Composition and structure of current assets of SE «Ukraerorukh» for 2018-2020.

(тис.грн.)

Показники	2018рік	%	2019рік	%	2020рік	%	Відхилення 2019/ 2018 р		Відхилення 2020/ 2019 р	
							За сумою, +-	(%)	За сумою, + -	(%)
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**
Запаси	127478	5,5	143398	5	35975	2,94	15920	-0,5	-107423	-2,06
Виробничі запаси	127423	5,5	143185	5	35743	2,92	15762	-0,5	-107442	-2,08
Товари	55	0,002	213	0,01	232	0,02	158	0,098	19	0,01
Дебіторська заборг. за товари,роботи, послуги	424758	18,34	742488	25,88	502147	41,1	317730	7,54	-240341	15,22
Дебіторська заборг. За розрахунками:	153958	6,64	168526	5,87	32753	2,67	14568	-0,77	-135773	-3,2
з бюджетом	1002	0,04	35892	1,25	38655	3,16	34890	1,21	2763	1,91
у тому числі з податкунаприбуток	-	0	34598	1,2	37315	3,05	34598	1,2	2717	1,85
Іншапоточна дебіторська заборгованість	24581	1,06	57744	2,01	113632	9,29	33163	0,95	55888	7,28
Грошіта їх еквіваленти	1567217	67,67	1687814	58,83	494224	40,43	120597	-8,84	-1193590	-18,4
Готівка	26	0,001	79	0,003	36	0,002	53	0,002	-43	-0,001
Рахунки в банках	1566718	67,65	1687735	58,83	463105	37,88	121017	-8,82	-1224630	-20,95
Витрати майбутніх періодів	2211	0,1	18150	0,63	4431	0,36	15939	0,53	-13719	-0,27
Інші оборотні активи	14518	0,62	14634	0,51	450	0,03	116	-0,11	-14184	-0,48
Всього	2315723	100	2868646	100	1222267	100	552923	0	-1646379	0

Далі, надто важливою і такою, що певним чином може спотворювати структуру оборотних активів, є дебіторська заборгованість. Згідно даних табл. 1, за 2020р. дебіторська заборгованість за товари, роботи, послуги зменшилась на 240341 тис. грн., що звичайно ж є позитивним явищем, і свідчить про те, що партнери по бізнесу вчасно розраховувались з підприємством за товари, роботи та послуги.

Однак, слід враховувати, що загальна величина дебіторської заборгованості на підприємстві ДП «Укравторух» все ж залишається значущою і становить 724502 грн., що у загальній величині його оборотних активів складає майже половину. Для більш детального дослідження показано дані щодо складу та структури дебіторської заборгованості ДП «Укравторух» в табл. 2 за період, що аналізується.

Наведені в табл. 2 показники вказують на необхідність застосування підприємством ефективних заходів управління щодо скорочення дебіторської заборгованості в наступних періодах. При цьому необхідно враховувати факти, що у складі дебіторської заборгованості найбільшу питому вагу становлять заборговані кошти за товари, роботи і послуги, неоплачені в строк, інша поточна

дебіторська заборгованість, заборгованість з бюджетом та за виданими авансами, що і відповідає таким структурним величинам: 69,3%, 15,7%, 5,3%,4,5%.

Таблиця 2 – Склад та структура дебіторської заборгованості ДП «Укрaероруx» за 2018-2020 рр.
Table 2 – Composition and structure of receivables of SE «Ukraerorukh» for 2018-2020

(тис.грн.)

Показники	2018		2019		2020		Відхилення 2019/2018		Відхилення 2020/2019	
	Тис грн	%	Тис грн	%	Тис грн	%				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Дебітор.заборг. за товари, роботи, послуги	424758	70,3	742488	71,44	502147	69,3	317730	1,14	-240341	-2,14
Дебіторська заборг. зарозр.										
За виданими авансами	153958	25,47	168526	16,21	32753	4,5	14568	-9,26	-135773	-11,71
з бюджетом	1002	0,17	35892	3,5	38655	5,3	34890	3,33	2763	1,8
у тому числі з податку на прибуток	-	0	34598	3,3	37315	5,2	34598	3,3	2717	1,9
Інша поточна дебіторська заборгованість	24581	4,06	57744	5,55	113632	15,7	33163	1,49	55888	10,15
Всього	604299	100	1039248	100	724502	100	434949	0	-314746	0

Для пришвидшення процесів оптимізації розміру та структури дебіторської заборгованості підприємству можна було б рефінансувати певну її частину, прискоривши переведення в інші форми оборотних активів, зокрема, наприклад, у ліквідні короткострокові цінні папери. В цілому ж, з метою посилення управління дебіторською заборгованістю в наступних періодах підприємству ДП «Укрaероруx» першочергово необхідно визначати ступінь ризику несплати рахунків всіма покупцями; а також збільшувати коло покупців для мінімізації втрат від несплати одним або декількома покупцями, здійснювати оперативний контроль за надходженням готівки з визначенням кола потенційних дебіторів, а головне – створити чітку систему планування дебіторської заборгованості з відображення параметрів показників у фінансовій стратегії підприємства. Контроль за процесом руху окремих складників щодо дебіторської заборгованості пропонується здійснювати згідно розробленої і запропонованої раніше моделі контролінгу дебіторської заборгованості на підприємстві[2].

З метою ж оптимізації загальної структури оборотних активів підприємству ДП «Укрaероруx» доцільно невідкладно впровадити використання методу оптимізації фінансових рішень, який передбачає реалізацію комплексної моделі грошових розрахунків, що включає розрахунки за дебіторською заборгованістю, і яка зорієнтована на: максимізацію вартості капіталу підприємства; мінімізацію накладних витрат; максимізацію абсолютної суми прибутку підприємства та максимізацію прибутку на одиницю вкладеного капіталу; максимізацію рентабельності власного капіталу; мінімізацію тривалості обороту капіталу, тобто загального прискорення оборотності капіталу підприємства[9].

Запропоновані заходи, на наш погляд, дозволять підвищити рівень платоспроможності, ліквідності та прибутковості кожного з вітчизняних підприємств різних галузей економіки, в тому числі, і надто важливої для розвитку економіки країни - транспортної галузі.

Як бачимо, для досягнення основної мети в системі менеджменту щодо забезпечення оптимальних обсягів та оптимальної структури оборотного капіталу підприємства, управління оборотними активами має спрямовуватись на вирішення певних завдань, серед яких найважливішими та найсуттєвішими, на наш погляд, є наступні:

– формування достатніх обсягів оборотних активів на основі їх раціонального планування (нормування);

– забезпечення певних пропорцій між обсягами окремих складових оборотних активів;

– оптимізація структури складових оборотних активів з акцентом на частку дебіторської заборгованості;

– ефективне використання всіх складових оборотних активів;

– контроль за обсягами оборотних активів та поточних зобов'язань;

– аналіз впливу оборотних активів на фінансовий стан підприємства.

Не можна при цьому не враховувати, що із реалізацією завдань щодо управління оборотними активами тісно пов'язуються основні засадничі принципи, на яких ці процеси повинні базуватися, а також провідні функції, здійснення яких врешті і забезпечить реалізацію поставлених завдань.



Рисунок 1 – Науково-теоретичні засади управління оборотними активами на сучасному підприємстві
Figure 1 – Scientific and theoretical foundations of current assets management in a modern enterprise

Розглядаючи базові науково-теоретичні засади з управління оборотними активами в сучасних економічних умовах, стосовно, зокрема, основних принципів можна відмітити, що управління оборотним капіталом має здійснюватись в системі загального менеджменту на підприємстві, тому важливо всі заходи запроваджувати в контексті взаємоузгодження, координації та своєчасності прийняття управлінських рішень. Враховуючи необхідність безперервності процесу формування оборотних активів для забезпечення безперебійності, передовсім, основних операційних процесів, вкрай необхідним постає дотримання принципу раціональності в обґрунтуванні обсягів оборотних активів та пов'язаних з ними витрат, що в кінцевому підсумку цілеспрямовано сприятиме реалізації принципу оптимізації як цільового і визначального у досягненні поставленої загальної мети.

Саме завдяки послідовному дотриманню всіх вказаних принципів можна очікувати на дієвість функцій , що мають супроводжувати управління оборотними активами на підприємстві, а саме: контрольна, регулююча, аналітична – як таких, що цілковито проявляються, головним чином, через досягнення підприємством достатнього рівня ліквідності та платоспроможності. Зрозуміло, що утримання на достатньому рівні показників платоспроможності підприємства в значній мірі визначатиметься тим, в який спосіб здійснюватиметься їх планування, бюджетування, аналіз та контроль за виконанням. З огляду на це, варто завжди обмірковано робити вибір стосовно методів і моделей, які підприємство вважає за доцільне застосовувати в управлінні оборотними активами, маючи на увазі, передовсім, новітні методи сучасних облікових та фінансово-аналітичних процесів[4].

Враховуючи ситуаційну складність, що пов'язується з політичними викликами, військовими діями, та підвищену вимогливість середовища через обставини епідемії коронавірусу, ефективність управління оборотними активами дедалі більшою мірою залежатиме від врахування чинників, які безпосередньо впливають на даний процес. Взаємозв'язок в системі провідних чинників та їх вплив на управління оборотними активами підприємства показано на рисунку 2.

Зрозуміло, що система чинників стосовно впливу на управління оборотними активами підприємства має поділятися на дві групи, тобто на внутрішні та зовнішні. При цьому, перша група

чинників впливає на процес управління оборотними активами підприємства безпосередньо, а друга – опосередковано, а це, в свою чергу, вказує, що, якщо підприємство не в змозі змінювати зовнішні чинники, то безпосередній вплив на внутрішні воно має здійснювати, використовуючи дієві засоби фінансового механізму. Натомість, бажаючи, наприклад, прискорити реалізацію готової продукції як складової оборотних активів, підприємство все ж може впливати на певні внутрішні чинники, але в той же час не зможе змінити якісні та кількісні характеристики продукції конкурентів. Наприклад, підприємство може тільки пристосуватися до змін в законодавчій базі, але не змінювати інформаційне наповнення змісту.

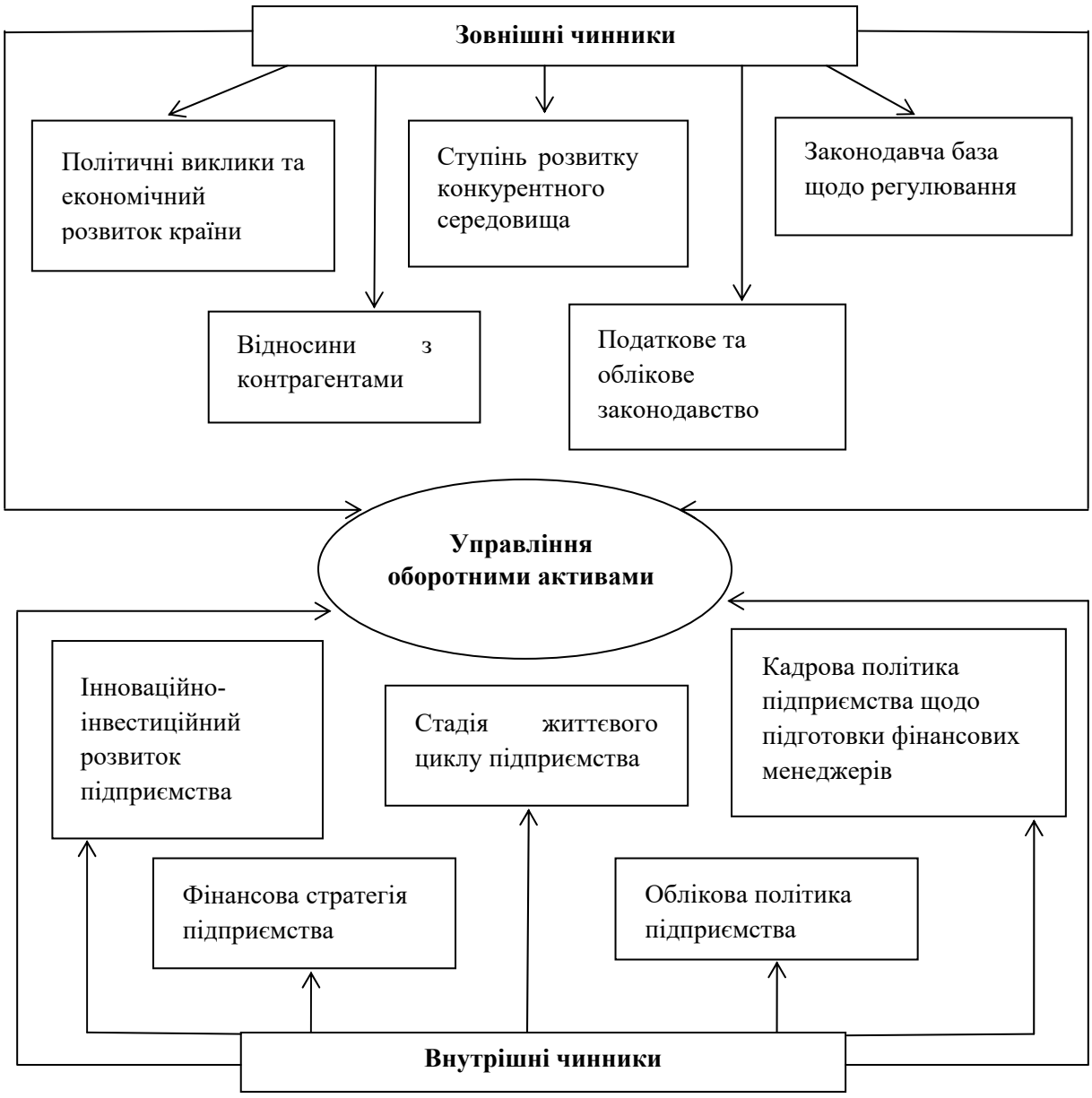


Рисунок 2 – Система чинників впливу на управління оборотними активами підприємства
Figure 2 – The system of factors influencing the management of current assets of the enterprise

Саме з урахуванням всіх зазначених чинників зовнішнього і внутрішнього середовища і має здійснюватись управління оборотними активами на сучасних підприємствах України, що, в свою чергу, дозволить виявити певні ризики і спрямовувати формування основних тенденцій з розвитку оборотних коштів стосовно структурних особливостей їх формування та подальшого використання.

Висновки. Отже, оборотні активи, що є вагомою складовою загальної величини активів підприємства, на нашу думку, слід розглядати як сукупність матеріальних і грошових коштів, які використовуються підприємством протягом періоду, що не перевищує один рік, для забезпечення

планової реалізації процесів в операційній, фінансовій та інвестиційній діяльності, з урахуванням системи власних можливостей та комплексу чинників зовнішнього середовища, в напрямку запобігання можливих ризиків і створення передумов для подальшого ефективного його функціонування.

В системі управління оборотними активами кожне підприємство першочергову увагу має приділяти оптимізації обсягів оборотних активів, застосовуючи, передовсім, нормативний метод та інші ефективні методи сучасного планування та бюджетування для забезпечення безперебійного функціонування, передовсім, операційних процесів. В структурі оборотних активів варто акцентувати увагу на зменшенні частки дебіторської заборгованості за різними її видами, заздалегідь досліджуючи можливість ризиків несплати відповідним колом покупців та поступово запроваджуючи ефективну систему контролінгу з метою планового скорочення і оптимізації обсягів дебіторської заборгованості в наступних періодах.

Для нормального ж функціонування підприємств важливо, щоб їх менеджери та керівники, приймаючи рішення стосовно загальної оцінки фінансового стану підприємства, своєчасно б мали об'єктивну й ґрунтовну інформацію щодо руху обсягів оборотних активів з детальними розрахунками структурних співвідношень окремих їх складових за відповідні періоди.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бабич Л.М. Формування оптимальної структури оборотних коштів // Актуальні проблеми економіки, 2001 – № 9-10, С. 12-24.

2. Бабич Л.М., Перещ Н.П. Управління дебіторською заборгованістю підприємства в сучасних економічних умовах [Електронний ресурс] / Л.М. Бабич, Н.П.Перещ // Приазовський економічний вісник. – 2019. – №3 (14). – С. 129-135, – Режим доступу: http:// pev.kpu.zp.ua/vypusk-3-14

3. Бондаренко О.С. Управління поточними активами: теоретичні основи та практичне застосування // Вісник Хмельницького національного університету, – 2005. – №3. – С.51-56

4. Digital – технології облікових і фінансово-аналітичних процесів на транспортних підприємствах. Навч.-метод. посібник / За ред.. проф. Базилюк А.В., доц. Гошовської В.В. – К.: НТУ, 2019.- 263 с.

5. Добровольська О. В. Пріоритети формування оборотного капіталу підприємства у нестабільному середовищі / О. В. Добровольська // Інвестиції: практика та досвід – 2010. – №8 – С. 45–49.

6. Ковальчук І.В. Реальна економіка: навчальний посібник з економіки підприємства / І.В.Ковальчук. – К.:ВІПОЛ, 2004 – 393с.

7. Наказ Мінфін від 7 лютого 2013 року № 73 «Національне положення (стандарт) бухгалтерського обліку 1 «Загальні вимоги до фінансової звітності»», зареєстрований в Міністерстві юстиції України 28 лютого 2013 року за № 336/22868

8. Фінанси підприємств: Підручник /А.М. Поддєрьогін, М.Д. Білик, Л.Д.Буряк 6-те видання, 2006. – 552 с.

9. Фінансовий менеджмент: підручник / [А.М.Поддєрьогін, Н.Д.Бабяк, М.Д.Білик та ін]; кер.авт. і наук. ред. проф. А.М.Поддєрьогін. – 2-ге вид. перероб. – Київ: КНЕУ, 2017. – 534 с.

REFERENCES

1. Babych L.M. Formuvannia optymalnoi struktury oborotnykh koshtiv // Aktualni problemy ekonomiky, 2001 – № 9-10, S. 12-24.

2. Babych L.M., Pereshch N.P. Upravlinnia debitorskoiu zaborhovanistiu pidpryiemstva v suchasnykh ekonomichnykh umovakh [Elektronnyi resurs] / L.M. Babych, N.P.Pereshch // Pryazovskyi ekonomichnyi visnyk. – 2019. – №3 (14). – S. 129-135, – Rezhym dostupu: http:// pev.kpu.zp.ua/vypusk-3-14

3. Bondarenko O.S. Upravlinnia potochnymy aktyvamy: teoretychni osnovy ta praktychne zastosuvannia // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu, – 2005. – №3. – S.51-56

4. Digital – tekhnolohii oblikovykh i finansovo-analitychnykh protsesiv na transportnykh pidpryiemstvakh. Navch.-metod. posibnyk / Za red.. prof. Bazyliuk A.V., dots. Hoshovskoi V.V. – K.: NTU, 2019.- 263 s.

5. Dobrovolska O. V. Priorytety formuvannia oborotnoho kapitalu pidpryiemstva u nestabilnomu seredovyshchi / O. V. Dobrovolska // Investytsii: praktyka ta dosvid – 2010. – №8 – S. 45–49.

6. Kovalchuk I.V. Realna ekonomika: navchalnyi posibnyk z ekonomiky pidpryiemstva / I.V.Kovalchuk. – K.:VIPOL, 2004 – 393s.

7. Nakaz Minfin vid 7 liutoho 2013 roku № 73 «Natsionalne polozhennia (standart) bukhhalterskoho obliku 1 «Zahalni vymohy do finansovoi zvitnosti»», zareiestrovanyi v Ministerstvi yustytsii Ukrainy 28 liutoho 2013 roku za № 336/22868

8. Finansy pidpryiemstv: Pidruchnyk /A.M. Poddierohin, M.D. Bilyk, L.D.Buriak 6-te vydannia, 2006. – 552 s.

9. Finansovyi menedzhment: pidruchnyk / [A.M.Poddierohin, N.D.Babiak, M.D.Bilyk ta in]; ker.avt. i nauk. red. prof. A.M.Poddierohin. – 2-he vyd. pererob. – Kyiv: KNEU, 2017. – 534 c.

РЕФЕРАТ

Бабич Л.М. Управління оборотними активами на сучасному підприємстві / Л.М.Бабич, В.В.Головатий // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

Стаття присвячена обґрунтуванню науково-теоретичних засад та провідних чинників впливу в системі управління оборотними активами на сучасному підприємстві.

Об’єкт дослідження – процеси формування оборотних активів на підприємстві ДП «Укрaерорух» в контексті вивчення тенденцій щодо посилення заходів в системі управління.

Мета роботи – поглиблення на основі аналізу формування оборотних активів на окремому підприємстві науково-теоретичних засад та розробка пропозицій з управління оборотними активами в сучасних економічних умовах.

Метод дослідження – теоретичне та аналітичне обґрунтування процесів, пов’язаних з управлінням оборотними активами на підприємстві.

Завдання забезпечення стабільності у всіх важливих для підприємства процесах і видах діяльності є неодмінною умовою його ефективного функціонування, визначальна роль в якому належить саме оборотному капіталу, тобто тій частині активів підприємства які створюють необхідну його матеріальну основу. В статті на основі більш поглибленого дослідження базисних науково-теоретичних засад та аналітичних розрахунків щодо руху обсягів оборотних коштів за окремими структурними елементами на підприємстві ДП «Укрaерорух», запропоновано ряд заходів з управління оборотними активами підприємств в сучасних економічних умовах в контексті максимального врахування можливих факторів і пов’язаних з ними ризиків щодо впливу внутрішнього і особливо зовнішнього середовища. Авторами надається власне визначення категорії «оборотні активи»

Результати статті можуть бути використані вітчизняними підприємствами, не залежно від галузі, до якої вони відносяться, в системі поточного фінансового планування і бюджетування та при розробці фінансової стратегії.

Прогнозні припущення щодо розвитку об’єкта дослідження – пошук нових управлінських заходів та запровадження методу оптимізації фінансових рішень, що передбачає реалізацію комплексної моделі грошових розрахунків.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ОБОРОТНІ АКТИВИ, ГРОШОВІ КОШТИ, ДЕБІТОРСЬКА ЗАБОРГОВАНІСТЬ, ОБСЯГИ, ПІДПРИЄМСТВО, СТРУКТУРА, УПРАВЛІННЯ, ЧИННИКИ ВПЛИВУ, ФІНАНСОВЕ ПЛАНУВАННЯ, БЮДЖЕТУВАННЯ.

ABSTRACT

Babich L.M., Holovatyi V.V.Current assets management at a modern enterprise. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The article is devoted to the substantiation of the scientific and theoretical foundations and factors of influence in the management system of current assets at a modern enterprise.

The object of the research is the processes of formation of circulating assets at the enterprise of the State Enterprise «Ukraerorukh» in the context of the study of tendencies to strengthen measures in the management system.

The purpose of the work is to deepen, based on the analysis of the formation of circulating assets at a separate enterprise, the scientific and theoretical foundations and the development of proposals for the management of circulating assets in modern economic conditions.

Research method – theoretical and analytical substantiation of the processes associated with the management of current assets at the enterprise.

The task of ensuring stability in all processes and activities that are important at the enterprise is an indispensable condition for its effective functioning, in which the working capital plays a decisive role, that is, that part of the enterprise's assets that create its necessary material basis. In the article, based on a more in-depth study of the basic scientific and theoretical foundations and analytical calculations on the movement of circulating assets for individual structural elements at the enterprise of the State Enterprise " Ukraerorukh ", a number of measures are proposed to manage the circulating assets of enterprises in modern economic conditions in the context of maximum consideration of possible factors and associated risks due to the influence of the internal and especially the external environment. The authors provide their own definition of the category "current assets"

The results of the article can be used by domestic enterprises, regardless of the industry to which they belong, in the system of current financial planning and budgeting and in developing financial strategy.

Forecast assumptions about the development of the object of study - the search for new management measures and the introduction of a method of optimizing financial decisions, which involves the implementation of a comprehensive model of cash settlements.

KEY WORDS: CURRENT ASSETS, CASH, RECEIVABLES, VOLUMES, ENTERPRISE, STRUCTURE, MANAGEMENT, FINANCIAL PLANNING, BUDGETING.

АВТОРИ:

Бабич Людмила Миколаївна, кандидат економічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри фінансів, обліку і аудиту, e-mail: babich_ludmila@ukr.net, тел. +380972727535, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 424, orcid.org/0000-0003-1602-929X.

Головатий Вадим Володимирович, Національний транспортний університет, студент групи ФТ-IV-1 факультету менеджменту, логістику та туризму, e-mail: golovatijvadim@gmail.com, тел. +380971059921, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, orcid.org/0000-0001-9255-0736.

AUTHORS:

Babich Ludmila M., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of Finance, Accounting and Audit, e-mail: babich_ludmila@ukr.net, tel. +380972727535, Ukraine, 01010, Kyiv, str. Omelyanovich-Pavlenka, 1, room 424, orcid.org/0000-0003-1602-929X.

Holovatyi Vadym V., National Transport University, student of the FT-IV-1 group of the Faculty of Management, Logistics and Tourism, e-mail: golovatijvadim@gmail.com, тел. +380971059921, Ukraine, 01010, Kyiv, str. Omelyanovich-Pavlenka, 1, orcid.org/0000-0001-9255-0736.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Базилюк А.В., доктор економічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри фінансів, обліку і аудиту, Київ, Україна.

Бондаренко Є.В., доктор економічних наук, професор, ЗАТ «УКРАКАДЕМІНВЕСТБУД», директор, Київ, Україна.

REVIEWER:

Bazilyuk A.V., Ph.D., Economics (Dr.), Professor, National Transport University, Professor of Department of Finances, Account and Audit, Kyiv, Ukraine.

Bondarenko E.V., Ph.D., Economics (Dr.), Professor, CJSC «UKRAKADEMINVESTBUD», director, Kyiv, Ukraine.

УДК 502.3 DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-020-027
UDC 502.3

УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ МЕГАПОЛІСУ

Бакуліч О.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, bakulich.elena@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5700-0576
Гребельник М.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна, niknik0229@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8385-8261
Самойленко Є.С., Національний транспортний університет, Київ, Україна, sirius27@ukr.net, orcid.org/0000-0001-8352-2282

ENVIRONMENTAL SECURITY MANAGEMENT OF THE MEGAPOLIS

Bakulich O.O., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, bakulich.elena@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5700-0576
Grebelnik M.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine, niknik0229@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8385-8261
Samoylenko E.S., National Transport University, Kyiv, Ukraine, sirius27@ukr.net, orcid.org/0000-0001-8352-2282

Постановка проблеми. Екологічна безпека є одним з основних критеріїв, що визначає рівень національної безпеки міста та якість умов проживання у ньому. На сьогоднішній день, поряд з очевидними перевагами проживання в мегаполісах, такими як: високий рівень надання різноманітних послуг, ефективність засобів комунікації, наявність більш сучасних побутових умов, можливість для більш різноманітної трудової діяльності та навчання, спостерігається цілий спектр екологічних проблем, зокрема пов'язаних із забрудненням атмосферного повітря. Основним антропогенним джерелом забруднення атмосфери є автомобільний транспорт. В багатьох містах України викиди автотранспорту становлять від 60 до 90% загальної кількості викидів. [1, с.63] Особливість забруднення повітря транспортними потоками полягає в тому, що вони являються динамічними, стохастичними, приземними джерелами забруднення, що функціонують в безпосередній близькості до помешкання людей. Це призводить до того, що транспортні потоки створюють в містах поля забруднення, в межах яких, концентрація забруднюючих речовин значно перевищує гранично допустимі значення. Для дослідження такого роду полів використовують натурні дослідження та математичне моделювання, що дозволяє будувати поля забруднення та відображати їх просторово-часову динаміку. [2]

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для визначення рівня забруднення атмосфери міст виділяють такі класи моделей: моделі розсіювання для окремих автомагістралей, моделі розсіювання у міських вуличних каньонах, статистичні моделі прогнозу концентрації. Серед цих моделей найбільш відомими є: California Line Sours Dispersion Model (CALINE-4) та Danish Operational Street Pollution Model (OSPM), які засновані на апріорній параметризації умов перенесення та розсіювання забруднюючих речовин.

Модель OSPM призначена для оцінки концентрації забруднюючих речовин від транспортних потоків у вуличних каньонах та врахувує метеорологічні умови, геометричні характеристики вуличних каньонів: різну конфігурацію вулиць, ширину, висоту, щільність забудов, також в моделі враховується механічна турбулентність, створена рухом транспортних засобів. Основним недоліком OSPM є неможливість врахування деформації вітрового потоку в залежності від конфігурації забудов. [3,4]

Метою роботи є моделювання рівня забруднення вулично-дорожньої мережі (ВДМ) міста Києва та оцінка його екологічного стану.

Результати дослідження. При моделюванні рівня забруднення атмосфери міст структура міської території не може розглядатися як однорідний об'єкт. Найбільші рівні забруднення спостерігаються у вуличних каньонах, де розсіювання забруднюючих речовин від транспортних потоків значно обмежено будівлями вздовж вулиць [5]. У зв'язку з цим ВДМ Печерського району м. Києва представлена множиною елементарних вуличних каньонів – ділянок з забудовами уздовж проїзної частини вулиці між найближчими перехрестями, для яких емпірично були встановлені просторово-геометричні характеристики. У вуличному каньйоні виділяють навітряну сторону, для

якої характерний мінімальний рівень забруднення, що обумовлено надходженням чистого повітря; внутрішню частину та підвітряну сторону, для якої спостерігається максимальний рівень забруднення [6].

Величина концентрації забруднюючих речовин у вуличних каньонах від транспортних потоків визначалася на основі методології Operational Street Pollution Model. Модель заснована на гаусівському типу розсіювання забруднюючих речовин в поєднанні з характеристиками ВДМ міст. Вона використовує спрощену параметризацію умов розсіювання полютантів. В OSPM передбачається, що транспортний потік і викиди від нього рівномірно розподілені по каньйону. Поле джерел забруднення розглядається як ряд нескінченно малих лінійних джерел, розташованих перпендикулярно напрямку вітру на рівні вулиці, шириною dx. Розсіювання за допомогою молекулярної дифузії нехтується. Згідно даної моделі концентрація забруднюючих речовин визначається в межах вуличного каньону і дорівнює сумі концентрації прямого розсіювання полютантів (C_d), концентрації спричиненою рециркуляцією повітря у вуличному каньоні (C_r) та міською фоновою концентрацією (C_o).

$$C = C_d + C_r + C_o \tag{1}$$

Концентрація прямого розсіювання забруднюючих речовин від транспортного потоку дорівнює:

$$C_d = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int \frac{Q dx}{U_s W \sigma_z(x)} \tag{2}$$

Q – інтенсивність викидів забруднюючих речовин від “ефективного” транспортного потоку, мг/м*с;

U_s – швидкість вітру на рівні вулиці, м/с;

W – ширина вуличного каньону, м;

$\sigma_z(x)$ – параметр вертикальної дисперсії на відстані x від джерела викиду;

Швидкість вітру на рівні вулиці (U_s) визначається, припускаючи логарифмічне зменшення швидкості вітру від середньої висоти даху будівель до землі вулиці. Швидкість вітру на рівні вулиці визначається наступним чином:

$$U_s = U_r \frac{\ln(h_0/z_0)}{\ln(H/z_0)} (1 - 0.2p \sin\varphi) \tag{3}$$

де U_r – швидкість вітру на рівні даху, м/с;

z_0 – ефективний розмір нерівності, м, z_0=0,6;

h_0 – початкова висота розсіювання, м, h_0=2;

H – середня висота забудов вуличного каньону (з навітряної та підвітряної сторони каньону), м;

p – відношення висоти забудов з підвітряної сторони до середньої висоти забудов вуличного каньону;

φ – кут напряку вітру на рівні даху по відношенню до осі вулиці, рад;

Параметр вертикальної дисперсії (σ_z) моделюється, з огляду на те, що вертикальне розсіювання регулюється виключно механічною турбулентністю, яка виникає внаслідок вітру та руху транспортного потоку. Турбулентність, створена термічною стратифікацію – нехтується, оскільки вона, зазвичай, невелика на рівні вулиці.

Зона рециркуляції характеризується надходженням забруднюючих речовин з іншої частини вуличного каньону та визначається довжиною турбулентного вихору, геометричними показниками каньону. Концентрація від рециркуляції забруднюючих речовин в межах вуличного каньону визначається наступним чином:

$$C_r = \frac{Q \cdot l_r}{W \cdot (\omega_t \cdot l_t + \omega_s \cdot l_s)} \tag{4}$$

де l_r, l_t, l_s – геометричні характеристики зони рециркуляції;

ω_t, ω_s – швидкість розсіювання забруднюючих речовин відповідно через верхню та бокову частину вуличного каньону, м/с. [4]

На основі даної моделі виконана оцінка рівня забруднення атмосферного повітря вуличних каньонів Печерського району м. Києва. Оцінка проводилася з врахуванням добової динаміки інтенсивності транспортних потоків. [7] Основними забруднюючими речовинами, що містяться у відпрацьованих газах автомобілів є оксид вуглецю (CO), оксиди азоту (NO_x), вуглеводні (C_nH_m), оксид сірки (SO_2), вуглець (C) та інші. Для кожної речовини, що забруднюють повітря встановлені нормативні гранично допустимі значення концентрації (ГДК). Виділяють максимально-разові, середньодобові та ГДК у робочій зоні. Основною характеристикою небезпеки шкідливої речовини є максимальна разова ГДК. Вона встановлюється з метою попередження рефлекторних реакцій людини при короткочасній дії (до 20 хв.) полютантів.

На рис. 1 побудовано добовий хід концентрації основних забруднюючих речовин, а саме оксиду вуглецю, вуглеводнів та оксидів азоту в одному з найтиповіших вуличних каньонів (вул. І.Мазепи) Печерського району. Швидкість вітру на рівні даху прийнята 5 м/с.

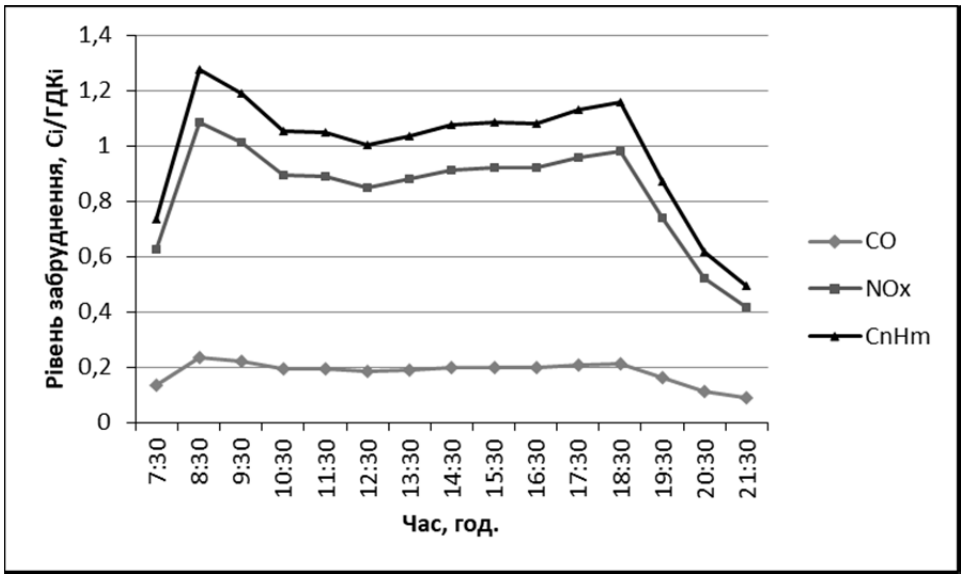


Рисунок 1 – Динаміка рівня забруднення атмосфери основними шкідливими речовинами при швидкості вітру 5 м/с (вул. І. Мазепи)
Figure 1 – Dynamics of the air pollution level by the main harmful substances at a wind speed of 5 m/s (I. Mazepa Street)

Найвищий рівень забруднення спостерігається для оксидів азоту та вуглеводнів, особливо в ранкові та вечірні періоди. Саме у ці періоди з найбільшою інтенсивністю руху концентрації забруднюючих речовин перевищують гранично допустимі значення.

На рис. 2,3 визначено рівень забруднення вуличного каньону в залежності від швидкості вітру на рівні даху та інтенсивностями руху транспортного потоку. Так, при швидкості вітру 5 м/с концентрація оксидів азоту перевищить гранично допустимі значення якщо інтенсивність руху буде вищою ніж 0,5 авт/с; при швидкості вітру 1 м/с для перевищення концентрації оксидів азоту достатньо інтенсивності 0,2 авт/с.

Оскільки вектор швидкості вітру є випадкова величина, а його зміна з плином часу – це випадковий процес, то при визначенні концентрації забруднюючих речовин використання відповідних середніх значень призводить до істотних похибок. Тому прогноз рівня забруднення можна робити лише з певною точністю. Для визначення точності проведення розрахунків використовувалася інтервальна оцінка вектору швидкості вітру за *t*- критерієм. Із заданою надійністю (0,95) були встановлені довірчі інтервали для швидкості та напрямку вітру з різним часовими періодами осереднення та на основі інтервальних оцінок визначені відносні похибки відповідних величин (табл.1) [8].

Таким чином, з надійністю 95% визначені інтервальні межі забрудення атмосферного повітря вуличних каньонів з врахуванням мінливості метеорологічних величин. На рис. 4,5 зображено динаміку інтервального рівня забруднення основними шкідливими речовинами з періодом осереднення швидкості та напрямку вітру – 1 година.

На рис. 6 визначена інтервальна оцінка середньодобового рівня забруднення повітря вуличного каньону при різних швидкостях вітру з часом осереднення метеорологічних величин – 1

доба. Наприклад, при швидкості вітру 1 м/с рівень забруднення оксидами азоту сягає близько 1,4 ГДК, а з врахуванням мінливості швидкості і напрямку вітру максимальне значення забруднення може сягати 1,8 ГДК.

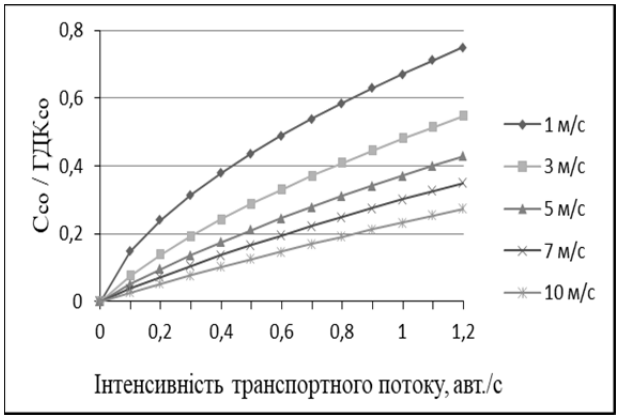


Рисунок 2 – Рівень забруднення атмосфери оксидом вуглецю для різних швидкостей вітру (вул. І. Мазепи)
Figure 2 – The level of atmospheric pollution with carbon monoxide for different wind speeds (I. Mazepa Street)

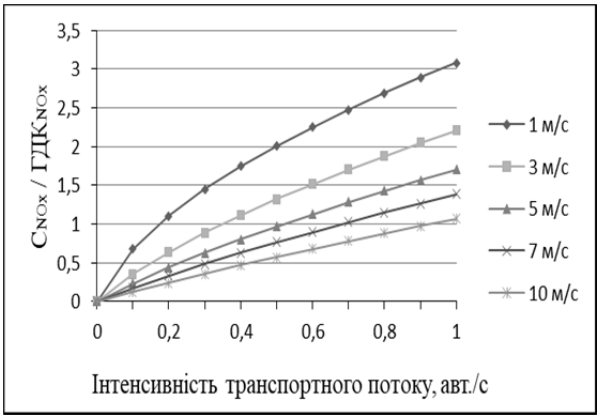


Рисунок 3 – Рівень забруднення атмосфери оксидами азоту для різних швидкостей вітру (вул. І. Мазепи)
Figure 3 – The level of air pollution by nitrogen oxides for different wind speeds (I. Mazepa Street)

Таблиця 1 – Відносні похибки при визначенні напрямку та швидкості вітру з різним часовим осередненням

Table 1 – Relative errors in determining the direction and speed of the wind with different time averaging

Час осереднення (τ)	Відносна похибка швидкості вітру, %	Відносна похибка напрямку вітру, %
Місяць	94,6	84,9
Доба	71,8	36,2
6 годин	54,7	29,6
3 години	46,9	24,9
1 година	33,7	15,8
30 хвилин	29,5	14,1

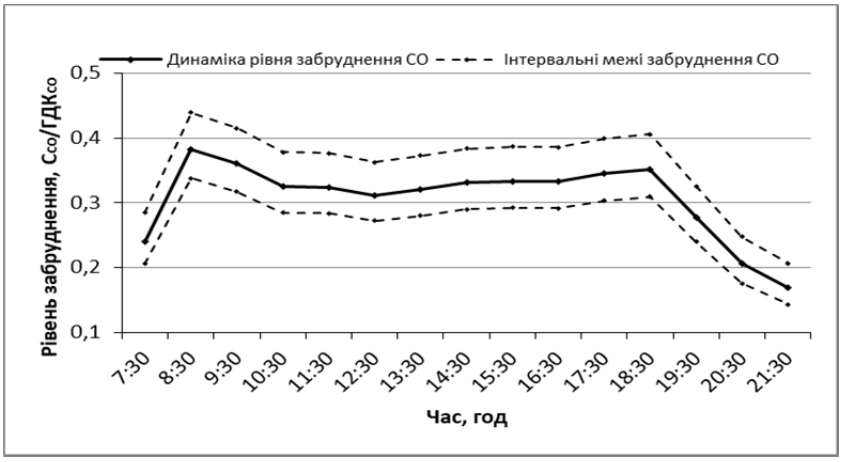


Рисунок 4 – Інтервальна оцінка динаміки рівня забруднення атмосфери CO при швидкості вітру 2 м/с (вул. І. Мазепи)
Figure 4 – Interval assessment of the dynamics of the atmospheric pollution level by carbon monoxide at a wind speed of 2 m/s (I. Mazepa Street)

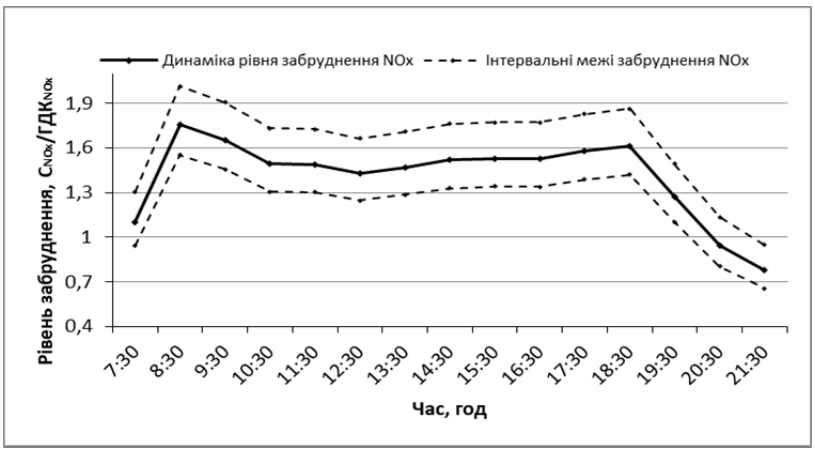


Рисунок 5 – Інтервальна оцінка динаміки рівня забруднення атмосфери NO_x при швидкості вітру 2 м/с (вул. І. Мазепи)
Figure 5 – Interval assessment of the dynamics of the atmospheric pollution level by NO_x at a wind speed of 2 m/s (I. Mazepa Street)

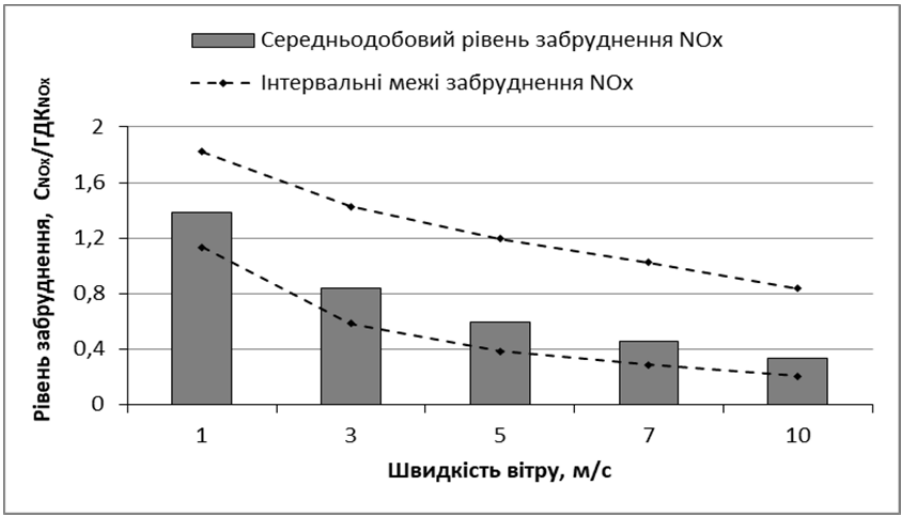


Рисунок 6 – Інтервальна оцінка середньодобового рівня забруднення атмосфери NO_x при різних швидкостях вітру (вул. І. Мазепи)
Figure 6 – Interval estimation of the average daily level of atmospheric pollution by nitrogen oxides at different wind speeds (I. Mazepa Street)

Отже, за допомогою отриманих результатів можна робити оперативні прогнози стану забруднення атмосфери міст та попереджати ситуації при яких концентрація забруднюючих речовин перевищує гранично допустимі значення. В подальшому це дозволить своєчасно проводити природоохоронні заходи по зниженню рівня забруднення.

Висновок. Проаналізовано основні підходи щодо моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері від автомобільного транспорту, найбільш поширеною та універсальною з яких є Operational Street Pollution Model. На її основі визначена добова динаміка рівня забруднення атмосферного повітря вуличних каньонів Печерського району м. Києва основними шкідливими речовинами, що містяться у відпрацьованих газах автомобілів. Враховуючи мінливість метеорологічних величин та похибки, які виникають внаслідок їх усереднення, проведена інтервальна оцінка рівня забруднення вуличних каньонів. Результати проведених досліджень дозволять оперативно прогнозувати рівень забруднення атмосферного повітря міста та своєчасно здійснювати необхідні природоохоронні заходи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А.Г., Корпач А.О., Мержиєвська Л.П. Екологія та автомобільний транспорт: Навчальний посібник. – К.: Арістей, 2006. – 292с.

2. Абрамовський Є.Р., Карплюк В.І., Переметчик М.М. Атмосфера великих міст.Вид.2-е, доповнене і виправлене – Дн-ськ.: Наука і освіта, 2011. – 350 с.

3. O. Hertel, R. Berkowicz, Modelling pollution from traffic in a street canyon – evaluation of data and model development. Report A-129 1989 (Ministry of the Environment, National Environmental Research Institute: Roskilde, Denmark).

4. R. Berkowicz, M. Ketzel, S. S. Jensen, M. Hvidberg, O. Raaschou-Nielsen, Evaluation and application of OSPM for traffic pollution assessment for a large number of street locations. Environ. Model. Softw. 2008, 23, 296. doi:10.1016/J.ENVSOFT.2007.04.007

5. Тасейко О.В. Моделирование пространственного распределения загрязнителей от автотранспорта в условиях городской застройки / О.В. Тасейко, С.В. Михайлюта // География и природные ресурсы. – 2004. – Специальный выпуск. С. 180-185.

6. Бакуліч О.О., Олійник Р.В., Самойленко Є.С. Потенційна екологічна небезпека вуличних каньйонів міста. Вісник Національного транспортного університету. – К.:НТУ, 2015. – Вип. (1) 31. URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk /31_1_tech_2015/018-026.pdf

7. Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Динаміка рівня забруднення урбанізованих територій. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. 2021. Випуск 1 (48). С. 12-19. URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/48/012-019.pdf

8. Бакуліч О.О., Самойленко Є.С. Точність оцінки при розрахунку концентрації забруднюючих речовин у вуличному каньйоні. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. 2017. Випуск№1(36). С.13-20. URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/37/013.pdf

REFERENCES

1. Gutarevich Yu. F., Zerkalov D. V., Govorun A. G., Korpach A. A., Merzhyevska L.P. (2006) *Ekologhija ta avtomobiljnyj transport* [Ecology and road transport: Manual]. – K.: Aristey, 292p. (ukr)

2. Abramovs'kij Є.R., Karplyuk V.I., Peremetchik M.M. *Atmosfera velikih mist* [Atmosphere of big cities]. Dn-sk.: Science and Education, 2011. – 350 p.

3. O. Hertel, R. Berkowicz, Modelling pollution from traffic in a street canyon – evaluation of data and model development. Report A-129 1989 (Ministry of the Environment, National Environmental Research Institute: Roskilde, Denmark). (eng)

4. R. Berkowicz, M. Ketzel, S. S. Jensen, M. Hvidberg, O. Raaschou-Nielsen, Evaluation and application of OSPM for traffic pollution assessment for a large number of street locations. Environ. Model. Softw. 2008, 23, 296. doi:10.1016/J.ENVSOFT.2007.04.007 (eng)

5. Taseyko O.V., Mykhayliuta S.V. *Modelirovaniye prostranstvennogo raspredeleniya zagryazniteley ot avtotransporta v usloviyakh gorodskoy zastroyki* [Modeling the spatial distribution of pollutants from motor vehicles in urban conditions]. Geography and natural resources, 2004, special issue, pp. 180-185. (rus)

6. Bakulich O.O., Oliynyk R.V., Samoylenko E.S. *Potentsiyna ekologichna nebezpeka vulychnykh kanyoniv mista* [Potential environmental hazards of street canyons]. Visnyk National Transport University – Kyiv, National Transport University Publ. 2014. – Vol. 31. URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk /31_1_tech_2015/018-026.pdf (ukr)

7. Bakulich O.O., Samoylenko E.S. (2021) *Dynamika rivnja zabrudnennja urbanizovanykh terytorij* [Dynamics of pollution level of urbanized territories]. Visnyk National Transport University. – Kyiv, National Transport University – Vol. 1 (48). URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/48/012-019.pdf (ukr)

8. Bakulich O.O., Samoylenko E.S. (2017) *Tochnist' ocinki pri rozrahunku koncentracii zabrudnyuyuchih rechovin u vulichnomu kan'joni* [Accurate assessment in calculating the concentration of pollutants in street canyons]. Visnyk National Transport University. – Kyiv, National Transport University – Vol. 1 (36). URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/37/013.pdf (ukr)

РЕФЕРАТ

Бакуліч О.О. Управління екологічною безпекою мегаполісу / О.О. Бакуліч, М.М. Гребельник, Є.С. Самойленко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

Стаття присвячена дослідженню рівня забруднення атмосферного повітря вуличних каньйонах м. Києва та визначенні умов при яких концентрація забруднюючих речовин буде перевищувати гранично допустимі значення. На сьогоднішній день у містах спостерігається цілий спектр екологічних проблем, зокрема пов'язаних із забрудненням атмосферного повітря. При визначені рівня концентрації використовують натурні дослідження та математичне моделювання, що дозволяє будувати поля забруднення та відображати їх просторово-часову динаміку.

Об'єкт дослідження – рівень забруднення вуличних каньонів міст та їх оцінка.

Мета роботи – моделювання рівня забруднення вулично-дорожньої мережі (ВДМ) міста Києва та оцінка його екологічного стану.

Методи дослідження – статистичні методи, математичне моделювання.

Проаналізовано основні підходи щодо моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері від автомобільного транспорту. Моделювання рівень забруднення атмосфери міст доцільно проводити в однорідних структурах міської території – вуличних каньонах. У статті визначена добова динаміка рівня забруднення атмосферного повітря вуличних каньонів Печерського району м. Києва та встановлені критичні значення інтенсивності транспортного потоку при яких концентрація забруднюючих речовин перевищує гранично допустимі значення. Проведена інтервальна оцінка рівня забруднення вулиць міст з урахуванням мінливості метеорологічних величин.

Таким чином, отримані результати дозволять оперативно прогнозувати рівень забруднення атмосферного повітря міста та своєчасно здійснювати необхідні природоохоронні заходи.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЯ МЕРЕЖА, ТРАНСПОРТНІ ПОТОКИ, ВУЛИЧНИЙ КАНЬЙОН, РІВЕНЬ ЗАБРУДНЕННЯ, ГРАНИЧНО ДОПУСТИМА КОНЦЕНТРАЦІЯ.

ABSTRACT

Bakulich O.O., Grebelnyk M.M., Samoylenko E.S., Dynamics of pollution level of urbanized territories. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The article is devoted to the study of the level of air pollution in the street canyons of Kyiv and to determine the conditions under which the concentration of pollutants will exceed the maximum allowable values. Today, cities face a range of environmental problems, including air pollution. When determining the level of concentration using field research and mathematical modeling, which allows you to build fields of pollution and reflect their spatio-temporal dynamics.

The object of research is the pollution level of city street canyons and their assessment.

The purpose of the work is to model the level of pollution of the street and road network of Kyiv and to assess its ecological condition.

Research methods – statistical methods, mathematical modeling.

The main approaches to modeling the dispersion of pollutants in the atmosphere from road transport are analyzed. Modeling the level of air pollution in cities is advisable to carry out in homogeneous structures of the urban area – street canyons. The article defines the daily dynamics of the level of atmospheric air pollution in the street canyons of the Pechersky district of Kiev and establishes the critical values of the traffic flow intensity at which the concentration of pollutants exceeds the maximum permissible values. An interval assessment of the level of pollution of city streets is carried out, taking into account the variability of meteorological values.

Thus, the obtained results will allow to quickly forecast the level of air pollution in the city and timely implement the necessary environmental measures.

KEY WORDS: ENVIRONMENTAL SAFETY, STREET ROAD NETWORK, TRANSPORT FLOWS, STREET CANYON, POLLUTION LEVEL, MAXIMUM PERMISSIBLE CONCENTRATION.

АВТОРИ:

Бакуліч О.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, декан факультету менеджменту, логістики та туризму, e-mail: bakulich.elena@gmail.com, тел. +380937451421, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омельновича-Павленко 1, к.245.

Гребельник М.М. Національний транспортний університет, старший викладач кафедри менеджменту, e-mail: niknik0229@gmail.com, тел.+380976572803, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к.242.

Самойленко Є.С., Національний транспортний університет, асистент кафедри менеджменту, e-mail: sirius27@ukr.net, тел. +380988088008, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к.242.

AUTHOR:

Bakulich O.O. Ph.D., (engineering), National Transport University, Dean of the Faculty of Management, logistics and tourism, e-mail: bakulich.elena@gmail.com, tel. +380937451421, Ukraine, 01010 Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str. 1, k.245.

Grebelnik N.N., National Transport University, Senior Lecturer, Department of Management, e-mail: niknik0229@gmail.com, tel. +380976572803, Ukraine, 01010, Kiev, Omelyanovicha-Pavlenko str. 1, k.242.

Samoylenko E.S., postgraduate, National Transport University, assistant department of management, e-mail: sirius27@ukr.net, tel. +380988088008, Ukraine, 01010 Kyiv, M. Omelyanovich-Pavlenko str.1, k.242.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Голубкова І.А., доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри економічної теорії та підприємництва на морському транспорті, Навчально-науковий інститут морського права та менеджменту Національного університету «Одеська морська академія», Одеса, Україна.

Хрутьба В.О., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Національний транспортний університет, Київ, Україна.

REVIEWER:

Golubkova I.A., Ph.D, Economics (Dr.), Professor, Head of the Department of Economic Theory and Entrepreneurship in Maritime Transport, Educational and Scientific Institute of Maritime Law and Management of the National University "Odessa Maritime Academy", Odessa, Ukraine.

Khrutba V.O., Ph.D, Engineering (Dr.), Professor, Head of the Department of Ecology and Life Safety, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

УДК 681.3:004.9 DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-028-037
UDC 681.3:004.9

АКСІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ НАУКОВО-МЕТОДИЧНОГО АПАРАТУ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ ЗАСОБІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

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

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

Пароxненко Л.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна, lmpar@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4063-0619

Войденко О.К., Національний транспортний університет, Київ, Україна, mrjerichoo@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0818-6172

AXIOLOGICAL FUNDAMENTALS OF SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPARATUS FOR INFORMATION AND CONTROL MEANS OF INTELLECTUAL VEHICLES

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

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

Parohnenko L.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine, lmpar@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4063-0619

Voydenko O.K., National Transport University, Kiev, Ukraine, mrjerichoo@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0818-6172

Постановка проблеми.

Актуальним є визначення аксіологічних основ парадигмального поняття [1-3] «науково-методологічний апарат для інноваційних інтелектуальних транспортних систем [4], що функціонують у природному єдиному просторово-часовому континуумі. Для цього потрібно формалізувати процедурні правила подальшого розвитку науки, техніки, технологій та інформаційно-керуючих засобів реалізації нових функцій за сучасних та майбутніх потреб суспільного транспорту [3]. Зробити та надати обґрунтування умов подолання ризиків та невизначеності різноманіття факторів впливу оточуючого визначального природного середовища (ВПС) на майбутні реальні об'єкти, що створюють за замовленнями інтелектуальних транспортних систем (ІТС).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасний етап цифровізації інформаційних технологій (ЦІТ) на всіх рівнях ієрархічної архітектури мереж Internet за стандартами ISO набуває глобальних масштабів. Це обумовлює створення засобів роботизації у всіх сферах різноманіття суспільного життя [2-5]. Результати попередніх історичних етапів (механізація, автоматизація, електрифікація, інформатизація) управління рухомими об'єктами сформували на принципах глобалізації нові процедурні галузі. Поліергатичні виробничі організації (ПЕВО) разом з українськими установами визначили стратегічні відношення стосовно розподілу праці та різноманітних функцій для забезпечення нової якості бажаних результатів (послуг взаємодії, інноваційних матеріальних продуктів, розширення номенклатури товарів у ринкових умовах) [6-7]. Еволюція розвитку проблем транспортування з початкової точки природного техногенного комплексу (ПТК) до віддаленої іншої точки ПТК $j, \forall(i \neq j) \in N$ сприяла розвитку кожної галузі ІТС. Зараз інформаційно-комунікаційні засоби (ІКЗ), набувають поширення (ІКЗ $\in$ ЦІТ), тому що, вже існують такі сфери ВПС, як: космонавтика; авіація; наземний та підземний, водний та підводний транспорт; спецпризначення для будь-яких мирних чи військових практик суспільних відношень з мобільними рухомими об'єктами.

Значний внесок у розвиток теоретичного і методологічного базису, що сприяв прогресу формування сучасних ІТС за замовленнями ПЕВО, внесли відомі закордонні та вітчизняні вчені,

проектанти, конструктори, інженери [3-6]. Попередня наукова парадигма досліджень ВПС більш була [3-6] спрямована на окремі актуальні об'єкти динамічного управління, наприклад, для ІКЗ у межах глобальних галузей ІТС [4-8]. Досвід тривалої практики функціонування конкретних об'єктів складних динамічних систем (СДС) доводить, що зараз потрібна нова парадигма [2]. Унікальним ПТК відповідно до сутності під впливом поточних гетерогенних факторів ВПС з потребами, вимогами та ресурсними обмеженнями кожної ПЕВО [5-7] та в цілому ІТС для подальшого завчасного розвитку додатково потрібно гарантувати адаптивне управління (ГАУ) вже глобалізованих рухомих об'єктів. За таких умов доцільно забезпечувати індивідуальну, локальну разом з глобальною суспільною ефективністю функціонування в цілому ноосфери (термін В.І. Вернадського) планетарного масштабу [6-8]. Вище зазначене свідчить про актуальність формалізації аксіологічних основ цінності науково-методичного апарату (НМА) для ІКЗ ІТС. Новітня парадигма [2] повинна забезпечувати підвищення ефективності майбутнього модифікованого, модернізованого, реформованого глобального транспорту в цілому. Для реалізації кожним рухомим об'єктом цільових завдань згідно маршрутних перевезень та графіків кожного рейсу потрібні інноваційні рішення, що узгоджені ПЕВО, за умов відсутності форс-мажорних обставин та ризиків множинних факторів ВПС. Тоді засобами НМА й ГАУ можливо гарантувати всім учасникам прибутковість оперативного інтегрованого управління у ринкових умовах без колізій, руйнувань, катастроф.

Обґрунтування проблеми. Глобалізація розподілу різноманітних функцій ІТС у межах ноосфери планети Земля за прогнозними інноваційними програмами [1,2] суттєво змінює наукові парадигми стосовно їх цінностей чи аспектів життя: твердих тіл, біорізноманіття, людини, цивілізованого й цифровізованого суспільства [5-8].

Останні роки XXI століття підкреслюють, що головні цілі науки вже не пошук локальної (оптимальної) істини пізнання на благо людства. Увага більше призначена раціональним глобальним проблемам: можливих катастроф; безпеки екології; клімату; економіки; ризикам загибелі планети; потребам космічного переселення; створення інноваційних матеріалів, машин, ПТК [3-6]. Нова сучасна характеризація науки визначає потреби подальшого розвитку ІКЗ СДС за правилами аксіології та парадигми [1,2].

Парадигмальна наука – це організація накопичування нових знань, підвищення та поглиблення обізнаності, наприклад, інституційних установ НАН України, стосовно реальних об'єктів, процесної динаміки, явищ у цілісній системі. Новий термін лише характеризує, що у кожній системі (майже поки ще незвичайний об'єкт дослідження) поняття з'єднані одним загальним принципом, який названо парадигма: структура, функція, організація, технологія, управління. Відповідно для ІТС подолання ускладнень дослідження майбутніх складних динамічних систем (СДС) [9] праця окремих вчених чи інтелектуальних агентів системи (ІАС) поєднана сучасними ІКЗ у відповідних ПЕВО. Поняття парадигми першим застосував Т. Кун [1] та характеризував 28 визначень для розуміння сутності науки й механізмів її функціонування. Парадигма ІТС доцільна для розвитку інтелектуалізації суспільства засобами глобального поширення інтернет. Різні галузі людської діяльності змінюють потреби, вимоги, завдання до ІТС завдяки ІКЗ та персональних програмно-апаратних комплексів (ПАК) для індивідуальних ІАС [4,5,9].

Мета та задачі дослідження. Визначити сутність, особливість та специфіку робочих понять «алгебраїчна система» та «науково-методологічний апарат». Надати формальні засоби для розв'язання актуальних проблем ІКЗ за потреб інноваційного створення, побудови та експлуатації за замовленнями майбутніх ІКЗ ПТК ПЕВО. Обґрунтувати за рахунок чого нова парадигма науки, як науково-методичний апарат, забезпечує отримання нових інноваційних результатів теоретичного рівня розвитку наукової спеціалізації ІТС. Означити чому запропонована концепція відповідає багатокритеріальним цілям. Окреслити цінності дослідження стосовно практичної значущості отриманих перспективних результатів наукового (парадигмального [2]) за сучасними пріоритетами: конкурентна перевага; ресурсоефективність; гарантована живучість. У єдиному просторово-часовому континуумі (ПЧК) [4,5] для поки ще повністю не визначених й тому значно ризикованих проектів, ціннісні вимоги є першочерговими до: функціональної стійкості, безпеки життя, надійності, економіки функціонування цілісної відповідної системи. Наприклад, для ПТК (інфраструктурних споруд, машин, механізмів технічних й технологічних засобів ІКЗ [2, 4-10]) обов'язковими є вимоги до ІКЗ нового рівня при нових умовах конкурентного існування ІТС.

Об'єкт дослідження – процеси інтелектуальних визначень та керованих обчислень для безпечних траєкторій рухомих об'єктів ІТС із застосуванням наукових засобів та ресурсів, досвіду знань запобігання зіткнень, контактів, аварійно-катастрофічних явищ у поточній зоні ПТК сучасності та актуального майбутнього.

Предмет дослідження – моделі, методи та інструментальні засоби інноваційної системи моделювання ІТС для ергатичного обґрунтування техніко-економічних показників цінності рівня ресурсоефективності транспортних засобів в умовах невизначеності, ризиків, загроз, збурень, завад прогнозованого майбутнього з керованими інтелектуальними інформаційними технологіями.

Методи досліджень аксіологічні основи науки; системний аналіз та синтез; математично-аналітичне моделювання; теорія подібності, розмірності, символьного кодування; методи ймовірності та статистики, інтегральних та диференціальних перетворень; надійності та функціональної стійкості складних динамічних систем.

Основні результати дослідження. Широко відомі засоби сучасного комп'ютерного моделювання майбутніх СДС, що реагують й змінюють визначальні параметри ІКЗ, а також адаптуються до реальних впливів гетерогенних факторів ВПС. Науковий опис звичайно застосовує принципи: лінгвістики мов; логіки; теорій пізнання, цінностей, оцінювання, вимірювання, синергетики [9-17]. Методи синтезу використовують наукові засоби: аналізу, декомпозиції, класифікації; інтеграції множини часток й компонент; симбіозові гібридизації автономних тіл у системо-технічних комплексах, включаючи глобальні ПТК. Засоби математики [9-15] необхідні для забезпечення в ІКЗ існування показників: точності, однозначності результатів, достовірності формальних висновків й тверджень, прискорення процесів інтеграції від простого до дуже складного рівня, розуміння сутності, особливості та специфіки для прийняття остаточних ТТР за участю ІАС декількох ПЕВО й НАН України. За правилами сучасної парадигми [2] в наукових збірниках України та у міжнародних публікаціях [3,4,8] нові наукові досягнення описують завдяки різних розділів математики з використанням математичних енциклопедій, довідників, словників [11-17] тощо.

Стосовно реальних об'єктів ІТС у межах наукового дослідження за потреб ІКЗ та прогнозування динамічних, кінематичних, статистичних й техніко-економічних показників найбільш частіше були використані математичні теорії: алгебри, множин, графів, математичних моделей, логіки, статистики, алгоритмів і програмування тощо. Тому нагадуємо визначення поняття алгебраїчна система у вигляді формального означення [11-17].

$$\mathrm{A} = (\mathrm{M}, \alpha, \mathrm{F}), \tag{1}$$

де M – множина елементів об'єкту математичного дослідження ІТС у ПЧК ВПС,
α – множина логічних (предикативних) правил для доведення істини парадигми,
F – множина операцій та функцій НМА для методів розв'язання чи перетворення, фільтрація, упорядкування вхідних даних ІАС, наприклад у цільові результати.

Згідно формальних означених еквівалентів $y_i = f_i(x_j) \epsilon F, \forall i = \overline{1,n}, \forall (x_j, y_i) \in M$.

У наших дослідженнях парадигма поняття «алгебраїчна система А» у конкретних описах враховує теорію відносності А. Ейнштейна та обмеженості К. Геделя. Шлях пояснення значної степені $(-\infty, +\infty)$ конкретної сфери застосування потрібен для зняття проблем оцінок абстрактності та універсальності. Тому введено описи обмежень та нерівностей без теоретичних можливих парадоксів. Тоді маємо коректну задачну форму уніфікації множини змінної x у відносних одиницях виміру та лише у конструктивно описаному інтервалі:

$$x_{min} \le x \le x_{max}\ , \forall x \epsilon X \epsilon A. \tag{2}$$

Таким чином, будь-який елемент х, наприклад, $x_i = x_1 = x_2$, іноді потребує пояснень. Завдяки індексам можливо однозначно пов'язати символ x_i з кортежом А. Граничні обмеження (додатковий опис пояснень $x_{min} \epsilon x_{inf}$ та $x_{max} \epsilon x_{sup}$) конкретизують шляхом застосування ознак: міжнародної метричної системи, масштабів, розмірності конкретного параметру. Всі додаткові описи робимо за допомогою лінгвістичних правил звичайних та спеціальних мов [12] у даній науковій сфері. Технологія сучасної цифровізації для ПАК та ІКЗ мереж застосовують поняття кортеж, як послідовність, що визначає оригінальну кількість компонентів у конкретних описах ІТС.

Математична предикативна логіка забезпечує початкові умови для переходу між різними ергатичними мовами спілкування. Наприклад, від сфери реальних, оригінальних об'єктів ІТС до області зображень А (1), як формальних алгебраїчних систем. Тоді далі ЦІТ алгоритмічними засобами та застосуванням ПАК розв'язують конкретні задачі ІТС. За допомогою спеціалізованої платформи отримують відповідні результати у математичному уніфікованому вигляді [14-17].

Цей опис засобами ПАК можна у зворотному напряму перетворити у факт повернення в область оригіналів зрозумілої, однозначної інтерпретації. Але сама природна багатозначність базових слів та множинність їх тлумачень (наприклад, Т. Кун «парадигма» - пояснена 28 видами застосування [1]) не означає, що інші дослідники, експерти, представники ІАС ПЕВО однаково інтерпретують цифрову символьну мову [12]. Вузька спеціалізація наукових працівників формують «вузьку» особисту сферу суспільно-групового розуміння без зайвих, деталізованих пояснень за замовчуванням «Ок!». Саме відомий метод «мозкового штурму» у межах групового ретельного обговорення за правилами наукової парадигми [1,2] даної наукової школи забезпечує швидкість покращення якості отриманих лінгвістичних результатів для подальшого розширеного застосування ІКЗ суспільних ІТС.

Декомпозиція $A(M,\alpha,F)$ дозволяє окремо формальним чином за предикативними правилами логіки отримувати якісні моделі $A_{MO}(M,\alpha)$, а також базові, уніфіковані методи $A_{ME}(M,F)$. Ці окремі наукові теоретичні результати мають власні оцінки цінності у науці [2]. Цільове накопичування здійснюють за інформаційними технологіями у відповідних базах знань з відповідною груповою спеціалізацією та описами ефективних застосувань у конкретних типових задачах перспективного зв'язку. Відомі багато платформні бібліотеки підтримують відповідні операційні системи. Наприклад, обчислювальна математична бібліотека Intel Math Kernel Library (Intel MKL) забезпечує для досліджень багатьох потоків застосовувати математичні функції з назвами BLAS, LAPACK, ScaLAPACK, Солвер. Рекомендовано виконувати векторні функції, перетворення Фур'є для розріджених моделей СДС. За потреб можливі зв'язки з пакетами: IntekR Parallel Studio XE; IntelR Cluster Studio XE; Intel C++Composer XE; IntelR Fortran Composer XE та інші.

Адаптація СДС неможлива без відповідно комплексних (ресурсоефективний прогноз безпеки та випробування функціональної стійкості збурених режимів, живучості терміну експлуатації за технологічними циклами виробництва ІКЗ) досліджень з розв'язками складної задачної системи [15].

Для цього потрібна, як доводить практика відповідна наукова парадигма у вигляді спеціального [10,15] науково-методичного апарату (НМА). Слід підкреслити, що створення нових, інноваційних, майбутніх об'єктів обумовлює одночасно й новизну саме на теоретичному рівні. Будь-який об'єкт особливо за теоретичними ознаками розвиненої науки [9] існує, як новий, якщо до цього факту він не був теоретично (формально, символьно, деталізовано) описаний стосовно інновацій: аспектів; матеріалів, елементів, конструктивів, блоків, модулів, комплексів, підсистем ІКЗ. Кожна Авідо (авторська ідея дієвого об'єкта за категорією інновація) захищається окремими документами на авторське право у вигляді: свідоцтва, технологій, патентів щодо реалізацій перспективних ІКЗ.

Елементами новизни об'єкта та Авідо у науковому сенсі є описовий символьний кортеж:

$$H = (S, P, R), \tag{3}$$

де S – нова назва – опис оригінального об'єкта та його унікальний множинний склад з відомих та поки ще невідомих за функціональністю застосування компонентів ІТС;

P – множина опис параметризованих властивостей та показників оцінювання її функціонально визначеної якості ПТК в умовах перспективного ВПС;

R – множина, опис парних (чи множинних) зразків, що характеризують сутність, особливість, специфіку конкретних відношень ІТС у межах реалізації означених у науці процесів.

Чим більше елементарний склад об'єкта, тим значно зростає комбінаторна оцінка [12, 13] простого перебору (опис моделі, наприклад, k=100n). Можливі варіації потрібних складових

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!} = \frac{n(n-1)(n-2)\cdots(n-m+1)}{m!},\ C_{100}^3 = \frac{100\cdot 99\cdot 98}{1\cdot 2\cdot 3} = 161700. \tag{4}$$

Слід підкреслити, що лише зростання кількості відомих елементів у конкретному ПЧК ІКЗ обумовлює одночасно й новизну (яка формується при порівняннях з відомими існуючими аналогами,

прототипами, зразками) [13-16]. Виникає нова якість у наслідок інноваційних відношень за R актами дії. Динамічні ситуації, як правило, нелінійно змінюють відповідні контрольовані показники технічних й технологічних об'єктів ІТС інноваційних ПТК. Принцип лінійності для спрощення у межах математичних моделей не тотожний для неоднорідних оцінок (5).

$$A = \sum_{i=1}^{n} a_i \neq \text{B} = \sum_{j=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} \alpha_{ij} X_{ij}, \forall \sum_{i=1}^{n} \alpha_i = 1, \text{m<n.} \quad (5)$$

Наприклад, А – відносна інтегрована вартість цілісного вибору з a_i складовими; В – вартість двигуна, що витрачає ресурс в цілому ІТС з майбутніми перспективними деталями. Новизна виникає за рахунок теоретичних результатів раціональної декомпозиції методом аналізу a_i елементів синтезу групи та ієрархічної спеціалізації у $j - x$ блоках чи компонентах єдиного ПЧК для цілісного оригінального об'єкту ІКЗ та в цілому ІТС.

Об'єктивна парна реальність факторів ВПС та їх активної участі на зовнішніх, контактних за граничними поверхнями форм внутрішнього складу СДС (твердих, конструктивних тіл) обумовлює відповідну адекватну реакцію шляхом перехідних гетерогенних процесів адаптації [5-7, 10, 15-17].

Нова парадигма наукового дослідження Авідо для майбутніх замовлень ІКЗ означає формалізацію відношень вже на первинному початковому рівні перетворення проблемних ситуацій у задачну систему [14]. Для кожної тематичної задачі формуємо (опис, визначення, доказ, прийняття ТТР) відповідно до нової (1) алгебраїчної підсистеми [15]. У наслідок реального необмеженого у часі цілісного, незалежного, нестаціонарного, неоднорідного ВПС за парадигмою двоїстості [12] існує (інакше не буде результату) науково-методичний апарат НМА (Рис. 1). Згідно запропонованої схеми до складу НМА входять відомі існуючі засоби наукових досліджень (Internet, ПАК, бібліотеки операційних систем, електронних навігаційних карт, й додатків спецпризначення, бази знань, бази даних, лінгвістичні та пошукові компоненти інформаційних технологій). За методами аналогії, подібності та теорії розмірності метрологічних вимірів [10, 11] невідомі інноваційні факти (не завершена робота ПЕВО) змінюють функціонування ІКЗ майбутніх ІТС [3, 8, 17].

Наукова парадигма цифровізації, застосування штучного інтелекту на базі створення цілеспрямованих алгебраїчних систем (1) дозволяє адекватно, достовірно, раціонально синтезувати інноваційний НМА. Застосування відповідно до заданих замовлень та результатів цілеспрямованих спостережень запропонованих засобів НМА гарантує у процесах самоорганізації та мінімізації похибок e(t). Парадигмальні основи отримання нових знань, закономірностей та прогнозів розвитку ІТС достовіризують існування у певних умовах нових явищ функціонування ІКЗ за інноваційними замовленнями.

Покроковий самоконтроль та достовірна науково доведена оцінка похибок e(t) забезпечує у циклах управління можливість приймати рішення «чи вже отримано кінетичні цільові результати, які можливо оприлюднити як новий інтелектуальний (творчий, теоретичний, методологічний) продукт». Зрозуміло, що коли $0 < e_i(t) < 5\%$ застосовуємо засоби НМА у межах окремого налаштування для наступного чергового пізнавального процесу структурно-функціонального моделювання ІКЗ у нових умовах лінгвістичного опису (уточнення, набуття коректності) джерельних даних СДС [10, 11]. Гетерогенність та багатокритеріальність нових задач лише впливає на швидкість отримання нового [13, 15] результату стосовно майбутніх явищ [3,8,16,17].

Парадигми наукових досліджень формуються згідно сутнісно-категоріальних змістовних актів дії сутності, особливості та специфіки (СОС) ІКЗ за напрямами ЦІТ: а) номенклатурна класифікація знання шляхом створення, накопичування та активного застосування каталогів, реєстрів, кортежів, інтелектуальних сховищ (бібліотек, баз знань, атласних збірок й карт, енциклопедій тощо); б) професійна регламентація визначального теоретико-практичного вміння, як ефективних методів розв'язування аналізу, синтезу, узагальнення перспективних ТТР; в) інтелектуальна кваліфікація інструментального застосування ІКЗ ЦІТ, що спрямовані на двоїсну єдність інноваційного, прогресивного, цілісного результату тісними всебічними зв'язками між складовими частками ІТС, які за рахунок самоорганізації гарантують різноманіття актів ефективної дії на базі наявних природних ресурсів ноосфери; г) пріоритетна ідентифікація Авідо з фіксацією комерційної переваги бізнес застосування в ринкових умах суспільного життя та функціонування ІТС за замовленнями [4, 17].

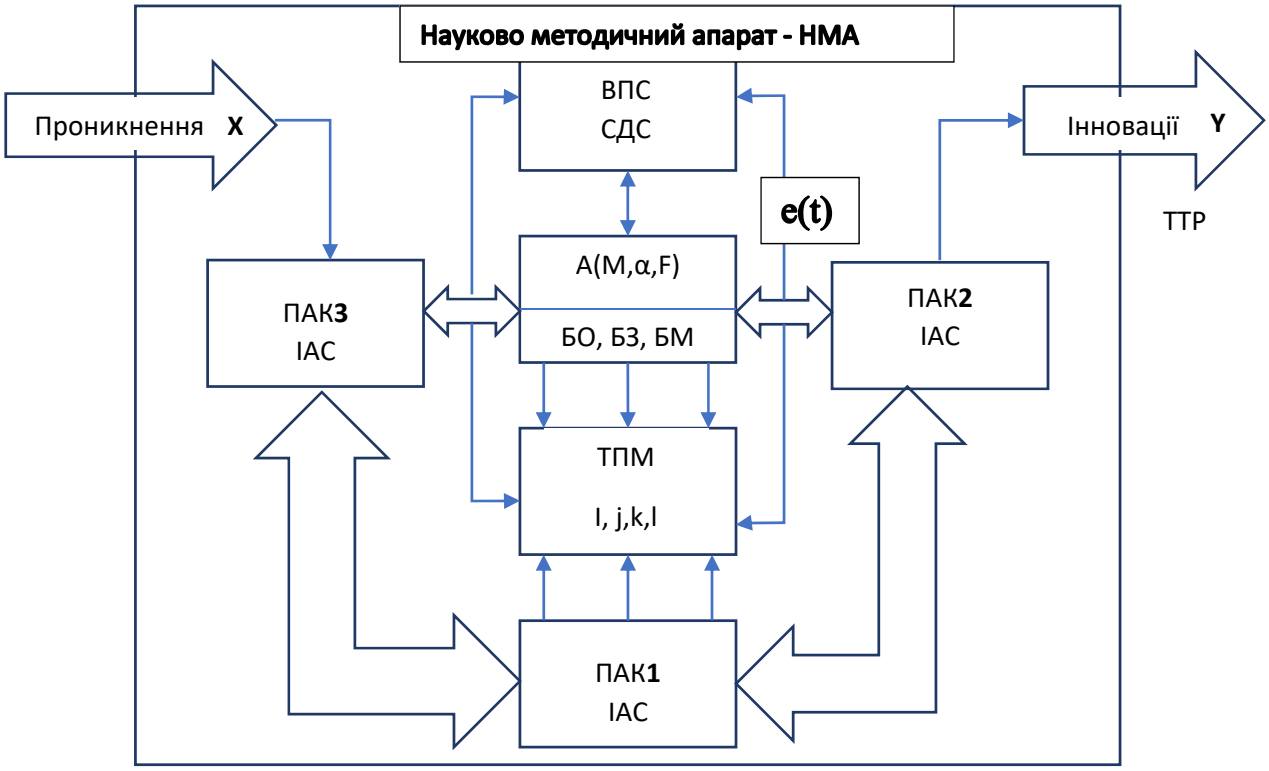


Рисунок 1 – Науково-методичний апарат, що разом з власною назвою Авідо, фіксує, надає опис та визначає проникнення новизни проблем, замовлень, завдань, комплексних задач, потреб практики у компоненти (структури єдиної парадигмальної цілісної системи) мовних, технічних, технологічних засобів адаптації, прогнозу, випробування з метою отримання ІКЗ для нових ефектів [16, 17]
Figure 1 – Scientific and methodological apparatus, which together with the proper name Avido, captures, provides a description and determines the penetration of the novelty of problems, orders, tasks, complex tasks, needs of practice into components (structures of a single paradigmatic holistic system) of language, technical, technological means of adaptation, forecasting, testing in order to obtain ICZ for new effects [16, 17]

Накопичування рівнів обізнаності ІАС та працездатності ІКЗ для ПАК1, ПАК2, ПАК3 займає значно тривалий час. Для мінімізації сучасних типових запізнень необхідно та достатньо кодувати символи, а також лінгвістично-мовні однозначності понять [10-17]. Символьні зображення відомих та інноваційних даних циркулюють у багатопотокових реалізаціях процесів моделювання за регламентними правилами [13, 15] випробування, сертифікації, стандартизації нових об'єктів ІКЗ для інтелектуальних транспортних систем за майбутніми потребами цивілізованого суспільства [6-8].

Висновки.

Запропоновано для теорії розвитку інформаційно-керуючих засобів гарантованого адаптивного управління об'єктами інтелектуальних транспортних систем застосовувати цілісне категоріально-функторне поняття «науково-методичний апарат» на аксіологічній основі множинності математичної організації «алгебраїчна система». Доведено, що за необхідних та достатніх умов подібності означеної пари понять можливі майбутні реальні події суспільних поліергатичних виробничих організацій. Формалізовано умови одночасного прояву локальних майбутніх ризиків й впливів факторів взаємодіючого природного середовища без форс-мажорних обставин в сфері оригінального обмеженого просторово-часового континуума. Моделювання в цілому відображає єдиний природно-технологічний комплекс, а також доводить де, коли та як існує практика реалізації прогнозних конструктивних та інноваційно ефективних техніко-технологічних рішень. Використання цих актів для використання моментів дії інформаційно-керуючих засобів гарантують безпеку, надійність, екологічну економічність оперативного управління без пригод, аварій, катастроф.

Зафіксовано наукову двоїсність у штучній специфічній сфері алгебраїчних систем ефективного моделювання ІТС. Запропоновано на основі однозначних кодів цифрових інформаційних технологій вирішувати задачі практики ІТС завдяки перетворень математичних зображень різноманітних гетерогенних об'єктів ПЧК згідно доказової апробованої теорії. Описано нову будову двоконтурної множини взаємодії між запропонованими програмно-апаратними комплексами $ПАК_i$ з'єднаними мережами Internet. Визначено механізми застосування наявних традиційних ЦІТ та мовних ресурсів ІАС.

Запропоновано з метою швидкого та адекватного відображення результатів синтезу інноваційних структурних композицій на аксіологічній основі алгебраїчних символьних зображень скінченого рангу застосовувати алгебраїчну символізацію описів законів дії ІКЗ для точно самоорганізованих за мінімаксними критеріями, що індуковані інтелектуальними агентами цілісної ІТС й попередньо накопиченими властивостями кодованих структурних груп.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Баранов Г.Л. Структурное моделирование сложных динамических систем / Г.Л. Баранов, А.В. Макаров – К.: Наукова думка, 1986. – 272 с.

2. Баранов В.Л. Системоаналоговое и квазианалоговое моделирование / В.Л. Баранов, Г.Л. Баранов //Электрон. моделирование. – 1994. - №4 (16). – С. 9-16.

3. Бортини де Р.О., Кузнецов П.Г. Множественность геометрий и множественность физик // Моделирование динамических систем. – Брянск, 1974. – С. 18-29.

4. Бідюк П. І. Моделювання та прогнозування нелінійних динамічних процесів / П. І. Бідюк, І. В. Баклан, Я. І. Баклан, Л. О. Коршевнюк, В. І. Літвіненко. - К. : ЕКМО, 2004. – 120 с.

5. Воркут Т.А., Лущай Ю.В., Харута В.С., Чечет А.М. Стратегічне управління проектами логістичного аутсорсингу: монографія / Київ: міленіум. 2021. – 159 с.

6. Guaranteed-adaptive control of agriculture machines working processes and its efficiency / Kravchuk V.I.,Baranov G.L., Salai Karnil, Gaidai T.V., Komisarenko O.S. Journal of advanced reserch sn dynamical and control systems. (2020).

7. Дмитриченко М.Ф., Харченко А.М., Мороз Т.М. Система діагностування стану автомобільних доріг як засіб стратегічного планування експлуатаційного утримання. Erbe der europaichen Wissenchaft / Heritage of European science, Germany, 2021. P. 224-258.

8.European Commission «Digital Agenda for Europe. Available online at:// https://ec.europa.eu/digital-single-market/.

9. Інформатизація агропромислового комплексу із застосуванням розгалужених сервісів: стан і перспективи розвитку / В. Кравчук, Г.Баранов, О. Комісаренко // Техніко-технолгічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господаоства України: Зб. Наук. Праць УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке, 2019. Вип. 24 (38). С. 202-213.

10. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инжнеров. Определение, теоремы, формулы / Г. Корн, Т. Корн // «Наука» ГРФМЛ – М.: 1974. – 832 с.

11. Кун Т. Структура научных революций. – М.: ООО «Изд.АСТ», 2003. – С. 9-268.

12. Математика в понятиях, определениях и терминах: В 2-х ч. / О.В. Мантуров, Ю.К. Солнцев, Ю.И. Соркин, Н.Г. Федин. – К.: Рад. Шк., 1986. – С. 41-380, С. 42-359.

13. Організація об'єднаних націй [Електронний ресурс]/ Режим доступу: https://www.un.org/ru/.

14.Пухов Г.Е. Дифференциальные преобразования и математическое моделирование физических процессов / Пухов Г.Е. – Киев: Наук. Думка, 1986. – 158 с.

15. Smtart Cities project. Available online at: http://www.eess.europa.eu/.

16. Савостьянова М.В. Аксилогический анализ парадигмальной науки или о роли ценностей в науке. Монография. – К.: ПАРАПАН, 2009. – 260 с.

17. Словарь по кибернетике / Под ред. В.М. Глушкова. К.: Гл.изд.Укр. энцикл. 1979. – 623 с.

REFERENCES

1. Baranov G.L. Strukturnoe modely`rovany`e slozhnыx dy`namy`chesky`x sy`stem / G.L. Baranov, A.V. Makarov – K.: Naukova dumka, 1986. – 272 s.

2. Baranov V.L. Sy`stemoanalogovoe y` kvazy`analogovoe modely`rovany`e / V.L. Baranov, G.L. Baranov // Ɜlektron. modely`rovany`e. – 1994. - #4 (16). – S. 9-16.

3. Borty`ny` de R.O., Kuzneczov P.G. Mnozhestvennost` geometry`j y` mnozhestvennost` fy`zy`k // Modely`rovany`e dy`namy`chesky`x sy`stem. – Bryansk, 1974. – S. 18-29.

4. Bidyuk P. I. Modelyuvannya ta prognozuvannya nelinijny`x dy`namichny`x procesiv / P. I. Bidyuk, I. V. Baklan, Ya. I. Baklan, L. O. Korshevnyuk, V. I. Litvinenko. – K. : EKMO, 2004. – 120 s.

5. Vorkut T.A., Lushhaj Yu.V., Xaruta V.S., Chechet A.M. Strategichne upravlinnya proektamy` logisty`chnogo autsorsy`ngu: monografiya / Ky`yiv: milenium. 2021. – 159 s.

6. Guaranteed-adaptive control of agriculture machines working processes and its efficiency / Kravchuk V.I.,Baranov G.L., Salai Karnil, Gaidai T.V., Komisarenko O.S. Journal of advanced reserch sn dynamical and control systems. (2020).

7.Dmy`try`chenko M.F., Xarchenko A.M., Moroz T.M. Sy`stema diagnostuvannya stanu avtomobil`ny`x dorig yak zasib strategichnogo planuvannya ekspluatacijnogo utry`mannya. Erbe der europaichen Wissenchaft / Heritage of European science, Germany, 2021. P. 224-258.

8.European Commission «Digital Agenda for Europe. Available online at: // https://ec.europa.eu/digital-single-market/.

9. Informaty`zaciya agropromy`slovogo kompleksu iz zastosuvannyam rozgaluzheny`x servisiv: stan i perspekty`vy` rozvy`tku / V. Kravchuk, G.Baranov, O. Komisarenko // Texniko-texnolgichni aspekty` rozvy`tku ta vy`probuvannya novoyi texniky` i texnologij dlya sil`s`kogo gospodaostva Ukrayiny`: Zb. Nauk. Pracz` UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. Doslidny`cz`ke, 2019. Vy`p. 24 (38). S. 202-213.

10. Korn G. Spravochny`k po matematy`ke dlya nauchnыx rabotny`kov y` y`nzhnerov. Opredeleny`e, teoremы, formulы / G. Korn, T. Korn // «Nauka» GRFML – M.: 1974. – 832 s.

11. Kuhn T. Structure of scientific revolutions. - M.: LLC "Izd.AST", 2003. - S. 9-268.

12. Matematy`ka v ponyaty`yax, opredeleny`yax y` termy`nax: V 2-x ch. / O.V. Manturov, Yu.K. Solncev, Yu.Y`. Sorky`n, N.G. Fedy`n. – K.: Rad. Shk., 1986. – S. 41-380, S. 42-359.

13. Organizaciya ob'yednany`x nacij [Elektronny`j resurs]/ Rezhy`m dostupu: https://www.un.org/ru/.

14.Puxov G.E. Dy`fferency`al`nыe preobrazovany`ya y` matematy`cheskoe modely`rovany`e fy`zy`chesky`x processov / Puxov G.E. – Ky`ev: Nauk. Dumka, 1986. – 158 s.

15. Smtart Cities project. Available online at: http://www.eess.europa.eu/.

16. Savost`yanova M.V. Aksy`logy`chesky`j analy`z parady`gmal`noj nauky` y`ly` o roly` cennostej v nauke. Monografy`ya. – K.: PARAPAN. 2009. – 260 s.

17. Slovar` po ky`bernety`ke / Pod red. V.M. Glushkova. K.: Gl.y`zd.Ukr. эncy`kl. 1979. – 623 s.

РЕФЕРАТ

Баранов Г.Л. Аксіологічні основи науково-методичного апарату для інформаційно-керуючих засобів інтелектуальних транспортних систем / Г.Л. Баранов, О.С. Комісаренко, Л.М., Пархненко, О.К. Войденко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки» Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

Україна разом з провідними державами світу активно забезпечує розвиток інтелектуальних транспортних систем (ІТС). Цільові цикли спрямовані до майбутніх прогнозних станів, що передбачені відповідними стратегічними планами та програмами на 2030-2050 роки. Цільове ресурсоефективне задоволення потреб суспільства у вигляді очікуваних послуг, продуктів, товарів за новими комплексними регламентами, продуктами, стандартами, критеріями безпеки, функціональної стійкості, живучості, екологічної економіки неможливо без суттєвого оновлення техніко-технологічних рішень (ТТР). Взаємодія множин об’єктів складних динамічних систем (СДС) з гетерогенними контактами ВПС обумовлює саме бажану парадигму двоїсності прямих та зворотних, причинно-наслідкових відношень. У межах складних динамічних систем (СДС) завчасно, якісно повно, локально точно правила моделювання завчасно оцінюють власні дії та впливи факторів взаємодіючого природного середовища (ВПС). Саме предикативна форма теоретичних результатів та доказів за фактами практики визначає аксіологічну основу науки. Відомі логічні описи незмінні й вирішальні <якщо існує конкретна фіксована форма парної взаємодії ВПС→СДС, як причина, тоді , як наслідок у означених конкретних умовах, маємо точний висновок>. Можливі аналогічні факти існування відповідного обмеженого процедурного результату, ефекту ТТР, стану СДС та ВПС. Для кожної незмінної, стаціонарної, подібної ситуації також справедливе двоїсне, зворотне твердження.

Воно точне за множинними підтвердженнями практики наукових спостережень та порівнянь у різних галузях людської діяльності за потреб еволюційного розвитку самоорганізації.

Стаття присвячена розвитку технологій моделювання інтеграційних процесів, що синергетично впливають на рівень безпеки дорожнього руху транспортних засобів за умов ризиків та невизначеності факторів нестаціонарного природного середовища.

Формалізовано математичний опис задачної сфери та інформаційного простору взаємодії учасників ВПС→СДС з відображеннями на електронних навігаторах майбутнього руху.

Обґрунтовано сутність, особливість та специфіка ситуативних режимів динамічної, неперервної взаємодії у просторово-часових дискретних комірках електронної карти критичної зони за ознаками частоти попередніх аварійних пригод, що можливі у майбутньому.

Інформаційно-аналітичні засоби ПАК забезпечують достовірність оцінок інтервалу витривалості руху згідно призначеної з упередженням кускової неперервної трансверсальної кривої за рахунок передбаченого узгодження множинної гетерогенної взаємодії за подібних умов натурних наближень. Єдині методи моделювання кожним ПАК різних транспортних засобів активно й одночасно передбачають локальні точки ухилення від зіткнень або проходження заборонених локальних мікрозон шляхом синтезу пар просторового розділення власних траєкторій. Правила парадигми за фактами наявності ризиків фіксують де, коли, яким чином є відсутність дорожньо-транспортних пригод з втратами безпеки у межах нестаціонарних потоків.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПРОЦЕСИ САМООРГАНІЗАЦІЇ, ЕВОЛЮЦІЯ ТРАНСПОРТУ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ПАРАДИГМА ВЗАЄМОДІЙ, ЦІЛЬОВІ РЕЗУЛЬТАТИ.

ABSTRACT

Baranov G.L., Komisarenko O.C., Parohnenko L.M., Voidenko O.K. Axiological fundamentals of scientific and methodological apparatus for information and control means of intellectual vehicles. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

Ukraine, together with the world's leading countries, is actively promoting the development of intelligent transport systems (ITS). Target cycles are aimed at future forecast states, which are provided by the relevant strategic plans and programs for 2030-2050. Targeted resource-efficient satisfaction of society's needs in the form of expected services, products, goods according to new complex regulations, products, standards, safety criteria, functional stability, survivability, ecological economy is impossible without significant updating of technical and technological solutions (TTP). The interaction of sets of objects of complex dynamic systems (SDS) with heterogeneous contacts of the Air Force determines the desired paradigm of duality of direct and inverse, causal relations. Within the framework of complex dynamic systems (SDS) in advance, qualitatively complete, locally accurate modeling rules assess in advance their own actions and influences of factors of the interacting natural environment (APS). It is the predicative form of theoretical results and evidence on the facts of practice that determines the axiological basis of science. Known logical descriptions are immutable and decisive <if there is a specific fixed form of pair interaction of the Air Force → VTS, as a cause, then, as a consequence in these specific conditions, we have an accurate conclusion>. Similar facts of existence of the corresponding limited procedural result, effect of TTR, a condition of VDS and VPS are possible. For every constant, stationary, similar situation, a double, inverse statement is also valid. It is accurate based on multiple confirmations of the practice of scientific observations and comparisons in various fields of human activity.

The article is devoted to the development of technologies for modeling integration processes that synergistically affect the level of road safety of vehicles under conditions of risk and uncertainty of non-stationary environmental factors.

The mathematical description of the problem area and information space of interaction of the Air Force participants → VTS is formalized.

The essence, peculiarity and specificity of situational modes of dynamic, continuous interaction in space-time discrete cells of the electronic map of the critical zone are substantiated on the basis of the frequency of previous accidents that are possible in the future.

Information and analytical tools of PAK ensure the reliability of estimates of the interval of endurance of the movement according to the prejudiced piecewise continuous transverse curve due to the provided

coordination of multiple heterogeneous interaction under similar conditions of field approximations. The only methods of modeling each PAC of different vehicles actively and simultaneously provide for local points of avoidance of collisions or passage of forbidden local microzones by synthesis of pairs of spatial separation of own trajectories. The rules of the risk-based paradigm record the absence of traffic accidents with loss of safety within non-stationary flows.

KEY WORDS: PROCESSES OF SELF-ORGANIZATION, EVOLUTION OF TRANSPORT, INFORMATION TECHNOLOGIES, PARADIGM OF INTERACTIONS, TARGET RESULTS.

АВТОРИ:

Баранов Г.Л., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри інформаційних систем і технологій, 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. https://orcid.org/0000-0002-7436-6473

Парохненко Л.М., Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: lmpar@ukr.net,, +380674971425, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 347а. https://orcid.org/0000-0002-4063-0619

Войденко Олекцій Костянтинович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: mrjerichoo@gmail.com, тел. +380937451998, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 347а. https://orcid.org/0000-0003-0818-6172

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. M. Omelianovycha-Pavlenka Str, 1, k. 347a. https://orcid.org/0000-0003-2494-8771

Komisarenko O.S., National Transport University, Senior Lecturer department of information systems and technologies, e-mail: olenakomisarenko@ukr.net, tel. +380974638845, Ukraine, 01010, Kyiv, 1, M. Omelianovycha-Pavlenka Str. k. 347a. https://orcid.org/0000-0002-7436-6473

Parohnenko L.M. National Transport University, associate professor, department of information systems and technologies, e-mail: lmpar@ukr.net, tel.+380674971425, Ukraine, 01010, Kyiv, 1, M. Omelianovycha-Pavlenka Str. k. 347a., orcid.org/0000-0002-4063-0619

Voydenko Oleksiy Kostiantynovych, National Transport University, graduate student of the Department of Information Systems and Technologies, e-mail: mrjerichoo@gmail.com, tel. +380937451998, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovich-Pavlenko, 1, room 347a. https://orcid.org/0000-0003-0818-6172

РЕЦЕНЗЕНТИ:

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

Писарчук О.О., доктор технічних наук, професор, лауреат державної премії України в галузі науки і техніки. Професор кафедри авіоніки навчально-наукового інституту аеронавігації, електроніки та телекомунікацій НАУ.

REVIEWER:

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

Pisarchuk O.O., Doctor of Technical Sciences, professor, laureate of the state award of Ukraine in the field of science and technology. Professor, Department of Avionics, Educational and Scientific Institute of Aeronavigation, Electronics and Telecommunications, NAU.

УДК 539.3
UDC 539.3
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-038-047

СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЙ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ПІД ДІЄЮ ТРАНСПОРТНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Білобрицька О.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, o.bilobrytska@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0002-6751-6592

Куцман О.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, kutsmans@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4510-4570

FINITE ELEMENT MODELING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF PAVE STRUCTURES UNDER THE ACTION OF TRANSPORT LOADS

Bilobrytska O.I., Ph. D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, o.bilobrytska@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0002-6751-6592

Kutsman A.M., Ph. D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, kutsmans@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4510-4570

Постановка проблеми.

Підвищення довговічності конструкцій дорожнього одягу є одним з пріоритетних напрямів дорожньої галузі. В практиці проєктування і будівництва автомобільних доріг та мостів останнім часом широко використовуються нові матеріали з більш досконалими міцнісними, зносостійкими і термостійкими властивостями, створюються нові конструкції дорожніх одягів, які включають різноманітні підкріплюючі і армуючі елементи. Це пов'язано як з глобальною зміною клімату, так і світовою тенденцією росту параметрів транспортного навантаження. Тому в останні роки все ширше використовують конструкції дорожнього одягу, в яких застосовують армуючі стрижні із різноманітних матеріалів: металевих, склопластикових, базальтових, полімерних та ін. Однак найбільш поширені дефекти у вигляді температурних концентраторів, які суттєво впливають на напружено-деформований стан конструкцій дорожнього одягу, при проєктуванні покриттів доріг та виконанні ремонтних робіт не враховуються і на сьогоднішній день. Тому є актуальним і доцільним здійснити математичне моделювання термонапруженого стану неоднорідних конструкцій покриттів доріг і мостів протягом всього життєвого циклу з метою підвищення їх міцності та довговічності.

Розтріскування асфальтобетонного покриття автомобільних доріг, викликане низькими температурами і дією транспортних навантажень, є однією з основних причин їх передчасного руйнування. У процесі експлуатації дороги наявність тріщини призводить до зниження несної здатності монолітних шарів, а також і до проникнення через неї вологи в конструкцію дорожнього одягу і ґрунтового полотна. Моделювання напружено-деформованого стану дозволить оцінити вірогідність утворення тріщин, сприяти їх прогнозуванню та зниженню рівня негативного впливу на міцність і довговічність системи.

Метод скінченних елементів в механіці твердого деформівного тіла.

Класичний підхід до розгляду напружено-деформованого стану певної ділянки споруди потребує аналізу нескінченно малого елемента цієї системи. В цьому випадку задача зводиться до диференціального рівняння в частинних похідних. У замкненому вигляді розв'язання диференціального рівняння не завжди можливе, тому застосовують різні наближені методи. Одним із таких методів є метод скінченних різниць. Існує інший підхід до розв'язування задачі дискретизацією суцільного середовища об'єкта через розрахунок деякої кількості елементів скінченних розмірів та дослідження напружено-деформованого стану таких елементів, названих скінченними елементами (СЕ). Такий підхід розв'язування задач будівельної механіки називають методом скінченних елементів (МСЕ). Цей метод поширений завдяки застосуванню комп'ютерів.

Розглядаючи об'єкт як сукупність елементів скінченних розмірів, ми переходимо від системи з нескінченною кількістю параметрів напружено-деформованого стану до системи зі скінченною кількістю параметрів.

В методі скінченних елементів суцільна область W, яку займає конструкція, що має нескінченне число ступенів вільності, апроксимується дискретною моделлю, яка складається з сукупності підобластей (скінченних елементів), що мають скінченне число ступенів вільності та взаємодіють між собою тільки в вузлових точках.

Однією з найважливіших характеристик скінченно-елементної моделі є максимальний діаметр елементів

$$h = \max_{e} \left(\sup_{x,y \in \Omega_e} |x - y| \right)$$

з яким часто пов'язують оцінки похибки методу. Інакше кажучи, h – це мінімальний діаметр кулі, в яку можна вкласти будь-який скінченний елемент розрахункової схеми. Крім того, зазвичай припускається, що при нескінченному зменшенні діаметру, тобто при $h \to 0$, дотримуються наступні умови регулярності – в кожний скінченний елемент можна вкласти кулю радіусу $r \le Ch$, де константа C не залежить від h. Це оберігає від використання так званих голчастих елементів (дуже витягнутих прямокутників, трикутників з дуже маленькими кутами і т.п.).

Якщо зафіксувати всі параметри скінченно-елементної розрахункової моделі, за виключенням розміру скінченних елементів h, то можна уявити, що, змінюючи цей розмір, ми отримаємо послідовність наближених розв'язків задачі u_h. Коли кажуть про збіжність МСЕ, то мають на увазі, що послідовність прямує до точного розв'язку задачі u^*, коли $h \to 0$.

Скінченні елементи з'єднуються між собою в окремих точках – вузлах. В одному вузлі можуть з'єднуватися кілька скінченних елементів. Вузлам скінченного елемента надають додаткових в'язей, кількість яких визначається особливостями певної задачі. Найпростішим скінченним елементом є стержень для стержневих систем (балки, рами, ферми). Для площин скінченні елементи можуть бути у вигляді трикутника, прямокутника та інших фігур.

Умовами об'єднання скінченних елементів у загальну систему є рівняння рівноваги у вузлах реакцій в'язей та зовнішніх вузлових навантажень, а також умови суцільності переміщень у вузлах. Останні задовольняються автоматично. Кількість рівнянь рівноваги визначається спільною кількістю ступенів вільності цієї системи чи кількістю шуканих переміщень у вузлах.

Отже, замість диференціального рівняння задача зводиться до системи лінійних алгебраїчних рівнянь. Розв'язавши систему рівнянь, визначають вузлові переміщення, а через них – усі компоненти напружено-деформованого стану.

Загальноприйняте формулювання методу скінченних елементів припускає відшукання поля переміщень і тим самим пов'язане з мінімізацією потенціальної енергії системи при пошуку вузлових значень вектора переміщень. Після того як переміщення будуть визначені, можна обчислити компоненти тензорів деформацій і напружень.

Просторові (об'ємні) скінченні елементи.

Повна потенціальна енергія пружної системи може бути розділена на дві частини, одна з яких відповідає енергії деформацій в тілі, а друга визначається потенціальною енергією масових сил і прикладених поверхневих сил. У відповідності з цим запишемо повну потенціальну енергію у вигляді

$$П = E + W_P, \tag{1}$$

де E – енергія деформацій, а W_P – потенціальна енергія прикладених сил.

Робота зовнішніх сил протилежна за знаком їх потенціальній енергії:

$$W = -W_P, \tag{2}$$

Із формул (1) і (2) отримуємо

$$П = E - W. \tag{3}$$

Після розбиття області на елементи рівність (3) записується у вигляді суми

$$П = \sum_{e=1}^{E} \left(E^{(e)} + W^{(e)} \right) = \sum_{e=1}^{E} \pi^{(e)}. \tag{4}$$

Енергія деформації нескінченно малого об'єму dV визначається формулою

$$dE = \frac{1}{2} \{\varepsilon\}^T \{\sigma\} - \frac{1}{2} \{\varepsilon_0\}^T \{\sigma\}, \tag{5}$$

де $\{\varepsilon\}$ – повна деформація, а $\{\varepsilon_0\}$ – початкова деформація. Величина dE визначається густиною енергії деформації, а повна енергія деформації отримується інтегруванням цієї величини по об'єму тіла:

$$E = \int_V \frac{1}{2}\left(\{\varepsilon\}^T\{\sigma\} - \{\varepsilon_0\}^T\{\sigma\}\right)dV . \tag{6}$$

Вигляд векторних стовпців $\{\varepsilon\}$ і $\{\sigma\}$ залежить від того, яка задача розв'язується. Наприклад для двовимірного випадку плоскої деформації ці вектор-стовпці мають вигляд

$$\{\varepsilon\}^T = [\varepsilon_{xx}\varepsilon_{yy}\gamma_{xy}],$$
$$\{\sigma\}^T = [\sigma_{xx}\sigma_{yy}\tau_{xy}].$$

В основі теорії пружності лежать два важливих співвідношення: закон Гука, який пов'язує компоненти тензорів напружень та деформацій, і співвідношення зв'язку між деформаціями і переміщеннями. Закон Гука в загальній формі має вигляд

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\} - [D]\{\varepsilon_0\}, \tag{7}$$

де $[D]$ містить пружні константи матеріалу. Співвідношення зв'язку між деформаціями і переміщеннями записується у вигляді

$$\begin{aligned} &\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x}, && \varepsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y}, && \varepsilon_{zz} = \frac{\partial \varpi}{\partial z}, \\ &\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}, && \gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial \varpi}{\partial y}, && \gamma_{xz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial \varpi}{\partial x}, \end{aligned} \tag{8}$$

де u, v та ϖ – компоненти переміщень у напрямку координатних осей x, y і z відповідно. Ці компоненти переміщень виражаються через вузлові значення наступним чином:

$$\{u\} = [N]\{U\}. \tag{9}$$

Тут $[N]$ – матриця функцій форми

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \\ \varpi \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_i & 0 & 0 & N_j & 0 & 0 & N_k & 0 & 0 \\ 0 & N_i & 0 & 0 & N_j & 0 & 0 & N_k & 0 \\ 0 & 0 & N_i & 0 & 0 & N_j & 0 & 0 & N_k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_{3i-2} \\ U_{3i-1} \\ U_{3i} \\ U_{3j-2} \\ U_{3j-1} \\ U_{3j} \\ U_{3k-2} \\ U_{3k-1} \\ U_{3k} \end{Bmatrix}. \tag{10}$$

За допомогою формул (8) виражається вектор деформації $\{\varepsilon\}$ через вузлові переміщення $\{U\}$. Загальна форма цих співвідношень така:

$$\{\varepsilon\} = [B]\{U\}. \tag{11}$$

Тут $[B]$ – матриця, яка отримується диференціюванням належним чином матриці $[N]$. Фактичні значення коефіцієнтів матриці $[B]$ залежать від вигляду елементів, що використовується, і від типу розглядуваної задачі. Тому точне визначення $[B]$ буде відкладено до розгляду конкретних прикладів.

Енергія деформації $E^{(e)}$ окремого елементу за допомогою формул (7) і (11) може бути записана в наступному вигляді

$$E^{(e)} = \int\limits_{V^{(e)}} \frac{1}{2}\left(\{U\}^T\left[B^{(e)}\right]^T\left[D^{(e)}\right]\left[B^{(e)}\right]\{U\} - 2\{U\}^T\left[B^{(e)}\right]^T\left[D^{(e)}\right]\{\varepsilon_0{}^{(e)}\} + \{\varepsilon_0{}^{(e)}\}^T\left[D^{(e)}\right]\{\varepsilon_0{}^{(e)}\}\right)dV. \quad (12)$$

Останній доданок в (12) не залежить від вузлових значень $\{U\}$, тому він не впливає на процес мінімізації і в подальших посиланнях на (12) не прийматиметься до уваги.

Робота, яка здійснюється зовнішніми силами, може бути розділена на три різні частини: робота W_c, що здійснюється зосередженими силами, робота W_p, яка отримується в результаті дії компонент напружень на зовнішній стороні поверхні, робота W_b, яка здійснюється масовими силами.

Роботу зосереджених сил легко визначити, якщо в кожній точці прикладання зосередженої сили розмістити вузол. Робота зосередженої сили дорівнює добутку величини цієї сили на довжину шляху, на якому ця сила діє. Таким чином, робота окремої сили дорівнює $P \cdot U$. Позначаючи вузлові точки через $\{P\}$, а вузлові переміщення через $\{U\}$, здійснену роботу можна записати у вигляді добутку матриць:

$$W_c = \{U\}^T\{P\} = \{P\}^T\{U\}. \quad (13)$$

Це означення передбачає, що сили розкладені на компоненти, паралельні компонентам переміщень. Ця частина повної роботи не входить в суму (4), так як розглянуті сили зосереджені у вузлах.

Робота об'ємних сил X, Y, Z подається формулою

$$W_b{}^{(e)} = \int\limits_{V^{(e)}} \left(uX + vY + \varpi Z\right)dV, \quad (14)$$

де u, v та ϖ – компоненти вектора переміщень всередині елементу по осям x, y і z відповідно. Інтеграл тут необхідний, так як u, v та ϖ разом з X, Y, Z можуть змінюватися всередині елементу. Використовуючи рівність (9), формулу (14) можна переписати у вигляді

$$W_b{}^{(e)} = \int\limits_{V^{(e)}} \{U\}^T\left[N^{(e)}\right]^T\begin{Bmatrix} X^{(e)} \\ Y^{(e)} \\ Z^{(e)} \end{Bmatrix}dV, \quad (15)$$

Робота поверхневих сил визначається наступним чином:

$$W_p{}^{(e)} = \int\limits_{S^{(e)}} \left(up_x^{(e)} + vp_y^{(e)} + \varpi p_z^{(e)}\right)dS, \quad (16)$$

де u, v та ϖ – компоненти вектора переміщень, а p_x, p_y і p_z – компоненти вектора напружень, паралельні координатним осям x, y і z.

Порівняння формул (16) і (14) показує, що вони ідентичні по формі. Тому

$$W_p{}^{(e)} = \int\limits_{S^{(e)}} \{U\}^T\left[N^{(e)}\right]^T\begin{Bmatrix} p_x{}^{(e)} \\ p_y{}^{(e)} \\ p_z{}^{(e)} \end{Bmatrix}dS. \quad (17)$$

Використовуючи формули (4), (12), (13), (15) і (17) отримуємо вираз для повної потенціальної енергії:

$$\begin{aligned} \Pi = \sum_{e=1}^{E}\Bigg[& \int\limits_{V^{(e)}} \frac{1}{2}\{U\}^T\left[B^{(e)}\right]^T\left[D^{(e)}\right]\left[B^{(e)}\right]\{U\}dV - \int\limits_{V^{(e)}} \{U\}^T\left[B^{(e)}\right]^T\left[D^{(e)}\right]\{\varepsilon_0{}^{(e)}\}dV - \\ & - \int\limits_{V^{(e)}} \{U\}^T\left[N^{(e)}\right]^T\begin{Bmatrix} X^{(e)} \\ Y^{(e)} \\ Z^{(e)} \end{Bmatrix}dV - \int\limits_{S^{(e)}} \{U\}^T\left[N^{(e)}\right]^T\begin{Bmatrix} p_x{}^{(e)} \\ p_y{}^{(e)} \\ p_z{}^{(e)} \end{Bmatrix}dS\Bigg] - \{U\}^T\{P\}. \end{aligned} \quad (18)$$

Щоб мінімізувати величину Π, продиференціюємо вираз (18) по $\{U\}$ і прирівняємо результат до нуля.

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \{U\}} = \sum_{e=1}^{E} \left[\int_{V^{(e)}} \left[B^{(e)}\right]^T \left[D^{(e)}\right] \left[B^{(e)}\right] dV \{U\} - \int_{V^{(e)}} \left[B^{(e)}\right]^T \left[D^{(e)}\right] \{\varepsilon_0\} dV - \right.$$
$$\left. - \int_{V^{(e)}} \left[N^{(e)}\right]^T \begin{Bmatrix} X^{(e)} \\ Y^{(e)} \\ Z^{(e)} \end{Bmatrix} dV - \int_{S^{(e)}} \left[N^{(e)}\right]^T \begin{Bmatrix} p_x^{(e)} \\ p_y^{(e)} \\ p_z^{(e)} \end{Bmatrix} dS \right] - \{P\} = 0. \quad (19)$$

Інтеграли у формулі (19) визначають для кожного елементу вектор навантажень $\left\{f^{(e)}\right\}$ і матрицю жорсткості $\left[k^{(e)}\right]$, які можна об'єднати наступним чином:

$$\frac{\partial \Pi^{(e)}}{\partial \{U\}} = \left[k^{(e)}\right] \{U\} + \left\{f^{(e)}\right\}. \quad (20)$$

Тут $\left[k^{(e)}\right]$ – об'ємні інтеграли виду

$$\left[k^{(e)}\right] = \int_{V^{(e)}} \left[B^{(e)}\right]^T \left[D^{(e)}\right] \left[B^{(e)}\right] dV, \quad (21)$$

а $\left\{f^{(e)}\right\}$ – сума декількох інтегралів:

$$\left[f^{(e)}\right] = -\int_{V^{(e)}} \left[B^{(e)}\right]^T \left[D^{(e)}\right] \{\Delta T^{(e)}\} dV -$$
$$- \int_{V^{(e)}} \left[N^{(e)}\right]^T \begin{Bmatrix} X^{(e)} \\ Y^{(e)} \\ Z^{(e)} \end{Bmatrix} dV - \int_{S^{(e)}} \left[N^{(e)}\right]^T \begin{Bmatrix} p_x^{(e)} \\ p_y^{(e)} \\ p_z^{(e)} \end{Bmatrix} dS - \{P\} = 0. \quad (22)$$

Матриця жорсткості елементу (21) не містить поверхневого інтегралу, який зустрічається в задачах теорії поля.

Глобальна матриця жорсткості $[K]$ і глобальний вектор-стовпець $\{F\}$ в матричному рівнянні

$$[K]\{U\} = \{F\} \quad (23)$$

подаються співвідношеннями

$$[K] = \sum_{e=1}^{E} \left[k^{(e)}\right], \quad (24)$$

$$\{F\} = -\sum_{e=1}^{E} \left[f^{(e)}\right]. \quad (25)$$

Аналіз впливу ефекту розшарування на напружено-деформований стан покриття під дією транспортного навантаження.

Дослідимо характер розподілу зон розтягуючих і зсувних напружень під колесами великовантажного автомобіля з метою аналізу впливу накладення полів напружень в залежності від міжосьових відстаней «a» і «b» і відстаней між колесами «c» і «d», а також наявність тріщин. Будемо вважати, що відповідно до загальноприйнятої методики [1] і результатів натурних спостережень пляма від контакту колеса з поверхнею дорожнього покриття (Рис. 1) являє собою прямокутник (Рис. 2), ширина «e» якого визначається конструкцією колеса і не змінюється зі зміною навантаження на колесо, а висота «f» залежить від цього навантаження так, що рівнодіюча P контактного тиску «p» дорівнює силі, що діє на колесо, тобто

$$P = p \cdot e \cdot f.$$

Тут p – тиск в пневматиці.

Приймемо, що P і p відомі, тоді висота «f» плями визначається рівністю

$$f = P/(p \cdot e).$$

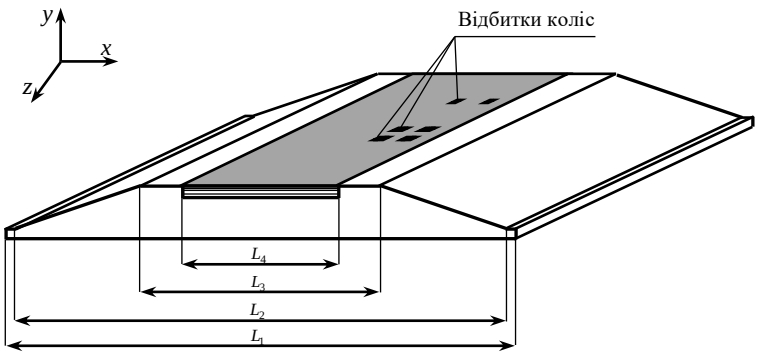


Рисунок 1 – Конструктивна схема дорожнього масиву
Figure 1 – Structural scheme of the road array

Представлена задача є тривимірною. Для її розв'язання необхідно площинами $x = const$, $y = const$, $z = const$ виділити із загального неоднорідного шаруватого масиву прямокутний паралелепіпед і, задавши відповідні граничні умови на відповідних граничних площинах, розв'язати відповідні рівняння теорії пружності чисельним методом.

При побудові цих рівнянь врахуємо, що швидкості поширення хвиль пружних деформацій в масиві, що розглядається, набагато перевищують швидкості руху автомобілів. Тому навантаження від сил тяжіння рухомого транспортного засобу можна вважати квазістатичним і задачу формулювати в статичній постановці [2, 3].

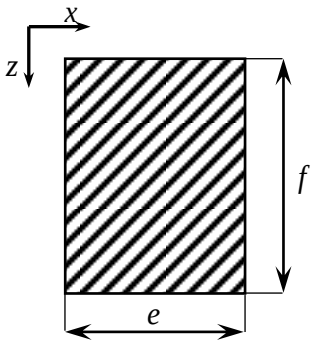


Рисунок 2 – Схема плями контакту між колісним пневматиком і поверхнею покриття
Figure 2 – Diagram of the contact patch between the wheel tire and the pavement surface

Вважаємо, що конструкція дороги складається з чотирьох шарів, що лежать на ґрунтовій основі (Рис. 1). Надамо їм номери 1-4 в порядку слідування зверху вниз, номер 5 присвоїмо ґрунтовій основі. Тоді в межах кожного фрагменту 1-5 дороги задовольняються рівняння пружної рівноваги [4, 5, 6].

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0, \\ \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} = 0, \\ \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = 0. \end{aligned} \tag{26}$$

Тут σ_x, σ_y, σ_z – відповідні нормальні напруження, τ_{xy}, τ_{yz}, τ_{zx} – дотичні напруження. Вони обчислюються за допомогою рівностей

$$\begin{aligned} \sigma_i = \lambda \Delta + 2G\varepsilon_i, \\ \tau_{ij} = \tau_{ji} = G\gamma_{ij} = G\gamma_{ji}, \end{aligned} \tag{27}$$

де λ і G – сталі Ламе, які виражаються через модуль пружності E і коефіцієнт Пуассона ν формулами

$$\lambda = \frac{\mu E}{(1+\mu)(1-2\mu)},$$
$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}. \tag{28}$$

Використані в рівностях (27) символи визначаються:

$$\Delta = \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z},$$
$$\gamma_{ij} = \frac{\partial u_j}{\partial i} + \frac{\partial u_i}{\partial j}, \tag{29}$$
$$\varepsilon_i = \frac{\partial u_j}{\partial i}.$$

де $i, j = x, y, z.$

На вільних площинах шару 1 і ґрунтовому масиві задані умови рівності нулю нормальних і дотичних напружень

$$\sigma_y = 0, \qquad \tau_{yx} = \tau_{yz} = 0. \tag{30}$$

У межах плями контактної взаємодії напруження σ_y дорівнює тиску p в пневматиці, тому

$$\sigma_y = -p. \tag{31}$$

На площинах зчленування суміжних шарів, а також четвертого шару з ґрунтовою основою задавалися умови неперервності переміщень

$$u_{i-1} = u_i, \qquad v_{i-1} = v_i, \qquad w_{i-1} = w_i \ \ (i = 2,3,...5). \tag{32}$$

Розглянуті випадки, коли між усіма шарами конструкції здійснюються умови неперервного контакту і виконуються умови (32), а також коли на частини площини контакту між першим і другим шарами під вертикальним навантаженням відбулося розшарування конструкції і замість умов (32) мають місце умови контакту

$$v_1 = v_2, \qquad \tau_{xy,1} = \tau_{xy,2} = 0, \qquad \tau_{yz,1} = \tau_{yz,2} = 0. \tag{33}$$

Для розв'язання задачі був використаний метод скінченних елементів [7]. При цьому виділений для розрахунків шаруватий масив розбивався на тривимірні скінченні елементи (Рис. 3) і система диференціальних рівнянь замінювалася системою алгебраїчних скінченно-елементних рівнянь [8, 9]

$$[K_u]\{u\} = \{q\}, \tag{34}$$

сформованих з урахуванням граничних рівнянь (30) – (32). Тут $[K_u]$ – матриця жорсткості для скінченно-елементної моделі всього пружного масиву, $\{u\}$ – вектор вузлових переміщень, $\{q\}$ – вектор навантаження.

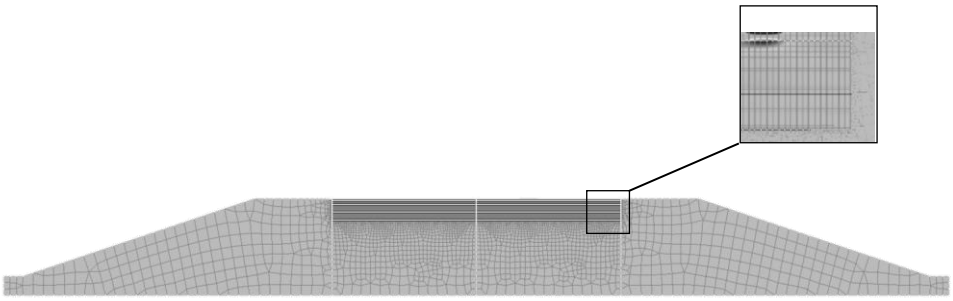


Рисунок 3 – Скінченно-елементна модель перерізу дорожнього масиву
Figure 3 – Finite element model of the section of the road array

В результаті розв'язання цієї системи обчислювалися деформації у всіх вузлах скінченно-елементної моделі і будувалися поля напружень. Обробка результатів обчислень проводилася із застосуванням спеціально розробленого постпроцесора, що дозволяє кожному знайденому значенню шуканої функції ставити у відповідність кольоровий мазок на виділеному полі і за допомогою кольорової шкали ідентифікувати їх величини.

Результати чисельного аналізу.

Для аналізу обрано чотиришарова конструкція дорожнього покриття з габаритними розмірами $L_1 = 24{,}5$ м, $L_2 = 23{,}5$ м, $L_3 = 11{,}5$ м, $L_4 = 7{,}5$ м. Матеріали шарів, їх товщини і механічні властивості обрані наступними: шар 1 – асфальтобетон дрібнозернистий, $h = 0{,}05$ м, $E = 5 \cdot 10^9$ Па, $\nu = 0{,}2$; шар 2 – асфальтобетон пористий крупнозернистий, $h = 0{,}1$ м, $E = 1{,}4 \cdot 10^9$ Па, $\nu = 0{,}25$; шар 3 – щебінь, $h = 0{,}2$ м, $E = 0{,}4 \cdot 10^9$ Па, $\nu = 0{,}3$; шар 4 – пісок, $h = 0{,}2$ м, $E = 0{,}1 \cdot 10^9$ Па, $\nu = 0{,}3$; ґрунт – $h = 2{,}5$ м, $E = 0{,}1 \cdot 10^9$ Па, $\nu = 0{,}35$.

Для розрахунку виділений масив дороги довжиною $l = 1{,}8$ м. Скінченно-елементна схема перетину конструкції дороги представлена на Рис. 3. Загальна кількість скінченних елементів для неї склало 331104, число вузлів – 236475, число шуканих невідомих – 687633.

З урахуванням того, що розглянута система має симетрію відносно площини $z = 0$, яка проходить через осьову лінію коліс, для розрахунку виділений масив дороги, обмежений площинами $z = 0$ і $z = 1{,}8$ м. У математичній моделі на цих площинах задавалися граничні умови симетрії.

На Рис. 4 представлено поле напружень σ_x від дії двох коліс, орієнтація яких показана на кубику в лівому верхньому куті. Обчислення свідчать, що найбільші напруження σ_x мають місце в верхніх волокнах першого шару і вони являються стискаючими (від'ємними). Зони цих напружень виділені прямокутним контуром. В ньому $\sigma_{x,\max} = -3649$ кПа. При цьому в нижніх волокнах другого шару досягаються максимальні розтягуючі напруження, які однак, по модулю суттєво менші за стискаючі і дорівнюють $\sigma_{x,\max} = 813$ кПа. Розшарування конструкції між першим і другим шарами приводить до суттєвої перебудови полів напружень σ_x. Було прийнято, що ширина зони розшарування складає 2,9 м і знаходиться під плямами контакту коліс з дорогою.

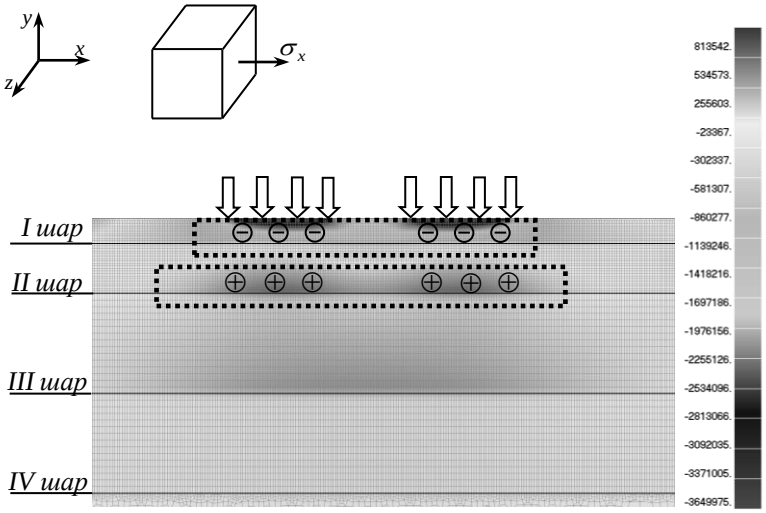


Рисунок 4 – Поле напружень σ_x у перерізі дорожнього покриття

Figure 4 – Stress field σ_x in the section of the pavement

Наприкінці зазначимо, що як випливає з результатів розрахунку, розшарування дорожнього покриття між першим і другим шаром приводить до помітного збільшення як дотичних, так і нормальних розтягуючих напружень, що є найбільш небезпечним для асфальтобетонних матеріалів. Тому при моделюванні полів напружень в реальних конструкціях повинні бути враховані відповідні значення конструктивних параметрів, характеристики механічних властивостей, а також розміри і місця розташування зон розшарування. В результаті розрахунків повинні бути встановлені найбільш несприятливі комбінації цих характеристик.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Litton R.L., Tsai F.L., Lee S.I., Luo R., Hu S., Zhou F. «Models for Predicting Reflection Cracking of Hot-Mix Asphalt Overlays» Research Report 669, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, Texas, 2010. P.61.

2. Гайдайчук В.В., Шевчук Л.В., Білобрицька О.І., Баран С.А. Концентрація напружень в околі вертикальних тріщин дорожніх покриттів // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА. 2021. – Вип. 106. – С. 41-53.

3. Гуляєв В.І., Гайдайчук В.В., Мозговий В.В., Густєлєв О.О., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В., Шлюнь Н.В., Термопружний стан багатошарових дорожніх покриттів // Монографія – К.: НТУ, 2018. – 252с.

4. Коваленко А.Д. Основы термоупругости/А.Д. Коваленко. − Киев: Наукова Думка, 1970. − 239с.

5. Новацкий В. Динамические задачи термоупругости. − М.: Мир, 1970. − 256 с.

6. Новацкий В. Теория упругости. − М.: Мир, 1975 − 872 с.

7. Перельмутер А. В., Сливнер В.И. Расчетные медели сооружений и возможность их анализа. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 600 с.

8. Баран С.А., Білобрицька О.І., Бондар В.М., Куцман О.М., Шевчук Л.В. Вплив коливання температури в асфальтобетонних шарах на напружено-деформований стан дорожнього одягу // Науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництва». — 2021. — Вип. 110. − С. 11 − 18.

9. Шлюнь Н.В., Білобрицька О.І. Сингулярно збурені задачі термомеханіки шаруватих дорожніх покриттів// Вісник Національного транспортного університету. – 2020. – №. 1(46). – С. 455-461.

REFERENCES

1. Litton R.L., Tsai F.L., Lee S.I., Luo R., Hu S., Zhou F. «Models for Predicting Reflection Cracking of Hot-Mix Asphalt Overlays» Research Report 669, Texas Transportation Institute, Texas A&M University, College Station, Texas, 2010. P.61.

2. Haidaichuk V.V., Shevchuk L.V., Bilobrytska O.I., Baran S.A. (2021). *Kontsentratsiia napruzhen v okoli vertykalnykh trishchyn dorozhnikh pokryttiv – Opir materialiv i teoriia sporud: nauk.-tekh. Zbirn, 106, 41-53 [in Ukrainian].*

3. Huliaiev V.I., et. al. *(2018). Termopruzhnyi stan bahatosharovykh dorozhnikh pokryttiv – Monohrafiia, 252 [in Ukrainian].*

4. Kovalenko A.D. (1970) *Osnovы termoupruhosty, 239 [in Russian].*

5. Novatskyi V. (1970) *Dynamycheskye zadachy termoupruhosty, 256 [in Russian].*

6. Novatskyi V. (1975) *Teoryia upruhosty, 872 [in Russian].*

7. Perelmuter A. V., Slyvner V.Y. (2007) *Raschetnыe medely sooruzhenyi y vozmozhnost ykh analyza, 600 [in Russian].*

8. Baran S.A., Bilobrytska O.I. et. al. (2021) *Vplyv kolyvannia temperatury v asfaltobetonnykh sharakh na napruzheno-deformovanyi stan dorozhnoho odiahu – Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk «Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstva»,110, 11 – 18 [in Ukrainian].*

9. Shliun N.V., Bilobrytska O.I. (2020) *Synhuliarno zbureni zadachi termomekhaniky sharuvatykh dorozhnikh pokryttiv – Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu, 1(46), 455-461 [in Ukrainian].*

РЕФЕРАТ

Білобрицька О.І. Скінченно-елементне моделювання напружено-деформованого стану конструкцій дорожнього одягу під дією транспортних навантажень / О.І. Білобрицька, О.М. Куцман // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

Розглядається задача про математичне моделювання напружено-деформованого стану неоднорідних конструкцій покриттів доріг і мостів протягом всього життєвого циклу з метою підвищення міцності їх довговічності.

Описано класичний підхід до розгляду напружено-деформованого стану певної ділянки споруди за допомогою аналізу нескінченно малого елемента цієї системи. Задача зводиться до диференціального рівняння в частинних похідних, яке розв'язується із застосуванням наближених методів. До розв'язування задачі застосовується підхід дискретизації суцільного середовища об'єкта через розрахунок деякої кількості елементів скінченних розмірів та дослідження напружено-деформованого стану таких елементів, названих скінченними елементами (СЕ). Такий підхід розв'язування задач будівельної механіки називають методом скінченних елементів (МСЕ).

Досліджується характер розподілу зон розтягуючих і зсувних напружень під колесами великовантажного автомобіля з метою аналізу впливу накладення полів напружень в залежності від міжосьових відстаней і відстаней між колесами, а також наявність тріщин.

Зазначимо, що розшарування дорожнього покриття між першим і другим шаром приводить до помітного збільшення як дотичних, так і нормальних розтягуючих напружень, що є найбільш небезпечним для асфальтобетонних матеріалів. Тому при моделюванні полів напружень в реальних конструкціях повинні бути враховані відповідні значення конструктивних параметрів, характеристики механічних властивостей, а також розміри і місця розташування зон розшарування. В результаті розрахунків повинні визначатися найбільш несприятливі комбінації цих характеристик.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МЕТОД СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН, ДОРОЖНЯ КОНСТРУКЦІЯ, ПОЛЕ НАПРУЖЕНЬ.

ABSTRACT

Bilobrytska O.I., Kutsman A.M. Finite element modeling of the stress-strain state of pave structures under the action of transport loads. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The problem of mathematical modeling of the stress-strain state of inhomogeneous structures of pavements of roads and bridges throughout the entire life cycle is considered in order to increase their strength and durability.

A classical approach to the consideration of the stress-strain state of a certain section of a structure by analyzing an infinitesimal element of this system is described. The problem is reduced to a partial differential equation, which is solved using approximate methods. To solve the problem, an approach is used to discretize the continuous medium of an object through the calculation of a certain number of elements of finite sizes and the study of the stress-strain state of such elements, called finite elements (FE). This approach to solving structural mechanics problems is called the finite element method (FEM).

The nature of the distribution of tensile and shear stress zones under the wheels of a heavy-duty vehicle is studied in order to analyze the influence of the superposition of stress fields depending on the center distances and distances between the wheels, as well as the presence of cracks.

Note that the delamination of the pavement between the first and second layers leads to a noticeable increase in both contiguous and normal tensile stresses, which is the most dangerous for asphalt concrete materials. Therefore, when modeling stress fields in real structures, the corresponding values of design parameters, characteristics of mechanical properties, sizes and locations of delamination zones should be taken into account. As a result of the calculations, the most unfavorable combinations of these characteristics should be determined.

KEY WORDS: FINITE ELEMENT METHOD, STRESS-STRAIN STATE, ROAD STRUCTURE, STRESS FIELD.

АВТОРИ:

Білобрицька Олена Іванівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри вищої математики, e-mail: o.bilobrytska@ntu.edu.ua, тел. +38(044) 280-71-09, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, orcid.org/0000-0002-6751-6592.

Куцман Олександр Михайлович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії e-mail: kutsmans@ukr.net, тел. +38(044) 285-95-28, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, https://orcid.org/0000-0002-4510-4570.

AUTHORS:

Bilobrytska O.I., Ph.D., National Transport University, tel. +38(044) 280-71-09, Ukraine, 01103, Kyiv, Boichuk str., 42, e-mail: o.bilobrytska@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0002-6751-6592.

Kutsman A.M., Ph. D., National Transport University, tel. +38(044) 285-95-28, Ukraine, 01103, Kyiv, Boichuk str., 42, e-mail: kutsmans@ukr.net, https://orcid.org/0000-0002-4510-4570.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гайдайчук В.В., доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури, завідувач кафедри теоретичної механіки, Київ, Україна.

Мозговий В. В., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, 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.

Mozgovyy V.V., Dr. Sci., (Engineering), Professor, National Transport University, Head of Department of Road Construction Materials and Chemistry, Kyiv, Ukraine.

УДК 517.9
UDC 517.9
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-048-054

ПРО ІСНУВАННЯ ІНВАРІАНТНОГО ТОРА ОДНОГО КЛАСУ РОЗРИВНИХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

Вишенська О.В., кандидат фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, oksana.vyshenska@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3360-8552

FINITE ELEMENT MODELING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF PAVE STRUCTURES UNDER THE ACTION OF TRANSPORT LOADS

Vyshenska O.V.., Ph. D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, oksana.vyshenska@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3360-8552

Постановка проблеми.

Еволюційні процеси, що зазнають короткочасної дії певних сил, зустрічаються у різних областях фізики, техніки, економіки. При математичному моделюванні таких процесів у випадках, коли їх еволюція є сукупністю відносно плавної зміни і короткочасних збурень, що трапляються час від часу, зручно не зважати на тривалість цих з

бурень і вважати їх миттєвими. Отримана при цьому математична модель такого роду еволюційного процесу є системою диференціальних рівнянь з імпульсним збуренням.

Важливим за своїм теоретичним та практичним значенням є вивчення властивостей розв'язків диференціальних рівнянь з імпульсним збуренням, а також множин цих розв'язків, що «вкривають» деякі поверхні розширеного фазового простору, котрі називають інтегральними поверхнями або інтегральними множинами.

Виклад основного матеріалу.

В роботах [1-3]досліджувалося існування інваріантних множин деяких класів систем диференціальних рівнянь. В даній роботі узагальнюється один із отриманих там результатів.

Розглянемо систему рівнянь

$$\begin{aligned} &\frac{dx}{dt} = A(\varphi)x + f(\varphi), \quad \frac{d\varphi}{dt} = \omega, \quad \varphi \notin \Gamma, \\ &\Delta x\big|_{\varphi\in\Gamma} = I(\varphi), \qquad \Delta\varphi\big|_{\varphi\in\Gamma} = a, \end{aligned}, \tag{1}$$

де $x=(x_1,...,x_n)$, $\varphi=(\varphi_1,...,\varphi_m)$, $\omega=(\omega_1,...,\omega_m)$; $f(\varphi)$ та $I(\varphi)$ – кусково-неперервні з розривами першого роду на множині Γ функції, 2π-періодичні по кожній компоненті φ_j, $j=\overline{1,m}$; $A(\varphi)$ – неперервна 2π-періодична по кожній компоненті φ_j квадратна матриця; Γ – $(m-1)$-мірний многовид $<k,\omega>=0\,(\mathrm{mod}\,2\pi)$ такий, що $k=(k_1,...,k_m)$ – цілочисловий вектор і $\langle k,\omega\rangle\neq 0$: $a=(a_1,...,a_m)$ – числовий вектор такий, що $\langle k,a\rangle=0\,(\mathrm{mod}\,2\pi)$.

Позначимо через $\varphi_t(\varphi)$ розв'язок системи

$$\begin{aligned} &\frac{d\varphi}{dt} = \omega, \quad \varphi \notin \Gamma, \\ &\Delta\varphi\big|_{\varphi\in\Gamma} = a. \end{aligned}, \tag{2}$$

З'ясуємо, за якої умови траєкторія цього розв'язку всюди щільно заповнює тор T^m.

Будь яка неперервна траєкторія $\varphi = \omega t + \varphi_0$ перетинає многовид Γ через однакові інтервали часу $\beta = \dfrac{2\pi}{< k, \omega >}$.

Розглянемо траєкторію системи (2), яка проходить через точку $0 : \varphi_t = \varphi_t(0)$. Наступною точкою перетину її з Γ буде $\dfrac{2\pi}{< k, \omega >}\omega$. Після першого стрибка отримаємо точку

$$\frac{2\pi}{< k, \omega >}\omega + a.$$

Назвемо ділянку руху, яка складається із однієї неперервної дуги і одного стрибка, одним тактом руху. Початковими точками окремих тактів руху є , як видно точки

$$S\left(\frac{2\pi}{< k, \omega >}\omega + a\right),$$

де S – ціле число.

Звідси випливає як умова замкненості траєкторії $\varphi_t(\varphi)$ так і умова її всюди щільності на торі. Саме: 1) траєкторія $\varphi_t(\varphi)$ замкнена тоді і тільки тоді, коли всі координати вектора $B = \dfrac{1}{< k, \omega >}\omega + \dfrac{1}{2\pi}a$ раціональні; 2) траєкторія $\varphi_t(\varphi)$ всюди щільна на торі тоді і тільки тоді, коли координати вектора B раціонально незалежні. Для інших траєкторій обидві умови залишаються такими ж.

Розглянемо, зокрема, двовимірний тор T^2. Тоді Γ: $k\varphi_1 + m\varphi_2 = 0$, $k, m \in Z$. Траєкторії $\varphi_t(\varphi)$ замкнені тоді і тільки тоді, коли числа

$$S_i = \frac{\omega_i}{k\omega_1 + m\omega_2} + \frac{1}{2\pi}a_i, \quad i = 1, 2$$

раціональні. Якщо S_i – ірраціональні, то кожна траєкторія $\varphi_t(\varphi)$ всюди щільно лежить на торі T^2.

Розглянемо лінійну однорідну систему диференціальних рівнянь

$$\frac{dx}{dt} = A\left(\varphi_t(\varphi)\right)x.$$

Позначимо $t_i(\varphi)$ – моменти попадання точки, яка рухається по $\varphi_t(\varphi)$, на криву Γ. Нехай $Y(t, \tau, \varphi)$ – нормована фундаментальна матриця цієї системи. Тоді

$$x_t(\varphi) = \int_{-\infty}^{t} Y(t, \tau, \varphi) f\left(\varphi_\tau(\varphi)\right) d\tau + \sum_{t_i(\varphi_t(\varphi)) < t} Y\left(t, t_i(\varphi), \varphi\right) I\left(\varphi_{t_i}(\varphi)\right) - \tag{3}$$

сімейство обмежених на всій часовій осі розв’язків неоднорідної системи

$$\frac{dx}{dt} = A\left(\varphi_t(\varphi)\right)x + f\left(\varphi_t(\varphi)\right)$$

в припущенні, що інтеграл і сума в (3) рівномірно збіжні.

Замінимо в (3) φ на φ_{-t}, отримаємо:

$$\begin{aligned} x_t\left(\varphi_{-t}(\varphi)\right) &= \int_{-\infty}^{t} Y\left(t,\tau,\varphi_{-t}(\varphi)\right) f\left(\varphi_{\tau-t}(\varphi)\right) d\tau + \\ &+ \sum_{t_i\left(\varphi_{-t}(\varphi)\right)<t} Y\left(t,t_i\left(\varphi_{-t}(\varphi)\right),\varphi_{-t}(\varphi)\right) I\left(\varphi_{t_i\left(\varphi_{-t}(\varphi)\right)}\left(\varphi_{-t}(\varphi)\right)\right)\ldots. \end{aligned} \tag{4}$$

Враховуючи, що

$$\begin{aligned} &t_i\left(\varphi_{-t}(\varphi)\right) - t_i(\varphi) = t, \qquad \varphi_{t+s}(\varphi) = \varphi_t\left(\varphi_s(\varphi)\right), \\ &Y\left(t,\tau,\varphi+2\pi\right) = Y\left(t,\tau,\varphi\right), \quad Y\left(t,t+\tau,\varphi_{-t}(\varphi)\right) = Y\left(0,\tau,\varphi\right) \end{aligned}$$

і вважаючи, що $x_t(\varphi) = u\left(\varphi_t(\varphi)\right)$, із рівності (4) маємо:

$$u(\varphi) = \int_{-\infty}^{0} Y(0,\tau,\varphi) f\left(\varphi_\tau(\varphi)\right) d\tau + \sum_{t_i(\varphi)<0} Y\left(0,t_i(\varphi),\varphi\right) I\left(\varphi_{t_i}(\varphi)\right). \tag{5}$$

Таким чином, функція $u(\varphi)$ визначає інваріантну множину системи рівнянь (1)

$$x = u(\varphi), \quad u(\varphi+2\pi) = u(\varphi).$$

Дійсно, при $t \neq t_i(\varphi)$ функція $x_t(\varphi) = u\left(\varphi_t(\varphi)\right)$ задовольняє рівняння

$$\frac{dx}{dt} = A\left(\varphi_t(\varphi)\right)x + f\left(\varphi_t(\varphi)\right),$$

а при $t = t_i(\varphi)$ – умові стрибка

$$\Delta x = u\left(\varphi_{t_i+0}(\varphi)\right) - u\left(\varphi_{t_i-0}(\varphi)\right) = I\left(\varphi_{t_i}(\varphi)\right).$$

Отже, $\left(x_t(\varphi), \varphi_t(\varphi)\right)$ – розв'язок системи (1). Так як траєкторії $\varphi_t(\varphi)$ перетинають Γ через однакові часові інтервали, тобто

$$\beta = t_{i+1}(\varphi) - t_i(\varphi) = \frac{2\pi}{<k,\omega>} = const,$$

для збіжності інтегралу і суми із (3) достатньо, щоб функція $Y\left(t,\tau,\varphi\right)$ задовольняла нерівність

$$\left\|Y\left(t,\tau,\varphi\right)\right\| \leq K\exp\left(-\gamma\left(t-\tau\right)\right) \tag{6}$$

для всіх $t,\tau \in R$, $t \ge q$, $\varphi \in T^m$ при деяких додатніх K і γ.

Якщо ця умова виконується, то із (3) маємо

$$\left\| x_t(\varphi) \right\| \le \frac{K}{\gamma} \max_{\varphi \in T^m} \left\| f(x) \right\| + \frac{K}{1-\exp(-\gamma\beta)} \max_{\varphi \in T^m} \left\| I(\varphi) \right\| \tag{7}$$

для всіх $t \in R$ і $\varphi \in T^m$.

Крім того, із (7) при

$$c = \max\left\{ \frac{K}{\gamma}, \frac{K}{1-\exp(-\gamma\beta)} \right\}$$

отримуємо

$$\left\| u(\varphi) \right\| \le c \max\left\{ \max_{\varphi \in T^m} \left\| f(\varphi) \right\|, \max_{\varphi \in T^m} \left\| I(\varphi) \right\| \right\}. \tag{8}$$

Отримані результати сформулюємо у вигляді теореми.

Теорема 1. Нехай в системі рівнянь (1) функції $f(\varphi)$ і $I(\varphi)$ 2π-періодичні кусково-неперервні на T^m з розривами першого роду при $\varphi \in \Gamma$; $A(\varphi)$ – неперервна на T^m 2π-періодична матриця. Якщо матриця $Y(t,\tau,\varphi)$ задовольняє оцінці (6), то система рівнянь (1) має асимптотично стійку інваріантну множину

$$x = u(\varphi), \quad u(\varphi + 2\pi) = u(\varphi),$$

де $u(\varphi)$ – кусково-неперервна з розривами першого роду на множині Γ функція, яка задовільняє нерівність (8).

Як і в [1] можна отримати наступні достатні умови виконання нерівності (6).

Якщо координати вектора B раціонально незалежні і

$$\frac{1}{(2\pi)^m} \int_0^{2\pi} \cdots \int_0^{2\pi} \Lambda(\varphi) d\varphi_1 \ldots d\varphi_m < 0, \tag{9}$$

де $\Lambda(\varphi)$ – найбільше власне число матриці $A^{\bullet}(\varphi) = \frac{1}{2}\left(A(\varphi) + A'(\varphi) \right)$, то нерівність (6) виконується.

Застосувавши з очевидними змінами ітераційний процес, запропонований в [2] і використаний в [1], до слабо нелінійної системи

$$\begin{aligned} &\frac{d\varphi}{dt} = \omega, \qquad \frac{dx}{dt} = A(\varphi)x + f(\varphi, x), \quad \varphi \notin \Gamma, \\ &\Delta x\big|_{\varphi \in \Gamma} = I(\varphi, x), \qquad \Delta\varphi\big|_{\varphi \in \Gamma} = a, \end{aligned} \tag{10}$$

де $f(\varphi,x)$ і $I(\varphi,x)$ визначені для всіх $\varphi\in T^m$, $x\in R^n$ кусково-неперервні з розривами першого роду на множині Γ, періодичні з періодом 2π по φ і задовільняють умові Ліпшиця по x рівномірно відносно $\varphi\in T^m$:

$$\|f(\varphi,x')-f(\varphi,x'')\|+\|I(\varphi,x')-I(\varphi,x'')\|<N\|x'-x''\|$$

для всіх $x',x''\in R^n$, отримаємо наступне твердження.

Теорема 2. Якщо для матриці $A(\varphi)$ виконується умова (9), то при достатньо малій сталій Ліпшиця N система рівнянь (1) має асимптотично стійку інваріантну множину

$$x=u(\varphi),\qquad u(\varphi+2\pi)=u(\varphi),$$

де $u(\varphi)$ – кусково-неперервна з розривами першого роду при $\varphi\in\Gamma$ функція і

$$\Delta u\big|_{\varphi_t(\varphi)\in\Gamma}=I\left(\varphi_t(\varphi),u\left(\varphi_t(\varphi)\right)\right).$$

Теорема 2 залишається справедливою і для системи

$$\frac{d\varphi}{dt}=\omega,\qquad \frac{dx}{dt}=A(\varphi)x+f(\varphi,x),\quad \varphi\notin\Gamma,$$
$$\Delta\varphi\big|_{\varphi\in\Gamma}=a(\varphi),\qquad \Delta x\big|_{\varphi\in\Gamma}=I(\varphi,x)$$

у припущенні, що кожна із траєкторій системи

$$\frac{d\varphi}{dt}=\omega,\quad \varphi\notin\Gamma,\quad \Delta\varphi\big|_{\varphi\in\Gamma}=a(\varphi)$$

всюди щільно лежить на торі. Тут $a(\varphi)$ – неперервна 2π-періодична функція така, що $<k,a(\varphi)>=0\,(\mathrm{mod}\,2\pi)$.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Перестюк Н.А. Инвариантные множества одного класса разрывных динамических систем // Укр.мат.журн. – 1984. – 36, №1. – С.63-68.
2. Самойленко А.М. О сохранении инвариантного тора при возмущении // Изв. АН СССР. Сер.мат.- 1970. – 34, №6. – С.1219-1240.
3. Самойленко А.М., Перестюк Н.А. Дифференциальные уравнения с импульсным воздействием. – Киев: Вища шк., 1987. – 286 с.
4. Самойленко А.М., Станжицький О.М. Якісний та асимптотичний аналіз диференціальних рівнянь з випадковими збуреннями. – Київ: Наукова думка, 2009.
5. Парасюк І.О., Перестюк М.О. Локальний аналіз нелінійних диференціальних рівнянь. – Кам'янець-Подільський: Аксіома, 2013.

REFERENCES

1. Perestiuk N.A. (1984). *Ynvaryantnыe mnozhestva odnoho klassa razrыvnыkh dynamycheskykh system - Ukr.mat.zhurn., 36 (№1), 63-68 [in Russian]*.
2. Samoilenko A.M. (1970) *O sokhranenyy ynvaryantnoho tora pry vozmushchenyy - Yzv. AN SSSR. Ser.mat., 34 (№6), 1219-1240 [in Russian]*.

3. Samoilenko A.M., Perestiuk N.A. «Dyfferentsyalnыe uravnenyia s ympulsnым vozdeistvyem» Kyev, Vyshcha shk., 1987. P.286.

4. Samoilenko A.M., Stanzhytskyi O.M. «Yakisnyi ta asymptotychnyi analiz dyferentsialnykh rivnian z vypadkovymy zburenniamy» Kyiv, Naukova dumka, 2009.

5. Parasiuk I.O., Perestiuk M.O. «Lokalnyi analiz neliniinykh dyferentsialnykh rivnian» Kamianets-Podilskyi, Aksioma, 2013.

РЕФЕРАТ

Вишенська О.В. Про існування інваріантного тора одного класу розривних динамічних систем / О.В. Вишенська // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

Розглянуто систему диференціальних рівнянь з розривними траєкторіями. Необхідність вивчення таких систем пов'язана зокрема із запитами новітньої техніки, де імпульсні системи автоматичного регулювання, імпульсні обчислювальні системи займають помітне місце та інтенсивно розвиваються, збільшуючи коло своїх застосувань в різноманітних за своєю фізичною природою та функціональним призначенням технічних задачах.

Сформульовано достатні умови існування та асимптотичної стійкості інваріантної множини динамічної системи, що зазнає імпульсного збурення:

$$\begin{aligned} &\frac{dx}{dt} = A(\varphi)x + f(\varphi), \quad \frac{d\varphi}{dt} = \omega, \quad \varphi \notin \Gamma, \\ &\Delta x\big|_{\varphi\in\Gamma} = I(\varphi), \qquad \Delta\varphi\big|_{\varphi\in\Gamma} = a, \end{aligned}, \tag{1}$$

де $x=(x_1,...,x_n)$, $\varphi=(\varphi_1,...,\varphi_m)$, $\omega=(\omega_1,...,\omega_m)$; $f(\varphi)$ та $I(\varphi)$ – кусково-неперервні з розривами першого роду на множині Γ функції, 2π-періодичні по кожній компоненті φ_j, $j=\overline{1,m}$; $A(\varphi)$ – неперервна 2π-періодичні по кожній компоненті φ_j квадратна матриця; Γ – $(m-1)$-мірний многовид $<k,\omega>=0\,(\mathrm{mod}\,2\pi)$ такий, що $k=(k_1,...,k_m)$ – цілочисловий вектор і $\langle k,\omega\rangle\neq 0$: $a=(a_1,...,a_m)$ –числовий вектор такий, що $\langle k,a\rangle=0\,(\mathrm{mod}\,2\pi)$.

Теорема. Якщо для матриці $A(\varphi)$ виконано умову $\frac{1}{(2\pi)^m}\int_0^{2\pi}\cdots\int_0^{2\pi}\Lambda(\varphi)d\varphi_1\ldots d\varphi_m<0,$ то при достатньо малій сталій Ліпшиця N система рівнянь (1) має асимптотично стійку інваріантну множину

$$x=u(\varphi), \qquad u(\varphi+2\pi)=u(\varphi),$$

де $u(\varphi)$ – кусково-неперервна з розривами першого роду при $\varphi\in\Gamma$ функція і

$$\Delta u\big|_{\varphi_t(\varphi)\in\Gamma} = I\left(\varphi_t(\varphi), u\left(\varphi_t(\varphi)\right)\right).$$

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДИФЕРЕНЦІАЛЬНІ РІВНЯННЯ, ІМПУЛЬСНЕ ЗБУРЕННЯ, АСИМПТОТИЧНА СТІЙКІСТЬ.

ABSTRACT

Vyshenska O.V. Finite element modeling of the stress-strain state of pave structures under the action of transport loads. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

A system of differential equations with discontinuous trajectories is considered. The need to study such systems is associated primarily with the demands of the latest technology, where pulse automatic control systems, pulse computing systems have taken a very prominent place and are being intensively developed,

expanding the range of their applications in technical problems that are heterogeneous in physical nature and functional purpose.

Sufficient conditions for the existence and asymptotic stability of the invariant set of a dynamical system subjected to impulsive action are formulated:

$$\begin{aligned} &\frac{dx}{dt} = A(\varphi)x + f(\varphi), \quad \frac{d\varphi}{dt} = \omega, \quad \varphi \notin \Gamma, \\ &\Delta x\big|_{\varphi\in\Gamma} = I(\varphi), \qquad\qquad \Delta\varphi\big|_{\varphi\in\Gamma} = a, \end{aligned} \tag{1}$$

where $x=(x_1,...,x_n)$, $\varphi=(\varphi_1,...,\varphi_m)$, $\omega=(\omega_1,...,\omega_m)$; $f(\varphi)$ та $I(\varphi)$ – piecewise continuous with discontinuities of the first kind on the set Γ functions, 2π-periodic by each component φ_j, $j=\overline{1,m}$; $A(\varphi)$ – continuous 2π-periodic by each component φ_j square matrix; Γ – $(m-1)$-dimensional manifold $<k,\omega>=0\,(\mathrm{mod}\,2\pi)$ such that $k=(k_1,...,k_m)$ – integer vector and $\langle k,\omega\rangle\neq 0$: $a=(a_1,...,a_m)$ – number vector such that $\langle k,a\rangle = 0\,(\mathrm{mod}\,2\pi)$.

Theorem. If for the matrix $A(\varphi)$ condition $\dfrac{1}{(2\pi)^m}\int_0^{2\pi}\cdots\int_0^{2\pi}\Lambda(\varphi)d\varphi_1\ldots d\varphi_m<0,$ then for a sufficiently small Lipschitz constant N system of equations (1) has an asymptotically stable invariant set

$$x=u(\varphi), \qquad u(\varphi+2\pi)=u(\varphi),$$

where $u(\varphi)$ – piecewise continuous with discontinuities of the first kind as $\varphi\in\Gamma$ function and

$$\Delta u\big|_{\varphi_t(\varphi)\in\Gamma} = I\left(\varphi_t(\varphi), u\left(\varphi_t(\varphi)\right)\right).$$

KEY WORDS: DIFFERENTIAL EQUATIONS, IMPULSIVE ACTION, ASYMPTOTIC STABILITY.

АВТОРИ:

Вишенська Оксана Володимирівна, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри вищої математики, e-mail: oksana.vyshenska@gmail.com, тел. +38(044) 280-71-09, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, orcid.org/0000-0002-3360-8552.

AUTHORS:

Vyshenska O.V., Ph.D., National Transport University, tel. +38(044) 280-71-09, Ukraine, 01103, Kyiv, Boichuk str., 42, e-mail: oksana.vyshenska@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3360-8552.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гончаренко Ю.В., кандидат фізико-математичних наук, КНУ імені Тараса Шевченка, доцент кафедри обчислювальної математики, Київ, Україна.

Мейш Ю.А., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри вищої математики, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Goncharenko Yu.V., Ph.D., Taras Shevchenko National University of Kyiv, Department of Numerical Mathematics, Kyiv, Ukraine.

Meish Yu.A, Dr. Sci., (Engineering), Professor, National Transport University, Department of Higher Mathematics, Kyiv, Ukraine.

УДК 005.8:65.018:656.073 DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-055-073
UDC 005.8:65.018:656.073

СТРАТЕГІЧНО-ОРІЄНТОВАНЕ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ ЛОГІСТИЧНОГО АУТСОРСИНГУ В ДИНАМІЧНОМУ ЗОВНІШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Воркут Т.А., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, vorkutt@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0354-476X

Лущай Ю.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, ai9399@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7632-7400

Севост'янова А.В., доктор філософії, Національний транспортний університет, Київ, Україна, sevostianova1607@gmail.com, orcid.org/0000-0002-7693-0648

Срібна Н.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна natasribna28@gmail.com, orcid.org/0000-0002-7543-2997

Харута В.С., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, kharuta_vitaliy@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8897-7558

STRATEGIC-ORIENTED LOGISTICS OUTSOURCING PROJECT MANAGEMENT IN A DYNAMIC EXTERNAL ENVIRONMENT

Vorkut T.A., Dr.Sci.Tech., National Transport University, Kyiv, Ukraine, vorkutt@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0354-476X

Lushchai Yu.V. National Transport University, Kyiv, Ukraine, ai9399@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7632-7400

Sevostianova A.V., Doctor of Philosophy, National Transport University, Kyiv, Ukraine, sevostianova1607@gmail.com, orcid.org/0000-0002-7693-0648

Sribna N.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, natasribna28@gmail.com, orcid.org/0000- 0002-7543-2997

Kharuta V.S., PhD, National Transport University, Kyiv, Ukraine, kharuta_vitaliy@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8897-7558

Постановка проблеми. В сучасних умовах підвищення ефективності надання логістичних послуг в організаціях різної галузевої приналежності, в значній мірі, пов'язується з розвитком методів і моделей стратегічно-орієнтованого управління проєктами (програмами, портфелями) в сфері логістичного аутсорсингу.

Аутсорсинг (від англ. – outsourcing), як відомо, це передача до виконання організацією назовні (аутсорсерам) окремих бізнес-функцій або бізнес-процесів. За класифікацією Інституту аутсорсингу (США) виокремлюються наступні основні види аутсорсингу за критерієм функціональна ознака: IT – аутсорсинг; аутсорсинг бізнес-процесів (бізнес-функцій), як правило, непрофільних – маркетинг, логістика, управління персоналом, бухгалтерський облік, а також виробничий аутсорсинг (як часткові випадки); аутсорсинг управління активами. Корпоративні, бізнесові і/або функціональні цілі можуть бути досягнуті через прийняття організацією стратегії вертикальної інтеграції або стратегії аутсорсингу – як альтернативної стратегії вертикальної інтеграції – відносно забезпечення виконання певних бізнес-процесів (бізнес-функцій).

Логістичний аутсорсинг, відповідно, це передача логістичного обслуговування в цілому, або окремих видів логістичних послуг у різних поєднаннях, до виконання логістичним провайдерам, які залучаються ззовні. За основні види логістичних діяльностей, як правило, розглядаються: транспортування, управління парками транспортних засобів, складування, вантажопереоблення, виконання замовлень, проєктування логістичних мереж, управління запасами, планування постачань/попиту, управління провайдерами логістичних послуг, які залучаються ззовні. При цьому, маємо зауважити, що питання визначення умов надання логістичних послуг в організації традиційно залишається актуальним. Тобто, будуть вони надаватися вертикально інтегрованим (власним) структурним підрозділом, на засадах аутсорсингу (з вибором прийнятної бізнес-моделі) чи передбачається поєднання даних варіантів в певному сполученні.

В роботі [1] узагальнено очікувані організаціями основні результати за проєктами логістичного аутсорсингу. Це ріст показників рентабельності через зниження капіталовкладень в логістичні активи – як задіяні в непрофільному для організації бізнесі; можливість спрямування капіталу, який був «зв'язаний» в логістичному обслуговуванні, в бізнес, який організація визначає для себе як

профільний; підвищення ефективності роботи персоналу в профільному для організації бізнесі; забезпечення гнучкості організації в умовах розвитку нових ринків і/або нових продуктів (послуг), злиття або поглинань бізнесів, коли не можна точно визначитись із майбутніми потребами в логістичному обслуговуванні – щодо вимог клієнтів, методів реалізації логістичного циклу, досягнення конкурентоспроможності тощо; скорочення поточних, в тому числі, операційних витрат логістичного обслуговування і/або збільшення вартості організації – як бізнесу – завдяки покращенню співвідношення ціна/якість за пропонованими продуктами (послугами); спрощення управління логістичною функцією в організації; забезпечення клієнтоорієнтованого обслуговування на B2B і B2C ринках через вдосконалення, здебільшого, через запровадження спеціалізованих послуг логістичного обслуговування.

Водночас, в багатьох дослідженнях вказується і на основні фактори ризику аутсорсингу. Зокрема, в роботі [2] за дані фактори визначено наступне: втрата інтелектуальної власності; розкриття конфіденційної інформації; втрата організаційного знання; втрата контролю над бізнес-процесами (бізнес-функціями), які передаються на аутсорсинг; ускладнення – замість спрощення – управління бізнес-процесами (бізнес-функціями), які передаються на аутсорсинг; широке «поле» об'єктів для управління – люди, процеси (функції), знання тощо; погіршення здатності організації оперативно реагувати на зміни в галузі (на ринку); внутрішньополітичні і культурні проблеми в організації; неможливість через контракти на аутсорсинг гарантувати повний захист від збитків клієнтам, споживачам, бізнесу через невиконання зобов'язань; негарантоване скорочення витрат логістичного обслуговування і/або збільшення вартості організації – як бізнесу.

За даними Boston Consulting Group (BCG) 50 % ініціатив у сфері аутсорсингу «не вийшли» на очікуваний результат. За даними Dun&Bradstreet 20% контрактів не аутсорсинг було достроково розірвано протягом 2-х років, 50% – протягом 5-ти років. За даними Diamond Cluster International 78% із достроково розірваних контрактів мали місце через незадовільну якість надаваємих послуг, зміни стратегії організацій, зміни у витратах.

На противагу, наводяться переваги надання логістичних послуг, зокрема, транспортних, власними силами, тобто, власними парками транспортних засобів. За пріоритетністю зазначені переваги полягають, за даними дослідження [3], в наступному: надійність; встановлена обмежено мала тривалість циклу виконання замовлень (логістичного циклу); швидкість реагування; підтримка контакту з клієнтом (споживачем); відносно низькі витрати обслуговування порівняно до інших варіантів забезпечення останнього. За даними роботи [4] в якості переваг (за пріоритетністю) виступають: надійність; контроль; відносини з клієнтом (споживачем); термін виконання замовлень; гнучкість. Стосовно логістичного обслуговування в цілому за роботою [5] пріоритетність переваг його надання власними силами виглядає наступним чином: прямий контроль за наданням логістичних послуг; визначеність відносно рівня (якості) надання логістичних послуг; визначеність відносно величини «дійсних» витрат надання логістичних послуг.

Таким чином, простежується суперечливий характер існуючих теорій, та практик їх застосування, стосовно вибору раціональних умов забезпечення логістичного обслуговування в організаціях – власні сили і/або аутсорсинг із використанням відповідних бізнес моделей.

В науковій літературі та інших джерелах інформації відображено багато бізнесових кейсів зміни організаціями умов надання логістичних послуг через реалізацію відповідних проєктів. Дані випадки оцінюються як із точки зору представлення їх як кращої практики, так і набутих уроків в сфері управління проєктами. В значній частині досліджень увага акцентується на випадках «неуспішності», в інтерпретації авторів цих досліджень, власне проєктів аутсорсингу логістичних послуг і/або продуктів чи результатів цих проєктів. В якості прикладів такої «неуспішності» наводяться випадки повернення, в подальшому, організації до попередніх умов надання логістичних послуг; звернення, в рамках обраних умов, до інших постачальників логістичних послуг тощо. При цьому зазначені проєкти розглядаються виключно як засіб реалізації сформульованої попередньо стратегії логістичного аутсорсингу.

Виходячи з вищенаведеного, за актуальне науково-прикладне завдання може розглядатися розроблення нових і/або вдосконалення існуючих науково-методичних підходів до стратегічно-орієнтованого управління проєктами логістичного аутсорсингу в організаціях.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В методології управління проєктами загальновизнаною є точка зору, що проєкти, які реалізуються в організації – чи як форма здійснення основної діяльності, чи як форма здійснення змін, мають узгоджуватися зі стратегією розвитку цієї організації. Дана точка зору знайшла своє відображення як в більшості наукових робіт відповідного спрямування, так і в стандартах управління проєктами, програмами і портфелями – насамперед,

підготовленими найбільшою професійною організацією в області управління проєктами, яка була заснована в 1969 р. в США, – Інститутом управління проєктами (Project Management Institute, PMI). Це власне стандарт із управління проєктами, остання, сьома, відома на тепер версія якого датується 2021 роком [6], а також стандарти з управління програмами і управління портфелями, останні відомі на тепер версії яких датуються відповідно 2017 роком [7,8].

Разом із тим, як наукові роботи, так і вищезгадувані та інші відомі стандарти управління проєктами (програмами, портфелями), виходять із того, що стратегія спочатку формулюється – як певний план, а потім реалізується за допомогою проєктів – розглядуваних окремо або в складі портфелів чи програм. Водночас, в стратегічному управлінні, як науковій дисципліні, присутня проблема «розділення» – мається на увазі процесів стадії формулювання (формування) і реалізації стратегії [9]. Різні наукові школи, виокремлювані в стратегічному управлінні, по-різному вбачають вирішення цієї проблеми, рис. 1.

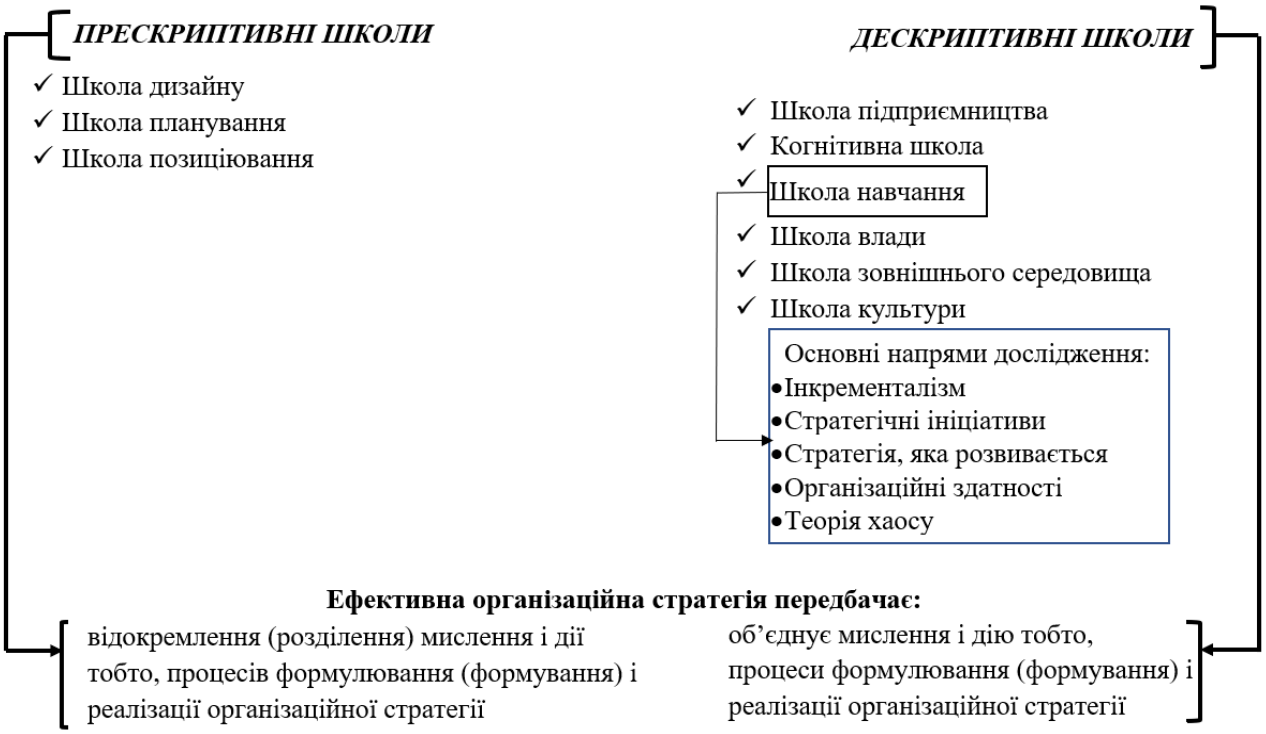


Рисунок 1 – Проблема «розділення» в наукових школах стратегічного управління
Figure 1 – The problem of «separation» in scientific schools of strategic management

Прескриптивні школи, до яких відносять школи дизайну, планування і позиціювання, вважають, що ефективна організаційна стратегія має відокремлювати мислення від дії – тобто, формулювання (або формування – в термінології дескриптивних шкіл) стратегії від її реалізації. Дескриптивні школи, до яких відносять школи підприємництва, навчання, влади, зовнішнього середовища, культури, а також когнітивну школу, навпаки, вважають, що ефективна організаційна стратегія має об'єднувати мислення і дію [9].

Сучасне бачення взаємозв'язку між організаційними стратегіями і проєктами в методології управління проєктами узгоджується, в більшій мірі, з позицією прескриптивних шкіл стратегічного управління і залишає поза увагою позицію дескриптивних шкіл. Тоді, як саме на дескриптивних школах, насамперед, школі навчання – в різних напрямах її досліджень – акцентує увагу сучасна теорія і практика стратегічного управління в організації. Підходи дескриптивних шкіл розглядаються за порівняно більш ефективні в умовах застосування в динамічному і/або відносно складному зовнішньому середовищі [10]. Водночас, оцінювання зовнішнього середовища організації є обов'язковою умовою розроблення її стратегії, оскільки мова йде про впливову, часом непередбачувану, діючу силу. Нерідко зовнішні умови змінюються настільки несподівано, що всі попередні плани маємо відправити до машини з нарізання паперу. Або оточення може бути настільки нестабільним, що розроблення будь-яких довгострокових стратегій не має сенсу. Не слід ігнорувати й активну роль «реалізаторів», які можуть чинити спротив обраному стратегічному курсу … В основу розділення процесів формулювання (формування) і реалізації стратегії покладаються досить

претензійні припущення щодо того, що вище керівництво має здатність розуміти і передбачати динаміку зовнішнього середовища або що організаційне оточення є достатньо стабільним чи, принаймні, передбачуваним. І, таким чином, сформульовані сьогодні стратгії залишаються життєздатними протягом тривалого проміжку часу. Проте, світ із кожним днем стає все більш «турбулентним» і подібні припущення все частіше демонструють свою неспроможність [9].

В межах школи навчання в роботі [9] пропонується виокремлювати наступні напрями досліджень: інкрементализм, який отримав визнання в 1950–1980 рр.; стратегічні ініціативи – 1980-ті рр.; стратегія, яка розвивається – 1980-ті рр.; організаційні здатності – початок 1990-х рр.; теорія хаосу – 1990-ті рр, рис. 1. В дослідженнях за напрямом «стратегія, яка розвивається», виокремлюваним в школі навчання, присутня точка зору, що наперед визначена стратегія фокусується на контролі (що дає певність у тому, що задумки управляючих будуть реалізовані на практиці), тоді як стратегія, яка виникла спонтанно, робить наголос на навчанні (тобто, тут розуміння того, які задумки і чому мають стояти на першому місті, приходить в процесі дій). Концепція стратегії, яка виникає спонтанно і розвивається, на відміну від методологічних підходів прескриптивних шкіл стратегічного управління, визнає право і здатність організації на експеримент. Наприклад, можна взяти одну просту дію, налагодити зворотний зв'язок, і процес буде тривати доти, доки організація не зупиниться на моделі, яка стане її стратегією. При цьому організація не має потреби в тому, щоб «закидати вудку навмання». Кожна спроба впливає на наступну, що приводить до певного набору рецептів, і, в підсумку, завершується одним «грандіозним бенкетом» [9].

Відповідно до принципів інкрементализму – як більш раннього, відносно напряму «стратегія, яка розвивається», напряму досліджень в школі навчання – управляючі організацією мають усвідомлено формувати гнучкість. Неможливо передбачити, в якій формі і в який час виникнуть ті серйозні загрози і ті можливості, з якими може зіштовхнутись організація. Закони логіки диктують, що управляючі повинні діяти в спосіб, спрямований на підвищення гнучкості організації, а також мати в резерві ресурси, які забезпечують її послідовний ріст у сприятливих умовах.

Проблематика стратегічного управління в організації перетинається з проблематикою теорії організації і організаційного розвитку. При цьому з поняттям «організаційний розвиток» можуть ототожнюватися фактично відмінні поняття – організаційний ріст (англ. – organizational growth), організаційний розвиток (англ. – organizational development), організаційне проєктування (англ. – organizational design), будова організації (англ. – organizational construction). Із кожним із цих понять пов’язується свій напрям досліджень, відповідно, методи, моделі, механізми і технології [11]. Відомими є доволі багато моделей розвитку організації. Ми не зупиняємось детально на даних моделях, оскільки проблематика організаційного розвитку як такого виходить за межі даного дослідження. Хоча, очевидно, предметом для подальших досліджень може бути розроблення нових, вдосконалення існуючих або вибір відповідних до ситуації, яка складається, моделей організаційного розвитку в межах впровадження в організації концепції «стратегія, яка розвивається». Водночас, в контексті даного дослідження, не можемо уникнути використання поняття «організація, яка навчається». Зазначимо, що терміни «організація, яка навчається» або «самонавчаючася організація», які, як правило, вживаються як взаємозамінні, були запропоновані ще наприкінці 1970-х рр. Т. Пітерсом і Р. Вотерманом [12]. На тепер, за напрямом теорії організації і організаційного розвитку отримали розвиток ряд концепцій типу «організація, яка навчається».

В роботі [9] наголошується, що не зовсім правильно асоціювати спонтанну стратегію, в розумінні стратегію, яка розвивається, з власне навчанням. Стратегія, яка розвивається, може вибудовуватися і через шаблонні схеми дій, які виробляються в учасників процесу стратегічного управління не стільки підсвідомими думками, скільки зовнішніми силами або внутрішніми потребами. Водночас, дійсне навчання має місце на стику мислення і дій, коли його суб’єкти аналізують свої вчинки. Іншими словами, стратегічне навчання має поєднувати міркування про майбутнє з аналізом результатів минулого. Спираючись на прийняту в екології модель багаторазового програвання (розгляду варіацій), відбору потрібного варіанта або тривалого використання, К. Вейк описував наступну форму поведінки, яка навчає. В першу чергу, «щось зроби», потім, «шляхом відбору, відшукай те, що працює», тобто, «переосмисли свої дії в минулому». І, нарешті, «дотримуйся лише тієї поведінки, яка видається за бажану». Звідси – важливий висновок про те, що нові, цікаві, розсудливі стратегії повинні спиратися на багатий досвід і високий рівень компетенції управляючих. Розуміння починається з осмислення і аналізу минулих подій [13].

Необхідно зазначити, що в більшості наукових робіт навчання розглядається як процес, а увага їх авторів зосереджується, в першу чергу, на управлінні змінами, ніж на власне стратегічному управлінні [9]. У випадку ж із концепцією «стратегія, яка розвивається» мова йде не про зміни в

стратегії, оскільки остання не сформульована (сформована) як кінцевий продукт, а про вибудовування стратегії в процесах стадій формування і реалізації, які накладаються, через певну череду експериментів. Разом із тим, якщо розвиток, і організаційної стратегії також, інтерпретувати як зміну в організації, якої (зміни), в загальному випадку, не уникнути, в матеріальних і нематеріальних активах, ринковій позиції тощо, то в управлінні формуванням і реалізацією стратегії можна виокремити дві основні області. Це управління переходом системи (як організації, її бізнес-процесів, активів, інфраструктури тощо) із одного стану в інший. І це управління відношенням персоналу, що залучається до даного переходу, яке розглядається в контексті формування корпоративної культури.

В контексті даної роботи, насамперед обраної в ній предметної області в сфері управління проєктом – формування і реалізація організаційної стратегії логістичного аутсорсингу, також представляє інтерес такий напрям досліджень у школі навчання як організаційні здатності. В інтерпретації роботи [9] – це динамічний підхід до розвитку організаційних здатностей, який виступає як гібрид шкіл дизайну і навчання – в розумінні більш сучасного бачення адаптивної стратегії в якості концептуального дизайну. В рамках цього напряму домінуючою є концепція центральної (ключової) компетенції організації – як способу поєднання ресурсів і здатностей організації для досягнення реального результату [14], запропонована К. Прахаладом і Г. Хемелом. Вони зробили припущення, що в основі конкурентних переваг організації знаходяться її глибоко «закорінені» здатності, які сприяють виходу організації на нові ринки. Це має місце в тих випадках, коли організація знаходить нове застосування для того, що в неї виходить найкраще. І успіх досягається не через гарний продукт, пропонований організацією, а через унікальний набір здатностей, які дозволяють організації цей продукт виробляти. Як наслідок – управляючі повинні розглядати свою діяльність не в площині продуктів, які виробляють, або структурних підрозділів, а як портфель ресурсів і здатностей, які можуть поєднуватися в самий неймовірний спосіб.

Відносно менш відомими для широкого загалу є ще дві концепції К. Прахалада і Г Хемела, які отримали розвиток за напрямом досліджень організаційних здатностей. Це концепція стратегічних намірів і концепція напруження та системи важелів. Концепція стратегічних намірів виходить із того, що останні встановлюють головні цілі, визначають нові ринкові можливості і виступають як «девіз», що надихає. В концепції напруження та системи важелів термінологічно напруження визначається авторами як «невідповідність між ресурсами і прагненнями» організації [15]. Є організації зі значними ресурсами, які не напружуються, вважаючи себе за «номер один». І є організації, ресурси яких значуще обмежені, проте, ними рухає сильне честолюбство, що приводить до того, що вони віддають всі свої сили на досягнення бажаного [9]. Звідси, для другого типу організації, постає питання: як досягти розширення обмеженої ресурсної бази? К. Прахалад і Г. Хемел пропонують розглянути наступні можливості [15]:

– більш ефективна концентрація ресурсів на досягненні стратегічних цілей;

– більш ефективне акумулювання ресурсів, набуття знань із досвіду і використання ресурсів інших компаній – наприклад, через налагодження зв'язків із основними постачальниками з метою використання їх інновацій;

– доповнення одного виду ресурсу іншими, підвищення якості виробів, прагнення до збалансованого розвитку у виробництві продуктів або наданні послуг, а також розширення постачань товарів, маркетингу й інфраструктури сервісу;

– економія ресурсів там, де тільки це можливо, використовуючи перероблення або кооперуючись із іншими компаніями щодо ресурсів;

– відновлення ринкових ресурсів у стислі терміни.

Зазначимо, в контексті заявленої потреби в налагодженні зв'язків із основними постачальниками, що, починаючи з 1970–1980-х рр. і на тепер, в наукових дослідженнях щодо стратегічного управління простежується інтерес до проблематики формування і розвитку міжорганізаційних альянсів. Дж. Пфеффер і Г. Салансик показали, що в розвинутих економіках на зміну традиційній уяві про ринок, як про «відкриту арену», приходять організаційні і галузеві регуляторні системи, пов'язані між собою достатньо складними відносинами [16]. За цих умов організації можуть або адаптуватися до вимог зовнішнього середовища, зокрема, цього погляду дотримуються прибічники школи зовнішнього середовища, в стратегічному управлінні, або спробувати змінити зовнішнє середовище в такий спосіб, щоб воно відповідало їх здатностям. Другу точку зору, насамперед, представляє в стратегічному управлінні школа влади.

Із початку 1980-х рр. і дотепер відмічається поширення тенденції до зменшення організаціями рівня вертикальної інтеграції. Організації очікують підвищувати ефективність своєї роботи завдяки

концентрації на діяльностях, які розглядаються ними за основні (профільні). За даних обставин має місце перехід від вертикальної до, так би мовити, віртуальної інтеграції [17]. Для того, щоб цей перехід став успішним управляючі організаціями різної галузевої приналежності повинні опановувати підходи до управління об'єктами і процесами, які вже не можуть контролювати прямо, проте ефективність яких мають відстежувати [18]. Ключем до розв'язання даної проблеми може слугувати розвиток концепції управління ланцюгами постачань, яка в XXI ст., згідно прогнозів фахівців, має стати домінуючою для багатьох організацій [19, 20]. При цьому управління ланцюгами постачань розглядається значно ширше ніж просто форма інтеграції, яка займає проміжне становище між вертикальною інтеграцією і окремими організаціями. Його можна тлумачити і як теорію управління, і як сукупність функцій і/або процесів, які, на основі застосування інтеграційних принципів, забезпечують реалізацію даної теорії.

Як зазначив Г. Хемел, наголошуючи на «міфічності» того, що, впроваджуючи стратегію, ви ведете боротьбу проти всього світу, більшість управляючих вважає, що вони в змозі проконтролювати всі напрямки бізнесу. Водночас, як визначити, де починаються і закінчуються межі компанії, коли нормою стали тимчасові працівники, звернення до зовнішніх джерел і довгострокові постачальники. Будь-яка компанія володіє лише незначною частиною значущого ланцюга цінності. Радикальна стратегія, яка, в підсумку, веде до дійсних інновацій, стає все складнішою і складнішою. Більшість компаній не має змоги контролювати суттєво важливі для успішної діяльності активи [21].

Критикуючи школу навчання, як, в принципі, і всі школи стратегічного управління, тільки в різний спосіб, автори роботи [9] акцентують увагу на тому, що надмірний наголос на навчанні може спричинити негативний вплив на характер стратегії – з точки зору її послідовності і життєздатності. Причиною цього є навчання без цілі, коли ініціативи підтримуються лише тому, що вони є більш новими і/або цікавими. Дану проблему описує концепція стратегічного дрейфування [22]. Тобто, організація, «дрейфуючи», поступово «втрачає» стратегію.

Школа навчання не має відноситися до навчання як до «святині». Навчання – це, швидше, наука, яка допомагає відчути, за яким напрямком слід рухатись і коли необхідно змінити орієнтири. Тобто, наука встановлення стратегічних перспектив. Можливо, виникне потреба в тривалих експериментах, проте, організація отримає можливість використати нагоду і привнести в практику нові ефективні методи. Разом із тим, постійні зміни, то інша справа. І фокус не в тому, щоб змінювати все підряд. Ефективність управління полягає в тому, щоб одночасно вчитися і реалізовувати дієві стратегії [9]. Деякі організації постійно стикаються з новими для них ситуаціями. Іншими словами, їх оточення є динамічним і непередбачуваним, що робить вибір однієї стратегії досить складним. У цьому випадку організація схильна приймати форму дослідницької, а навчання стає обов'язковою умовою збереження гнучкості.

Традиційно, в умовах розділення в стратегічному управлінні стадій формулювання (формування) і реалізації стратегії, проєкт визначається за ефективний засіб реалізації стратегії. Водночас, в умовах накладання вищезазначених стадій, що вирізняє бачення процесу стратегічного управління дескриптивними науковими школами, насамперед, школою навчання, проєкт може розглядатися не лише як засіб реалізації, а й як засіб формування стратегії.

В рамках слідування такому напряму досліджень, який набув визнання в школі навчання, як «стратегія, яка розвивається», процес формування стратегії, виконуваний у взаємозв'язку з процесом реалізації стратегії, може бути представлений як послідовність (череда) експериментів. При цьому уникнути, чи, принаймні, суттєво зменшити ймовірність виникнення, вищезазначуваної проблеми «втрата стратегії», яка притаманна школі навчання, як можна очікувати, має здійснення даних експериментів у формі проєктів. Підставою до висунення такого припущення є ті загальновизнані переваги, які має проєктний підхід, насамперед, «забезпечуючи логічну структуру і послідовність, … вимагаючи від людей, які займаються плануванням і прийняттям рішень, дисципліни, а також гарантуючи, що відповідні проблеми та зауваження будуть взяті до уваги і підлягатимуть систематичному аналізу до моменту прийняття і початку виконання тих чи інших рішень» [23].

За представлених обставин методологічні підходи стратегічно-орієнтованого управління проєктами потребують подальшого вдосконалення, щоб забезпечити можливість «навчання стратегії» через проєкти, які виступають в якості форми здійснення вищезазначених експериментів. В даній роботі методологічні підходи до управління проєктами – як формою, в якій здійснюються експерименти щодо вибудовування стратегії, – розглядаються за умовами розвитку стратегії логістичного аутсорсингу.

Визнаючи аутсорсинг, як контракти з зовнішніми постачальниками, за стратегію, автори виходять із його тлумачення як альтернативи стратегії вертикальної інтеграції. Тобто, певні

корпоративні, бізнесові і/або функціональні стратегічні цілі можуть бути досягнуті через прийняття стратегії вертикальної інтеграції або альтернативної їй стратегії – стратегії аутсорсингу щодо визначених бізнес-процесів (бізнес-функцій). В якості таких бізнес-процесів (бізнес функцій) в організації, в умовах спостерігаємого підвищення значущості і складності логістики, може виступати логістичне обслуговування – як в цілому, так і за окремими складовими. Дане бачення авторів узгоджується, зокрема, з роботою [24].

В 1937 р. Р. Коуз у своїй роботі «Природа фірми», яка стала передтечею цілого ряду робіт за відповідним напрямом, показав, що визначення умов забезпечення певного виду діяльності в ринковій економіці – власні сили (вертикальна інтеграція) чи контракти з зовнішніми постачальниками – має виходити з показника порівняльної вартості. Коли трансакційні витрати, які пов'язані з роботою в ринковому середовищі, є вищими, ніж витрати забезпечення відповідної діяльності власними силами (в межах фірми), то така діяльність має бути вертикально інтегрована [25]. Тобто, внутрішній ринок підприємства йде на зміну звичайному (зовнішньому) ринку і, за допомогою адміністративного регулювання, вирішує проблеми функціонування і розвитку підприємства.

Подальший розвиток теоретичні положення, які були сформульовані Р. Коузом, отримали в роботах О. Вільямсона [26, 27] – як економічна теорія операційних (трансакційних) витрат. Дана теорія вбачала за ціль розвитку будь-якої організації скорочення операційних витрат, тобто, витрат пов'язаних із трансакцією – як бізнесовою операцією (угодою). Останню Р. Коуз ввів як одиницю економічної діяльності. Відповідно до цієї теорії витрати фірми поділяються на три групи:

– виробничі витрати, тобто, витрати, які безпосередньо пов'язані з використанням у виробництві сировини та напівфабрикатів, а також із оплатою праці;

– операційні витрати, тобто, витрати, пов'язані з маркетингом, а також із веденням переговорів і укладанням контрактів – як в межах самої фірми, так і з іншими фірмами;

– витрати управління, тобто, витрати, пов'язані з управлінням – як фірмою в цілому, так і окремими напрямами її діяльності.

Роботи О. Вільямсона безпосередньо перетинаються з основними положеннями «нової інституціональної економіки», яка досліджує операції, які здійснюються як в межах окремої фірми, так і власне між фірмами. При цьому головним є питання «меж» фірми, тобто, з'ясування того, які операції більш економічно виконувати в межах фірми, а які «закуповувати» на стороні. Саме вивчення того, яким чином мають забезпечуватися операції фірми, складає основу теорії операційних (або «від операційних») витрат. При цьому виконання операцій в межах фірми в зазначеній теорії пов'язується зі стратегією вертикальної інтеграції.

Відповідно до підходу операційних витрат на величину останніх впливають чотири чинники: невизначеність; спеціалізація активів; обмежена раціональність; «опортунізм». Невизначеність пов'язується зі змінами в зовнішньому середовищі, які учасники угоди не можуть передбачити або контролювати. Під спеціалізацією активів розуміють те, що людські ресурси, нематеріальні або матеріальні активи є специфічними для конкретного типу угод. Спеціалізація активів, варіюючи від однієї угоди до іншої, породжує обмежено малий вибір потенційних постачальників або клієнтів за угодами. Під обмеженою раціональністю розуміють те, що ні одна особа, яка приймає певні рішення, не має повної інформації з питання, за яким ці рішення приймаються. За «опортунізм», в даному випадку, визначають становище, за яким деякі особи, які приймають рішення, можуть йти на ризик, який виходить за межі їх компетенції. Обмежена раціональність і «опортунізм», в тій чи іншій мірі, присутні завжди. Проте, вони розглядаються в контексті доцільності виконання окремих операцій в межах, або за межами, фірми тільки в поєднанні з невизначеністю і обмежено малим вибором за угодами.

Слідуючи теорії операційних витрат, при створенні і розвитку організації необхідно враховувати невизначеність зовнішнього середовища, до якого, зокрема, можуть входити потенційні учасники з невідомою кредитоспроможністю і суперечливою поведінкою. Звідси, виникає прагнення побудувати організацію більш високого рівня, що має дозволити контролювати поведінку залучуваних партнерів за допомогою, наприклад, безпосереднього моніторингу, контролю та інших механізмів. Прийнятним за даних умов для організації є впровадження вертикальної інтеграції. Водночас, можливим є і протилежне прагнення. А саме – повернутись до «вільного ринку», наприклад, укладаючи договір на аутсорсинг. Останнє, на тепер, розглядається рядом авторів за найбільш дієвий метод зниження операційних витрат [28].

В роботі [29], залежно від очікувань, які покладаються на аутсорсинг, розрізняють рівень аутсорсингу. Низький – скорочення витрат через економію на оплаті праці, дію ефекту економії на масштабі, варіативність витрат; середній – створення довгострокової цінності (вартості) через збільшення прибутку, підвищення якості обслуговування клієнтів, ріст продуктивності, скорочення

часу виходу на ринок нових продуктів; високий – досягнення конкурентної переваги через оптимізацію управління в умовах змін бізнесових циклів, підвищення стратегічної гнучкості, можливість співпраці, розширення глобальної присутності. Відповідно, низький рівень аутсорсингу має низький, середній – середній, високий – високий стратегічний вплив на організацію.

Зауважимо, що перехід на логістичний аутсорсинг – як домінуючий тренд в логістичному управлінні – найбільш чітко простежувався в індустріально розвинутих країнах, на відміну, наприклад, від України, в 1990-х – на початку 2000-х рр. Причому мова велася, на тлі дерегулювання, насамперед, транспортної галузі [30], здебільшого про відмову від логістичного обслуговування власними силами, а не про перехід між різними бізнес-моделями логістичного аутсорсингу як такого. Разом із тим, організації, які перейшли до аутсорсингу логістичних послуг, із часом починають розглядати можливості до стратегічного розвитку останнього. Відомі цілий ряд робіт, присвячених, зокрема, формуванню партнерств і управлінню останніми – як в контексті забезпечення постачань ззовні будь-яких продуктів і послуг, так і суто логістичних послуг. Це насамперед, роботи Дж. Гарднера, М. Купер і Т. Нудевайера [31], Л. Еллрем [32], Я. Стюарта [33], П. Багчі і Х. Вірума [34].

Як правило, фактори, які є значущими щодо вибору бізнес-моделі інтеграційних, насамперед, партнерських відносин, в наданні логістичних послуг в багатьох дослідженнях ототожнюються з факторами, які розглядаються за значущі при впровадженні стратегії вертикальної інтеграції. Це, зокрема, згадувані нами, в контексті звернення до підходу операційних витрат, ступінь спеціалізації активів та невизначеність – у різних її формах. При цьому саме поняття активів тлумачиться доволі широко. До них відносять основні засоби, нематеріальні активи, людські ресурси, продукти (послуги), які постачаються (споживаються), тощо. Якщо при виконанні угоди передбачається використовувати, наприклад, основні засоби, ступінь спеціалізації яких є значним, то це породжує проблему – ймовірність того, що ці основні засоби будуть задіяні за межами відповідної угоди, є доволі невисокою. Умови взаємодії учасників відповідної угоди потребують підтримки через розвиток відносин інтеграції.

Водночас, можна навести приклади на противагу. Так, організація може розглядати для себе за прийнятні послуги транспорту загального користування, які надаються, з використанням термінальної технології, або послуги щодо зберігання вантажів у короткостроковому періоді, які надаються складами загального користування. За цих умов відносини з логістичними провайдерами, які забезпечують дані послуги, можуть будуватися на ґрунті звичайних ринкових трансакцій.

Проведений огляд робіт дозволяє дійти висновку, що в сфері проблематики стратегічно-орієнтованого управління проєктами в організаціях ідентифікується наукова прогалина – в частині браку методологічних підходів до стратегічно-орієнтованого управління проєктами в умовах взаємопов'язаного представлення процесів за стадіями формулювання (формування) і реалізації організаційної стратегії в контексті функціонування і розвитку організацій в динамічному і/або відносно складному зовнішньому середовищі. Виходячи з даного визначення наукової прогалини, а також обрання за предметну область дослідження розглядуваних у взаємозв'язку процесів формування і реалізації організаційної стратегії логістичного аутсорсингу, мета роботи може бути сформульована наступним чином.

Мета роботи – підвищення ефективності стратегічно-орієнтованого управління проєктами в динамічному середовищі на основі розроблення концепції проєктно-орієнтованого управління розглядуваними у взаємозв'язку процесами за стадіями формування і реалізації організаційної стратегії логістичного аутсорсингу – як стратегії, яка розвивається.

Об'єкт дослідження – процеси стратегічно-орієнтованого управління проєктами логістичного аутсорсингу в організаціях.

Предмет дослідження – методи, моделі, механізми і стандарти стратегічно-орієнтованого управління проєктами в організаціях, а також методи і моделі визначення умов логістичного обслуговування організацій.

Виклад основного матеріалу. Автори в даній роботі виходять із бачення, яке вирізняє дескриптивні наукові школи стратегічного управління, насамперед, школу навчання, такого характеру взаємозв'язку між стадіями формування і реалізації організаційної стратегії, за різновид якої вони визначають організаційну стратегію логістичного аутсорсингу, за яким стадія реалізації – частково або повністю – буде збігатися зі стадією формування [9]. Наступне припущення авторів полягає в тому, що формування і реалізація організаційної стратегії логістичного аутсорсингу розглядаються ними в контексті одного з напрямів досліджень вищезазначеної школи навчання – напряму «стратегія, яка розвивається». В рамках бачення організаційної стратегії логістичного аутсорсингу як стратегії, яка розвивається, вона може бути представлена послідовністю певних фаз. Останнє при цьому не обов'язково передбачає однозначність у послідовності проходження цих фаз і обов'язковість у проходженні взагалі. Всі фази є адаптивними, гнучкими і варіативними. Перехід між

фазами розглядається як експеримент організації, який може бути здійснено в формі проєкту – проєкту зміни фази розвитку організаційної стратегії логістичного аутсорсингу (РОСЛА).

На основі вищезазначених припущень сформульовано концепцію проєктно-орієнтованого управління формуванням і реалізацією організаційної стратегії логістичного аутсорсингу, якою передбачається проєктно-орієнтоване управління розглядуваними у взаємозв'язку процесами за стадіями формування і реалізації організаційної стратегії логістичного аутсорсингу – як стратегії, яка розвивається, – за умовами представлення даної стратегії послідовністю потенційно можливих базових фаз розвитку, перехід між якими і зміна в яких трактуються як експеримент організації, який може бути здійснено в формі проєкту, рис. 2.

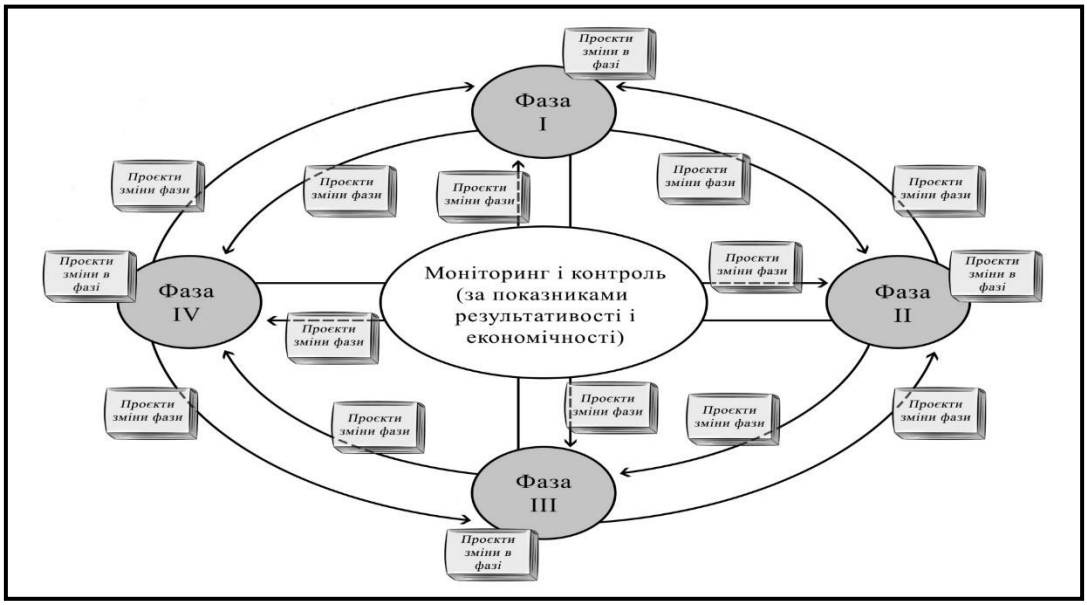


Рисунок 2 – Концепція проєктно-орієнтованого управління формуванням і реалізацією організаційної стратегії логістичного аутсорсингу

Figure 2 – The concept of project-oriented management of the formation and implementation of organizational strategy of logistics outsourcing

основні фази, як потенційно можливі базові, щодо здійснення логістичного обслуговування: власними силами (I); постачальниками ззовні за умовами конкурентних відносин – короткострокові контракти з потенційно необмеженою кількістю постачальників (II); функціональними постачальниками ззовні за умовами конкурентних відносин – довгострокові контракти з обмежено малою кількістю постачальників (III); постачальниками ззовні за умовами партнерських відносин, можливе додаткове виокремлення фаз за рівнем партнерства, (IV)

В межах логістичного процесу (функції) можна виокремити певний перелік підпроцесів (робіт), яким, в свою чергу, відповідають певні види логістичних послуг, кожна з яких у цілому, або її складові, гіпотетично, можуть бути об'єктом аутсорсингу. Поширеною також є практика передачі на аутсорсинг комплексів логістичних послуг, сформованих у різний спосіб. При цьому умови слідування логістичним компромісам передбачають, в загальному випадку, існування взаємозв'язку між рішеннями, які приймаються відносно умов забезпечення надання окремих логістичних послуг.

На основі зіставно-порівняльного аналізу наукових робіт із логістичного управління та інших джерел інформації виокремлено наступні 4 фази у розвитку стратегії логістичного аутсорсингу, як базові, щодо здійснення логістичного обслуговування: власними силами – (I-ша фаза); постачальниками ззовні за умовами конкурентних відносин – короткострокові контракти з потенційно необмеженою кількістю постачальників (II-га фаза); функціональними постачальниками ззовні за умовами конкурентних відносин – довгострокові контракти з обмежено малою кількістю постачальників (III-тя фаза); постачальниками ззовні за умовами партнерських відносин, можливе додаткове виокремлення фаз за рівнем партнерства (IV-та фаза), рис. 2.

Умовами адаптації концепції проєктно-орієнтованого управління формуванням і реалізацією організаційної стратегії логістичного аутсорсингу до застосування в проєктно-орієнтованих організаціях передбачається, що закупівлі логістичних послуг за проєктами основної діяльності цих організацій за будь-якою з фаз розвитку відповідної стратегії будуть здійснюватися на

централізованій основі. Водночас, виходячи зі спостерігаємих практик функціонування і розвитку проєктно-орієнтованих організацій, мають бути додатково введені ще дві фази, пов'язані з закупівлями логістичних послуг в цих організаціях. Це фаза, за якою закупівлі здійснюються за кожним проєктом основної діяльності індивідуально, і фаза, за якою закупівлі здійснюються за даними проєктами на комбінованій основі – як поєднання централізованих і індивідуальних закупівель, рис. 3.

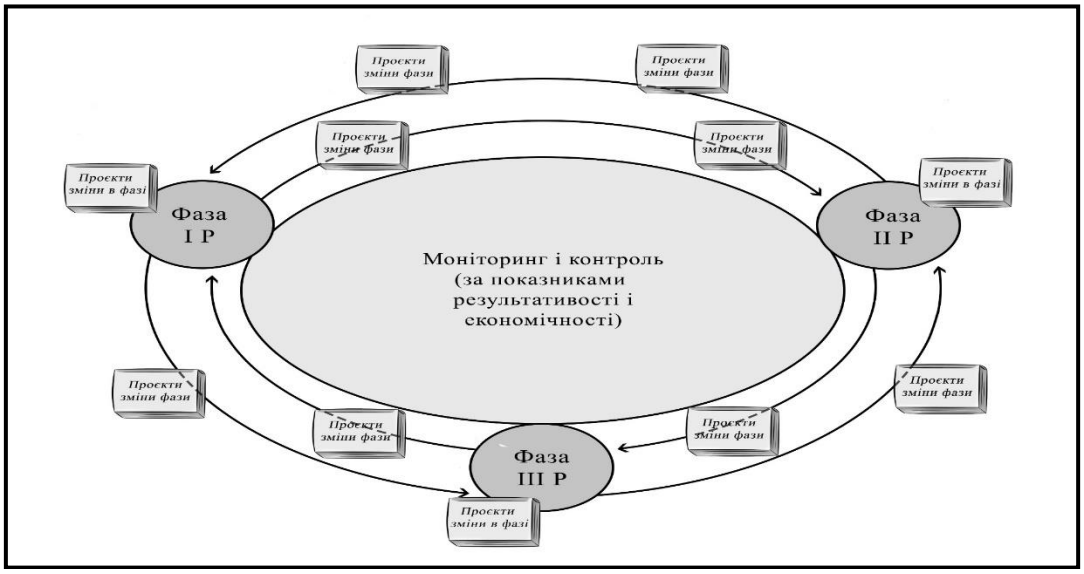


Рисунок 3 – Концепція проєктно-орієнтованого управління формуванням і реалізацією організаційної стратегії логістичного аутсорсингу, адаптована за умовами застосування в проєктно-орієнтованих організаціях

Figure 3 – The concept of project-oriented management of the formation and implementation of organizational strategy of logistics outsourcing, adapted to the conditions of application in project-oriented organizations

основні фази, як потенційно можливі базові, щодо здійснення закупівель логістичних послуг: I Р (I-IV – за оригінальною концепцією, рис. 2) – централізовано, на рівні материнської організації; II Р – індивідуально, на рівні окремих проєктів; III Р – комбіновано, як поєднання закупівель за умовами фаз I Р і II Р у певних сполученнях

Характер адаптації концепції проєктно-орієнтованого управління формуванням і реалізацією організаційної стратегії логістичного аутсорсингу до застосування в проєктно-орієнтованих організаціях зумовлює необхідність у взаємопов'язаній комплексній постановці, і, відповідно, вирішенні, задач щодо управління централізованими закупівлями логістичних послуг за проєктами основної діяльності на рівні материнської проєктно-орієнтованої організації – як постійно існуючої і управління індивідуальними закупівлями на рівні проєктів основної діяльності – як тимчасових організацій, що детальніше розглядається в роботі [35].

Виходячи з вищенаведеного, можна запропонувати підхід до формування типології проєктів розвитку організаційної стратегії логістичного аутсорсингу. В рамках даного підходу проєкти категорії РОСЛА поділяються відносно: 1) фаз РОСЛА – категорія проєктів зміни фази (через зміну умов закупівлі логістичних послуг) і категорія проєктів зміни в фазі розвитку (через зміни в наявних умовах закупівлі логістичних послуг) організаційної стратегії логістичного аутсорсингу; 2) етапу вирішення проблеми РОСЛА – категорія аналітичних проєктів, категорія проєктів реалізації. Категорію проєктів апробації пропонується виокремлювати, поруч із категоріями аналітичних проєктів і проєктів реалізації, в контексті розгляду стадій формування і реалізації організаційної стратегії за стадії, які не розділяються, рис. 4.

При цьому під проєктом РОСЛА будемо розуміти виокремлюваний межами встановлених часових і вартісних обмежень комплекс заходів організаційного, технічного і економічного характеру для формування і реалізації організаційної стратегії логістичного аутсорсингу – як стратегії, яка розвивається, який, в загальному випадку, потребує капіталовкладень.



Рисунок 4 – Категорії проєктів розвитку організаційної стратегії логістичного аутсорсингу
Figure 4 – Categories of projects for the development of organizational strategy of logistics outsourcing

В табл. 1 наведено продукти і результати за категоріями проєктів зміни фази РОСЛА – як стратегії, яка розвивається.

Таблиця 1 – Продукти і результати за категоріями проєктів зміни фази розвитку організаційної стратегії логістичного аутсорсингу – як стратегії, яка розвивається

Table 1 – Products and results by categories of projects to change the development phase of the organizational strategy of logistics outsourcing – as an evolving strategy

Категорія проєктів	Продукт	Результат
Аналітичні проєкти зміни фази РОСЛА	Обґрунтована рекомендація доцільності переходу організації на визначену фазу РОСЛА	Рішення стосовно доцільності переходу організації на визначену фазу РОСЛА
Проєкти реалізації зміни фази РОСЛА	Матеріальне втілення, як реалізований план, переходу до апробаційного надання логістичних послуг (комплексів логістичних послуг) на засадах аутсорсингу на визначеній фазі РОСЛА	Можливість експлуатації продукту проєкту реалізації зміни фази РОСЛА – як апробаційне надання логістичних послуг (комплексів логістичних послуг) на засадах аутсорсингу на визначеній фазі РОСЛА
Проєкти апробації зміни фази РОСЛА	Рішення, на основі фактичного використання результату проєкту реалізації зміни фази РОСЛА, відносно переходу організації на визначену фазу РОСЛА	Ступінь досягнення організацією в результаті переходу на визначену фазу РОСЛА сформованого бачення стану логістичного обслуговування в організації за прийнятими критеріями і планової ефективності даного переходу

Відносно проєктів зміни в фазах РОСЛА маємо зауважити, що потенційно широкий спектр видів даних проєктів не дозволяє дати узагальнене визначення їх продукту і результату.

Продуктом аналітичних проєктів зміни фази РОСЛА є обґрунтована рекомендація доцільності переходу організації на визначену фазу РОСЛА, табл. 1. За умовами структурної декомпозиції дій (робіт) відповідно до продукту даного проєкту можуть бути виокремлені наступні складові, як базові об’єкти доставки:

– оцінювання поточного стану логістичного обслуговування в організації за прийнятими критеріями;

– формування бачення стану логістичного обслуговування в організації за прийнятими критеріями при переході на визначену фазу РОСЛА;

– визначення змісту і планованих значень критеріїв для оцінювання логістичних послуг (комплексів логістичних послуг), які передаються на аутсорсинг, і організацій, які ці послуги надають;

– визначення методів ідентифікації і вибору організацій, як постачальників логістичних послуг (комплексів логістичних послуг), які передаються на аутсорсинг;

– ідентифікація організацій, як потенційних постачальників логістичних послуг (комплексів послуг), які передаються на аутсорсинг;

– корегування змісту і планованих значень критеріїв для оцінювання логістичних послуг (комплексів логістичних послуг), які передаються на аутсорсинг, і організацій, які ці послуги надають, за участі ідентифікованих організацій, як потенційних постачальників логістичних послуг (комплексів логістичних послуг);

– ідентифікація і аналіз ризиків визначеної фази РОСЛА, на яку здійснюється перехід;

– розроблення заходів із протидії ризикам визначеної фази РОСЛА, на яку здійснюється перехід;

– вибір організацій, як постачальників логістичних послуг (комплексів логістичних послуг), які передаються на аутсорсинг;

– попередній розподіл замовлень на логістичні послуги (комплекси логістичних послуг), які передаються на аутсорсинг;

– оцінювання ефективності переходу організації до визначеної фази РОСЛА;

– корегування бачення стану логістичного обслуговування в організації за прийнятими критеріями при переході на визначену фазу РОСЛА;

– надання рекомендації щодо доцільності переходу організації на визначену фазу РОСЛА.

Продуктом проєктів реалізації зміни фази РОСЛА є матеріальне втілення, як реалізований план, переходу до апробаційного надання логістичних послуг (комплексів логістичних послуг) на засадах аутсорсингу на визначеній фазі РОСЛА, табл. 1. За умовами структурної декомпозиції дій (робіт) відповідно до продукту даного проєкту можуть бути виокремлені наступні складові, як базові об’єкти доставки:

– уточнення очікувань організацій – як сторін в забезпеченні логістичного аутсорсингу на визначеній фазі РОСЛА – від участі в останньому;

– визначення раціональних умов використання наявних в організації логістичних активів протягом терміну життя проєкту апробації;

– підготовка плану (з визначеним ступенем деталізації) переходу до апробаційного надання логістичних послуг (комплексів логістичних послуг) на засадах аутсорсингу на визначеній фазі РОСЛА;

– підготовка контрактів щодо апробаційного надання логістичних послуг (комплексів логістичних послуг) на засадах аутсорсингу на визначеній фазі РОСЛА;

– підписання контрактів щодо апробаційного надання логістичних послуг (комплексів логістичних послуг) на засадах аутсорсингу на визначеній фазі РОСЛА;

– реалізація плану переходу до апробаційного надання логістичних послуг (комплексів логістичних послуг) на засадах аутсорсингу на визначеній фазі РОСЛА.

Продуктом проєктів апробації зміни фази РОСЛА є прийняття рішення, на основі фактичного використання результату проєкту реалізації зміни фази РОСЛА, відносно переходу організації на визначену фазу РОСЛА, табл. 1.

За умовами структурної декомпозиції дій (робіт) відповідно до продукту даного проєкту можуть бути виокремлені наступні складові, як базові об’єкти доставки:

– корегування очікувань організацій – як сторін в забезпеченні логістичного аутсорсингу на визначеній фазі РОСЛА – від участі в останньому;

– корегування змісту і планованих значень критеріїв для оцінювання логістичних послуг (комплексів логістичних послуг), які передаються на аутсорсинг;

– корегування переліку ризиків визначеної фази РОСЛА, на яку здійснюється перехід;

– корегування заходів із протидії ризикам визначеної фази РОСЛА, на яку здійснюється перехід;

– корегування планових значень ефективності переходу організації до визначеної фази РОСЛА;

– корегування бачення стану логістичного обслуговування в організації за прийнятими критеріями при переході на визначену фазу РОСЛА;

– підготовка плану (з визначеним ступенем деталізації) переходу до надання логістичних послуг (комплексів логістичних послуг) на засадах аутсорсингу на визначеній фазі РОСЛА;

– підготовка контрактів щодо надання логістичних послуг (комплексів логістичних послуг) на засадах аутсорсингу на визначеній фазі РОСЛА;

– підписання контрактів щодо надання логістичних послуг (комплексів логістичних послуг) на засадах аутсорсингу на визначеній фазі РОСЛА;

– реалізація плану переходу до надання логістичних послуг (комплексів логістичних послуг) на засадах аутсорсингу на визначеній фазі РОСЛА.

В рамках методологічного забезпечення вирішення задач управління змістом проєктів зміни фази РОСЛА розроблено аналітичну стохастичну модель управління використанням логістичних активів у проєктах апробації зміни фази РОСЛА, яка, застосовуючи методи класичного управлінського обліку, дозволяє визначити раціональний варіант використання тимчасово надлишкових логістичних активів протягом терміну життя вищезазначених проєктів апробації за критерієм приведених витрат.

В загальному випадку, можна виокремити наступні три потенційні варіанти використання логістичних активів, які є надлишковими в періоді часу, який відповідає терміну життя проєкту апробації. Це такі варіанти як: продаж надлишкових логістичних активів на початку терміну життя проєкту апробації і придбання, за виникнення потреби, аналогічних логістичних активів в кінці терміну життя проєкту апробації (варіант 1); утримання надлишкових логістичних активів (варіант 2); використання надлишкових логістичних активів для надання логістичних послуг назовні (варіант 3).

За кожним варіантом визначаються приведені, з урахування фактору часу, витрати, пов'язані з використання надлишкових логістичних активів – C_1, C_2, C_3.

Приведені витрати, які відповідають варіанту 1 використання надлишкових логістичних активів, можна представити виразом виду:

$$\mathrm{C}_1 = (-R_1) + (1-p)\,\frac{\acute{R_1}}{(1+k)^n}, \tag{1}$$

де, R_1 – дохід від продажу надлишкових логістичних активів на початку терміну життя проєкту апробації за вирахуванням пов'язаних із цим витрат;

$\acute{R_1}$– витрати на придбання аналогічних логістичних активів наприкінці терміну життя проєкту апробації, якщо буде прийнято рішення про недоцільність переходу на визначену фазу РОСЛА;

p – ймовірність прийняття рішення про доцільність переходу на визначену фазу РОСЛА;

k – вартість капіталу організації;

n – кількість часових періодів, виокремлюваних в терміні життя проєкту апробації.

Приведені витрати, які відповідають варіанту 2 використання надлишкових логістичних активів, можна записати наступним чином:

$$\mathrm{C}_2 = \sum_{t=1}^{n} \frac{\acute{C_2}}{(1+k)^t} - p\,\frac{R_2}{(1+k)^n}, \tag{2}$$

де $\acute{C_2}$ – поточні витрати, пов'язані з утриманням надлишкових логістичних активів протягом терміну життя проєкту апробації;

R_2 – дохід від продажу надлишкових логістичних активів, якщо буде прийнято рішення про доцільність переходу на визначену фазу РОСЛА, за вирахуванням пов'язаних із цим витрат.

Приведені витрати, які відповідають варіанту 3 використання надлишкових логістичних активів, можна записати у вигляді:

$$\mathrm{C}_3 = \sum_{t=1}^{n} \frac{\acute{C_3}}{(1+k)^t} - p\,\frac{R_3}{(1+k)^n}, \tag{3}$$

де $\acute{C}_3$ – поточні витрати, пов'язані з використанням надлишкових логістичних активів для надання логістичних послуг назовні протягом терміну життя проєкту апробації (в дійсності, можуть виявитися прибутком);
R_3 – дохід від продажу надлишкових логістичних активів, якщо буде прийнято рішення про доцільність переходу на визначену фазу РОСЛА, за вирахуванням пов'язаних із цим витрат.

Таким чином, умови вибору варіанта за критерієм мінімуму приведених витрат, пов'язаних із використанням надлишкових логістичних активів протягом терміну життя проєкту апробації, можна представити як:

$$C = \min(\mathrm{C}_1, \mathrm{C}_2, \mathrm{C}_3), \tag{4}$$

Якщо взяти до уваги модель адаптивного використання власного парку транспортних засобів, запропоновану в роботі [30], і поширити її на умови забезпечення будь-яких послуг із логістичного обслуговування в цілому, то при визначенні поточних витрат, пов'язаних із використанням потужностей надлишкових логістичних активів для надання логістичних послуг назовні у виокремлюваних короткострокових часових періодах протягом терміну життя проєкту апробації за варіантом 3, можна послуговуватись виразом виду:

$$S_3(Q) = a_3 + b_3 Q - (r_3 - s_3)\left(\int_0^Q xf(x)dx + Q\int_Q^\infty f(x)dx\right), \tag{5}$$

де a_3 і b_3 – параметри лінійної залежності, яка визначає постійні витрати забезпечення роботи потужностей надлишкових логістичних активів, які використовуються організацією для надання логістичних послуг назовні, у встановленому часову періоді;
r_3 – ціна логістичних послуг, які пропонуються організацією назовні, у встановленому часову періоді;
s_3 – змінні витрати, пов'язані з роботою потужностей надлишкових логістичних активів, які використовуються організацією для надання логістичних послуг назовні, у встановленому часовому періоді;
Q – потужності надлишкових логістичних активів, які використовуються організацією для надання логістичних послуг назовні, у встановленому часовому періоді;
X – випадкова величина попиту на логістичні послуги (як потужності надлишкових логістичних активів), які пропонуються організацією назовні, у встановленому часовому періоді;
$f(x)$ – щільність розподілу попиту на логістичні послуги (як потужності надлишкових логістичних активів), які пропонуються організацією назовні, у встановленому часовому періоді.

Очевидно, що з використанням виразу (5) можуть визначатися витрати за різними бізнесовими ситуаціями, які складаються при наданні логістичних послуг назовні. Для подальшого співставлення варіанта 3 з варіантами 1 і 2 обирається бізнесова ситуація, за якою зазначені витрати є найменшими або, навіть, має місце прибуток. В останньому випадку обирається бізнесова ситуація, за якою прибуток є найбільшим.

При «введенні» виразу для s_3, рівняння (5), до виразу C_3, рівняння (3), ми виходимо з того, що, так звані, «встановлені часові періоди», наприклад, доба, виокремлюються в рамках часових періодів, які складають термін життя проєкту апробації. Відповідно, можна записати, що:

$$\acute{C}_{3_t} = \sum_{i=1}^{t} S_{3_i}(Q), \tag{6}$$

де S_{3_i} – поточні витрати, пов'язані з використанням надлишкових логістичних активів для надання логістичних послуг назовні в i-му, $i = \overline{t,I}$, встановленому часовому періоді, виокремлюваному в часовому періоді t, $t = \overline{1,n}$, який, в свою чергу, виокремлюється в терміні життя проєкту апробації.

При цьому, якщо активи є подільними, як, наприклад, АТЗ, то має сенс постановка задачі, яка передбачає визначення оптимальної потужності – у випадку АТЗ провізної спроможності парку АТЗ – за виразом $\partial S_3(Q)/\partial Q = 0$. Якщо структура парку АТЗ неоднорідна, то визначення витрат і оптимальної провізної спроможності слід проводити за кожною виокремлюваною групою АТЗ

Висновок. Запропонована концепція проєктно-орієнтованого управління формуванням і реалізацією організаційної стратегії логістичного аутсорсингу, якою передбачається проєктно-орієнтоване управління розглядуваними у взаємозв'язку стадіями формування і реалізації

організаційної стратегії логістичного аутсорсингу – як стратегії, яка розвивається, в умовах представлення даної стратегії послідовністю потенційно можливих базових фаз розвитку, перехід між якими і зміна в яких трактуються як експеримент організації, який може бути здійснено в формі проєкту. Виокремлено потенційно можливі базові фази РОСЛА. Розроблено підхід до формування типології проєктів РОСЛА, відповідно до якого пропонується поділяти зазначені проєкти відносно фаз РОСЛА – категорія проєктів зміни фази та категорія проєктів зміни в фазі і відносно етапу вирішення проблеми РОСЛА – категорія аналітичних проєктів, категорія проєктів реалізації та категорія проєктів апробації. В межах вищезазначеного підходу отримала подальший розвиток понятійна база, пов'язана зі стратегічно-орієнтованим управлінням проєктами, в частині введення понять, і уточнення їх суттєвих ознак, щодо визначень проєктів за категорією РОСЛА, а також продуктів і результатів проєктів зміни фази РОСЛА. В рамках методологічного забезпечення вирішення задач управління змістом проєктів зміни фази РОСЛА розроблено аналітичну стохастичну модель управління використанням логістичних активів у проєктах апробації зміни фази РОСЛА. Дана модель, застосовуючи теорію управлінського обліку, дозволяє визначати раціональний варіант використання тимчасово надлишкових логістичних активів протягом терміну життя проєктів апробації за критерієм приведених витрат.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Lynch C.F. Logistics outsourcing. Oak Brook: CLM, 2000. 319 p.
2. Landis K.M., Mishra S., Porello K. Calling a Change in the Outsourcing for the Worlds Organizations. Deloitte Development LLC. April, 2006.
3. Harrington L.H. Private Fleets: Finding Their Niche. / L.H. Harrington. // Transport & Distribution. – 1996. – September. – P.55–57.
4. Button K.J. Transport Economics. / K.J. Button. – Vermont: Edward Elgar Publishing Company, 1993.
5. Lieb R.C., Randall H.L. A Comparison of the Use of Third-Party Logistics Services by Large American Manufactures, 1991, 1994, and 1995. *Journal of Business Logistics*. 1996. Vol. 17, № 1. P.305–320.
6. Project Management Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge – Seventh Edition, Project Management Institute Inc, 2021. 370 p.
7. Project Management Institute. Construction Extantion to A Guide to the Project Management Body of Knowledge. PMBOK Guide – 2000 Edition, Project Management Institute Inc
8. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Fourth Edition, Project Management Institute Inc, 2017. 140 p.
9. Минцберг Г., Альстрэнд Б., Лэмпел Д. Стратегическое сафари. Экскурсия по дебрям стратегического менеджмента. Москва: «Альпина Паблишер», 2012. 367 с.
10. Минцберг Г. Структура в кулаке: создание эффективной организации. – СПб: Питер, 2011. – 512 с.
11. Бушуева Н.С. Модели и методі проактивного управления программами организационного развития: монография. Київ: Науковий світ, 2007. 199 с.
12. Питерс Т., Уотерман Р. В поисках эффективного управленния. Москва: Прогресс, 1986. 418 с.
13. Weick K.E. The Social Psychology of Organizing. Reading M.A. Addison-Wesley. 1979. 294 p.
14. Prahalad C. K., Hamel G. The Core Competence of the Corporation. *Harvard Business Review*. May – June, 1990. № 68, (3). P. 79–91.
15. Hamel G., Prahalad C. Strategy as Stretch and Leverage. Harvard Business Review. March-April, 1993. P. 75-84.
16. Pfeffer J., Salancik G. R. The External Control of Organization: A Resource Dependence Perspective. New York: Harper & Row, 1978. 336 p.
17. Hammond J. H. Coordination in Textile and Apparel Channels: a Case for «Virtual» Integration. *Proceedings of the 20th Annual Transportation and Logistics Educators Conference «Towards the Integration of the Logistics Pipeline»*. Oak Brook: CLM. 1991. P. 20–25.
18. Bowersox D. J., Closs D. C., Stank T. P. Ten Mega-trends that will Revolutionize Supply Chain Logistics. *Journal of Business Logistics*. 2000. Vol. 21, № 2. P. 1–16.
19. La Londe B. J., Masters J. M. Emerging Logistics Strategies: Blueprints for Next Century. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*. 1994. Vol. 24, № 7. P. 35–47.
20. Mentzer J. T. Managing Channel Relations in the 21st Century. *Journal of Business Logistics*. 1993. Vol. 14, № 1. P. 27–42.

21. Hamel G. Killer Strategies that Make Shareholder Rich. *Fortune*. June 23, 1997. P. 70-88.

22. Johnson G. Strategic Change and the Management Process, New York; Basil Blackwell, 1987.

23. Baum W. C., Tolbert S.M. Investing in Development: Lessons of World Bank Experience. New York : Oxford University Press, 1985. 610 p.

24. Boyson S., Corsi T., Dresner M., Rabinovich E. Managing Effective Third Party Logistics Relationships: what does it take? *Journal of Business Logistics.* Vol. 21, No. 1. P. 73-100.

25. Coase R. The Nature of the Firm. *Economics.* 1937. Vol. 4. P. 385–405.

26 Williamson O.E. Economic Organization, Firms, Markets and Policy Control. Dorsel: Wheatsheat Books, 1989. 288 p.

27. Williamson O.E. Market & Hiberarchies: Analysis & Antitrust Implications. New York: Free Press, 1983. 286 p.

28. Хэнди Ч. Время безрассудства. Питер, 2001. 288 с.

29. Dreisch M.R., Colsman T., Minz R., Sirkin H.L. Achieving Success in Bisiness Process Outsourcing and Offshoring. BCG, 2005.

30. Воркут Т.А. Проектування систем транспортного обслуговування в ланцюгах постачань. К.: НТУ, 2002. 248 с.

31. Gardner J.T., Cooper M.C., Noordewier T.G. Understanding Shipper-Carrier and Shipper-Warehouser Relationships: Partnerships Revisited. *Journal of Business Logistics*. 1996. Vol. 15, № 2. P.121–143.

32. Ellram L.M. A Managerial Guideline for the Development and Implementation of Purchasing Partnerships. *International Journal of Purchasing and Materials Management.* 1995. Vol. 31, № 3. P.10–16.

33. Stuart I.F. Supplier Partnerships: Influencing Factors and Strategic Benefits. *International Journal of Purchasing and Materials Management.* 1993. Vol. 29, № 4. P.22–28.

34. Bagchi P.K., Virum H. European Logistics Alliances: a Management Model. *International Journal of Logistics Management*. 1996. Vol.7, № 1. P.93–108.

35. Воркут Т.А., Лущай Ю.В., Харута В.С., Чечет А.М. Стратегічне управління проєктами логістичного аутсорсингу. Монографія. – Київ: Міленіум, 2021. – 156 с.

REFERENCES

[1] Lynch C.F. Logistics outsourcing. Oak Brook: CLM, 2000. 319 p. (Eng)

[2] Landis K.M., Mishra S., Porello K. Calling a Change in the Outsourcing for the Worlds Organizations. Deloitte Development LLC. April, 2006. (Eng)

[3] Harrington L.H. Private Fleets: Finding Their Niche. / L.H. Harrington. // Transport & Distribution. – 1996. – September. – P.55–57. (Eng)

[4] Button K.J. Transport Economics. / K.J. Button. – Vermont: Edward Elgar Publishing Company, 1993. (Eng)

[5] Lieb R.C., Randall H.L. A Comparison of the Use of Third-Party Logistics Services by Large American Manufactures, 1991, 1994, and 1995. *Journal of Business Logistics*. 1996. Vol. 17, № 1. P.305–320. (Eng)

[6] Project Management Institute, A Guide to the Project Management Body of Knowledge – Seventh Edition, Project Management Institute Inc, 2021. 370 p. (Eng)

[7] Project Management Institute. Construction Extantion to A Guide to the Project Management Body of Knowledge. PMBOK Guide – 2000 Edition, Project Management Institute Inc. (Eng)

[8] Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Fourth Edition, Project Management Institute Inc, 2017. 140 p. (Eng)

[9] Minzberg G., Alstrand B., Lampel D. Strategicheskoe safari. Ekskursij po debrjm strategicheskogo menedjmenta. Moskva: «Alpina Pablisher», 2012. 367 p. (Rus)

[10] Minzberg G. Struktura v kulake: sozdanie effectivnoi organizatcsii. – Peter, 2011. 512 p. (Rus)

[11] Bushueva N.S. Modeli i metody proactyvnogo upravlenij programmamy organizationnogo razvitij: monografij. Kiev: Naukovii Svit, 2007. 199 p. (Rus)

[12] Peters T., Waterman R. V poiskah effectivnogo upravlenij. Moskva. Progress, 1986. 418 p. (Rus)

[13] Weick K.E. The Social Psychology of Organizing. Reading M.A. Addison-Wesley. 1979. 294 p. (Eng)

[14] Prahalad C. K., Hamel G. The Core Competence of the Corporation. *Harvard Business Review.* May – June, 1990. № 68, (3). P. 79–91. (Eng)

[15] Hamel G., Prahalad C. Strategy as Stretch and Leverage. Harvard Business Review. March-April, 1993. P. 75-84. (Eng)

[16] Pfeffer J., Salancik G. R. The External Control of Organization: A Resource Dependence Perspective. New York: Harper & Row, 1978. 336 p. (Eng)

[17] Hammond J. H. Coordination in Textile and Apparel Channels: a Case for «Virtual» Integration. *Proceedings of the 20th Annual Transportation and Logistics Educators Conference «Towards the Integration of the Logistics Pipeline»*. Oak Brook: CLM. 1991. P. 20–25. (Eng)

[18] Bowersox D. J., Closs D. C., Stank T. P. Ten Mega-trends that will Revolutionize Supply Chain Logistics. *Journal of Business Logistics*. 2000. Vol. 21, № 2. P. 1–16. (Eng)

[19] La Londe B. J., Masters J. M. Emerging Logistics Strategies: Blueprints for Next Century. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*. 1994. Vol. 24, № 7. P. 35–47. (Eng)

[20] Mentzer J. T. Managing Channel Relations in the 21st Century. *Journal of Business Logistics*. 1993. Vol. 14, № 1. P. 27–42. (Eng)

[21] Hamel G. Killer Strategies that Make Shareholder Rich. *Fortune*. June 23, 1997. P. 70-88. (Eng)

[22] Johnson G. Strategic Change and the Management Process, New York; Basil Blackwell, 1987. (Eng)

[23] Baum W. C., Tolbert S.M. Investing in Development: Lessons of World Bank Experience. New York : Oxford University Press, 1985. 610 p. (Eng)

[24] Boyson S., Corsi T., Dresner M., Rabinovich E. Managing Effective Third Party Logistics Relationships: what does it take? *Journal of Business Logistics.* Vol. 21, No. 1. P. 73-100. (Eng)

[25] Coase R. The Nature of the Firm. *Economics.* 1937. Vol. 4. P. 385–405. (Eng)

[26] Williamson O.E. Economic Organization, Firms, Markets and Policy Control. Dorsel: Wheatsheat Books, 1989. 288 p. (Eng)

[27] Williamson O.E. Market & Hiberarchies: Analysis & Antitrust Implications. New York: Free Press, 1983. 286 p. (Eng)

[28] Handy C. Vremj bezrassudstva. Peter, 2001. 288 p. (Rus)

[29] Dreisch M.R., Colsman T., Minz R., Sirkin H.L. Achieving Success in Bisiness Process Outsourcing and Offshoring. BCG, 2005. (Eng)

[30] Vorkut T.A. Proectuvannj system transportnogo obslugovuvannj v lantsiuhah postachan. K. NTU, 2002. 248 p. (Ukr)

[31] Gardner J.T., Cooper M.C., Noordewier T.G. Understanding Shipper-Carrier and Shipper-Warehouser Relationships: Partnerships Revisited. *Journal of Business Logistics*. 1996. Vol. 15, № 2. P.121–143. (Eng)

[32] Ellram L.M. A Managerial Guideline for the Development and Implementation of Purchasing Partnerships. *International Journal of Purchasing and Materials Management.* 1995. Vol. 31, № 3. P.10–16. (Eng)

[33] Stuart I.F. Supplier Partnerships: Influencing Factors and Strategic Benefits. *International Journal of Purchasing and Materials Management.* 1993. Vol. 29, № 4. P.22–28. (Eng)

[34] Bagchi P.K., Virum H. European Logistics Alliances: a Management Model. *International Journal of Logistics Management*. 1996. Vol.7, № 1. P.93–108. (Eng)

[35] Vorkut T.A., Lushchai Yu.V., Kharuta V.S., Chechet A.M. Strategichne upravliinja proectamy lohistychnogo autsorsinga. Monografij, 2021. – 156 p. (Ukr)

РЕФЕРАТ

Воркут Т.А. Стратегічно-орієнтоване управління проєктами логістичного аутсорсингу в динамічному зовнішньому середовищі / Т.А. Воркут, Ю.В. Лущай, А.В. Севост'янова, Н.В. Срібна, В.С. Харута // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю вдосконалення і подальшого розвитку методологічного забезпечення стратегічно-орієнтованого управління проєктами в організаціях в умовах взаємопов'язаного представлення процесів за стадіями формулювання (формування) і реалізації організаційної стратегії в контексті функціонування і розвитку організації в динамічному і/або відносно складному зовнішньому середовищі.

Мета дослідження полягає у підвищені ефективності стратегічно-орієнтованого управління проєктами в динамічному середовищі на основі розроблення концепції проєктно-орієнтованого управління розглядуваними у взаємозв'язку процесами за стадіями формування і реалізації організаційної стратегії логістичного аутсорсингу – як стратегії, яка розвивається.

Завдання дослідження: провести аналіз методів, моделей, механізмів і стандартів управління проєктами за проблематикою стратегічно-орієнтованого управління проєктами в організації; запропонувати концепцію управління формуванням і реалізацією організаційної стратегії логістичного

аутсорсингу із застосуванням проєктного підходу; розробити підхід до формування типології проєктів розвитку організаційної стратегії логістичного аутсорсингу (РОСЛА) із визначенням відповідної понятійної бази; виокремити за умовами структурної декомпозиції об'єкти доставки за продуктами виокремлених категорій проєктів РОСЛА; розробити модель управління використанням логістичних активів у проєктах апробації зміни фази РОСЛА.

Використана методика дослідження. Виходячи з припущення, яке підтримують дескриптивні наукові школи в стратегічному управлінні, а також слідуючи концепції «стратегія, яка розвивається», зроблено висновок про можливість представлення організаційної стратегії в якості послідовності потенційно можливих базових фаз розвитку, перехід між якими і зміни в яких трактуються як експеримент організації. При цьому уникнути, чи, принаймні, значуще зменшити ймовірність, виникнення проблеми «втрати стратегії» – має здійснення даних експериментів в формі проєктів.

На основі зіставно-порівняльного аналізу наукових робіт та інших інформаційних джерел, виявлено суперечливий характер існуючих теорій, та практик їх застосування, стосовно вибору умов надання логістичних послуг в організації – власні сили, аутсорсинг чи поєднання цих варіантів в певному сполученні. Запропоновано концепцію проєктно-орієнтованого управління формуванням і реалізацією організаційної стратегії логістичного аутсорсингу, якою передбачається проєктно-орієнтоване управління розглядуваними у взаємозв'язку стадіями формування і реалізації організаційної стратегії логістичного аутсорсингу. Розроблено, з використанням абстрактно-логічного методу, підхід до формування типології проєктів РОСЛА. За категоріями проєктів зміни фази РОСЛА визначено продукти і результати. За умовами структурної декомпозиції дій (робіт) відповідно до продуктів даних проєктів виокремлено об'єкти доставки. Розроблено модель управління використанням логістичних активів у проєктах апробації зміни фази РОСЛА.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ОРГАНІЗАЦІЙНА СТРАТЕГІЯ, СТРАТЕГІЧНО-ОРІЄНТОВАНЕ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ, ЛОГІСТИЧНИЙ АУТСОРСИНГ, ТИПОЛОГІЯ ПРОЄКТІВ.

ABSTRACT

Vorkut T.A., Lushchai Yu.V., Sevostianova A.V., Sribna N.V., Kharuta V.S. Strategic-Oriented Logistics Outsourcing Project Management in a Dynamic External Environment. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The actuality of the research topic is due to the need to improve and further develop the methodological support of strategic-oriented project management in organizations in terms of interrelated representation of processes at the stages of formulation (formation) and implementation of organizational strategy in the context of functioning and development in a dynamic and / or relatively complex environment. .

The purpose of the study is to increase the effectiveness of strategic-oriented project management in a dynamic environment by developing the concept of project-oriented management of interrelated processes at the stages of formation and implementation of organizational strategy of logistics outsourcing - as an evolving strategy.

Objectives of the study: to analyze the methods, models, mechanisms and standards of project management on the issues of strategic-oriented project management in the organization; propose a concept of management of the formation and implementation of organizational strategy of logistics outsourcing using a project approach; to develop an approach to the formation of the typology of projects for the development of organizational strategy of logistics outsourcing (DOSLO) with the definition of the relevant conceptual framework; to separate, according to the conditions of structural decomposition, delivery objects for the products of the selected categories of DOSLO projects; to develop a model of management of the use of logistics assets in projects to test the change of the DOSLO phase.

Utilized techniques of the research. Based on the assumption supported by descriptive scientific schools in strategic management, as well as following the concept of "evolving strategy", it was concluded that organizational strategy can be presented as a sequence of potentially basic phases of development, the transition between which and changes are treated as an experiment organizations. At the same time to avoid, or at least significantly reduce the likelihood, the occurrence of the problem of "loss of strategy" - has the implementation of these experiments in the form of projects.

Based on comparative analysis of scientific papers and other information sources, the contradictory nature of existing theories and practices of their application to choose the conditions of logistics services in the organization - own forces, outsourcing or a combination of these options in a particular combination. The concept of project-oriented management of the formation and implementation of the organizational strategy of logistics outsourcing is proposed, which provides project-oriented management of the interrelated stages

of formation and implementation of the organizational strategy of logistics outsourcing. An approach to the formation of the typology of DOSLO projects has been developed using the abstract-logical method. Products and results are identified by categories of DOSLO phase change projects. Under the conditions of structural decomposition of actions (works) according to the products of these projects, delivery objects are singled out. The model of management of use of logistic assets in projects of approbation of change of a phase of DOSLO is developed.

KEY WORDS: ORGANIZATIONAL STRATEGY, STRATEGIC-ORIENTED PROJECT MANAGEMENT, LOGISTICS OUTSOURCING, PROJECT TYPOLOGY.

АВТОРИ:

Воркут Тетяна Анатоліївна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортного права та логістики, Національний транспортний університет, e-mail: vorkutt@ukr.net, тел.: (+38 044) 254-43-26, 01010, Україна, Київ, вул. М. Омельяновича-Павленко, 1, оф. 439, http://orcid.org/0000-0003-0354-476X

Лущай Юрій Володимирович, кандидат технічних наук, асистент кафедри транспортного права та логістики, Національний транспортний університет, e-mail: ai9399@ukr.net, тел.: (+38 044) 254-43-26, 01010, Україна, Київ, вул. М. Омельяновича-Павленко, 1, оф. 439, orcid.org/0000-0002-7632-7400

Севост'янова Аліна Валеріївна, доктор філософії, доцент кафедри транспортного права та логістики, Національний транспортний університет, e-mail: sevostianova1607@gmail.com, тел.: (+38 044) 254-43-26, 01010, Україна, Київ, вул. М. Омельяновича-Павленко, 1, оф. 439, orcid.org/0000-0002-7693-0648

Срібна Наталія Василівна, старший викладач кафедри транспортного права та логістики, Національний транспортний університет, e-mail: natasribna28@gmail.com, тел.: (+38 044) 254-43-26, 01010, Україна, Київ, вул. М. Омельяновича-Павленко, 1, оф. 439, orcid.org/0000-0002-7543-2997

Харута Віталій Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри транспортного права та логістики, Національний транспортний університет, e-mail: kharuta_vitaliy@ukr.net, тел.: (+38044) 254-43-26, 01010, Україна, Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, оф. 439, orcid.org/0000-0002-8897-7558.

AUTHOR:

Vorkut Tetiana, Dr.Sci.Tech., Professor, Head of the Department of Transport Law and Logistics, National Transport University e-mail: vorkutt@ukr.net, tel. (+38 044) 2544326, tel. mob. +380975812558, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., 1, k. 439, orcid.org/0000-0003-0354-476X

Lushchai Yurii, Candidate of Technical Sciences, Assistant of the Department of Transport Law and Logistics, National Transport University, e-mail: ai9399@ukr.net, tel.: (+38 044) 254-43-26, 01010, Ukraine, Kyiv, 1, M. Omelyanovich-Pavlenko street, of. 439, orcid.org/0000-0002-7632-7400

Sevostyanova Alina, Doctor of Philosophy, Associate Professor of the Department of Transport Law and Logistics, National Transport University, e-mail: sevostianova1607@gmail.com, tel.: (+38 044) 254-43-26, 01010, Ukraine, Kyiv, 1, M. Omelyanovich-Pavlenko street, of. 439, orcid.org/0000-0002-7693-0648

Sribna Natalia, Senior Lecturer of the Department of Transport Law and Logistics, National Transport University e-mail: natasribna28@gmail.com, tel.: (+38 044) 254-43-26, 01010, Ukraine, Kyiv, 1, M. Omelyanovich-Pavlenko street, of. 439, orcid.org/0000- 0002-7543-2997

Kharuta Vitalii, PhD, Associate Professor of the Department of Transport Law and Logistics, National Transport University, e-mail: kharuta_vitaliy@ukr.net, tel.: (+38 044) 254-43-26, 01010, Ukraine, Kyiv, 1, M. Omelyanovich-Pavlenko street, of. 439, orcid.org/0000-0002-8897-7558.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Данченко О. Б., доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних наук та системного аналізу Черкаського державного технологічного університету, Черкаси, Україна.

Хрутьба В.О., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності Національного транспортного університету, Київ, Україна

REVIEWER:

Danchenko O. B., Ph.D., Technical (Dr.), Professor, Professor of Computer Science and Systems Analysis of Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine.

Khrutba V.O., Doctor of Science, Head of the Department of Ecology and Safety of Vital Functions of National Transport University, Kiev, Ukraine

УДК 519.832.3 : 656.073
UDC 519.832.3 : 656.073
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-074-083

АНАЛІТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЗБИРАЛЬНО-ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСУ ЗЕРНОВОГО ЗБІЖЖЯ

Воронков О.А., Відокремлений структурний підрозділ «Фаховий коледж інформаційних технологій та землевпорядкування Національного авіаційного університету», Київ, Україна, voronkov.oleksii@kitz.nau.edu.ua, orcid.org/0000-0003-0955-9081

Роговський І.Л., доктор технічних наук, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна, rogovskii@nubip.edu.ua, orcid.org/0000-0002-6957-1616

ANALYTICAL PROVISIONS OF EFFICIENCY OF HARVESTING AND TRANSPORT COMPLEX OF GRAIN POSSIBILITIES

Voronkov O.A., Separate structural subdivision «Professional college of information technologies and land management of National Aviation University», Kyiv, Ukraine, voronkov.oleksii@kitz.nau.edu.ua, orcid.org/0000-0003-0955-9081

Rogovskii I.L., Doctor of Technical Sciences, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, rogovskii@nubip.edu.ua, orcid.org/0000-0002-6957-1616

Постановка проблеми. Ефективність збирального процесу зернового збіжжя значною мірою визначається рівнем його транспортного обслуговування, що характеризується великим обсягом перевезень за короткий термін, і зокрема ефективної експлуатації автотранспортних засобів [1]. Загальний обсяг перевезень в Київській області під час жнив сягає 3 млн. тон зерна.

Високий рівень сезонності, короткий термін збирання, незадовільний технічний стан більшості автотранспортних засобів створюють великі проблеми з транспортування зерна від комбайна на зерносховище. Для забезпечення ефективного управління транспортними процесами під час перевезення зерна, необхідно користуватися науковими основами оптимізації транспортних потоків, визначення резервів скорочення витрат у системі «поле – транспорт – зерносховище», які враховують динамічність процесів, що протікають, та вихідної інформації [2]. Незважаючи на значну кількість робіт з даної тематики, на даний момент є можливості щодо підвищення ефективності використання автотранспортних засобів, удосконалення організації, планування та управління процесом перевезення. Зокрема більшість робіт пропонують різні способи перевезення зерна, вважаючи прямі перевезення автомобільним транспортом застарілими і не перспективними [3]. Але якщо вдосконалити організацію жнив, застосувати нові методи розрахунку, впровадити в даний вид перевезень нові технології, то прямі автомобільні перевезення будуть менш витратними і ефективнішими.

Підтвердженням теоретичної та практичної значущості запропонованої теми статті є відсутність сучасних методів ефективного використання автотранспортних засобів та організації прямих автомобільних перевезень зерна.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відомо, що оцінка ефективності використання мобільних транспортних машин в агропромисловому комплексі є складним завданням, оскільки існує безліч критеріїв оцінки, а також показники, що характеризують ці критерії. Для оцінки ефективності використання мобільних транспортних машин можна застосовувати ряд показників системи критеріїв ефективності машинно-тракторного парку, ґрунтуючись на наведених у роботах [2, 4], даних. Критерії та показники оцінки ефективності використання мобільних транспортних машин, що базуються на показниках використання збирально-транспортного комплексу зернового збіжжя, представлені в табл. 1.

У той же час ряд авторів зазначає, що внаслідок наявності великої кількості різних критеріїв оцінка ефективності використання збирально-транспортного комплексу зернового збіжжя стає утрудненою. У зв'язку з цим були спроби вироблення якогось інтегрального критерію оцінки ефективності використання мобільних транспортних машин. Зокрема, були запропоновані критерії інтегральних витрат (мінімуму наведених витрат). Зазначені критерії є комплексними [5] і дозволяють вирішувати завдання оптимізації складу комплексів машин, чому присвячені роботи [2, 6].

Відомо, однак, що економічні показники оцінки ефективності збирально-транспортного комплексу зернового збіжжя призводять до нестабільних результатів, оскільки вони сильно залежать від внутрішньоекономічної ситуації в країні.

Табліця 1 – Критерії ефективності використання збирально-транспортного комплексу
Table 1 – Criteria for efficiency of use of harvesting and transport complex

Група критеріїв ефективності	Визначення ефективності	Показники ефективності
Технологічна	Визначається за показниками якості транспортних робіт	1. Питома втрата вантажу, [од.], [%]. 2. Коефіцієнт зниження якості вантажів під час перевезення. 3. Середня швидкість перевезення вантажу [км/год]. 4. Середній час перевезення вантажу, [год], [дні]. 5. Добовий пробіг транспортного засобу [км]. 6. Частка вантажів, перевезених без ушкоджень, [од.], [%]. 7. Коефіцієнт забруднення вантажів під час перевезення.
Технічная	Визначається кількісними показниками роботи техніки на транспортних роботах	1. Продуктивність, [т], [ткм]. 2. Питома витрата палива [г/кВт·год]. 3. Витрата палива [кг/год, кг/т, кг/ткм]. 4. Потужність двигуна [кВт]. 5. Вантажопідйомність, [кг], [т].
Економічна	Визначається рівнем прибутку, що дозволяє підтримувати техніку у справному стані та оновлювати парк	1. Витрати на утримання та експлуатацію техніки, [грн/од. техніки]. 2. Собівартість робіт, [грн/ткм]. 3. Собівартість одержуваної продукції, [грн/од. продукції]
Екологічна	Визначається можливістю запобігання або мінімізації шкідливого впливу техніки на навколишнє середовище	1. Шкідливі викиди від енергетичної установки транспортного засобу, від гідравлічних систем. 2. Ступінь ущільненості ґрунту. 3. Ступінь запиленості та загазованості на робочому місці оператора.
Соціальна	Визначається ступенем зниження захворюваності на професійні захворювання операторів збирально-транспортного комплексу	1. Забезпечення безпеки операторів техніки. 2. Забезпечення комфортних умов праці.

У зв’язку з чим пропонується використовувати енергетичний показник ефективності функціонування агрегатів на технологічних операціях [3], у тому числі і під час виконання транспортних та вантажних робіт. У цьому передбачається, що функціонування збирально-транспортного комплексу зернового збіжжя тим ефективніше, що нижчі енергетичні витрати, тобто:

$$E = E_{tr} + E_{am} + E_r + E_m + E_c + E_{tr}, E \to min, \quad (1)$$

де E – сумарні енергетичні витрати, МДж/га;

E_{tr} – енергія, витрачена виготовлення автомобіля, трактора, сільськогосподарської машини, причепа, що припадає на 1 га, МДж/га;

E_{am} – енергія, витрачена на усунення наслідків відмов, ремонт та технічне обслуговування виготовлення автомобіля, трактора, сільськогосподарської машини, причепа, МДж/га;

E_r – енергія, витрачена на складання та розбирання збирально-транспортного комплексу, МДж/га;

E_m – енергія, витрачена на управління збирально-транспортного комплексу, МДж/га;

E_c – енергія витрачених паливно-мастильних матеріалів, МДж/га;

E_{tr} – енергія, втрачена з урожаєм через неоптимально обрану марку трактора, параметри та режими роботи збирально-транспортного комплексу, МДж/га.

У роботі [5] запропоновані такі висловлювання для оцінки енергетичної ефективності автотранспорту при виконанні робіт у сільському господарстві:

Прямі витрати енергії на 1 га для автомобіля E_{veh}:

$$E_{veh} = \alpha_p \cdot G_a \cdot H_b^{-1}, \quad (2)$$

де α_p – енергетичний еквівалент палива, МДж/кг;

G_a – кількість витраченого палива, кг;

H_b – врожайність сільськогосподарських зернових культур, кг;

Енергоємність автомобіля на 1 км пробігу E_{vh}:

$$E_{vh} = \alpha_p \cdot M_a \cdot \left(\alpha_{ren} + \alpha_{rep}\right) \cdot 10^{-5}, \quad (3)$$

де M_a – маса автомобіля, кг;

α_{ren}, α_{rep} – відрахування на реновацію та ремонт автомобіля на 1000 км пробігу, %.

При роботі автомобіля на вивезенні врожаю пропонується також враховувати вантажопідйомність автомобіля та відстань перевезення вантажу E_v:

$$E_v = 2 \cdot E_{vh} \cdot L \cdot H_b \cdot Q_{veh}, \quad (4)$$

де L – відстань перевезення вантажу, км;

Q_{veh} – вантажопідйомність автомобіля, тон.

Справді, у загальному випадку, енергетичні показники є найбільш логічними та об'єктивними. Очевидно також, що ці критерії перспективні для варіанту ідеального планування робіт. У той самий час, реальні виробничі умови найчастіше вносять корективи у процес виробництва та вимагають у випадках ставити метою не мінімізацію енергетичних витрат, а інші завдання. З іншого боку, викликає певні труднощі енергетичних еквівалентів різних складових сумарних енергетичних витрат. У зв'язку з цим у останніх дослідженнях пропонується перед вибором критеріїв оцінки ефективності аналізувати та оцінювати виробничі умови, після чого вже призначати необхідні критерії. При цьому передбачувана схема вибору критеріїв може бути подібна до рис. 1. Неважко помітити, що у даному підході намічається певна суб'єктивізація вибору критеріїв. Крім того, за такого підходу можливе запровадження надлишкових критеріїв, які оцінюватимуть ефективність лише за певних умов (лімітованості якогось ресурсу). З урахуванням викладених положень, у цій статті показники ефективності встановлювалися з погляду ефективності технологічних процесів транспортування та ресурсозбереження при здійсненні цих процесів.

Основним критерієм ефективності була питома витрата палива (кг/т, кг/100 ткм). Як допоміжні критерії виступали продуктивність (т/год, ткм/год) збирально-транспортного комплексу і витрата палива (кг/год, л/год). Для цілей нормування витрати додатково оцінювали витрати в л/100 км шляху для порівняння з існуючими нормативами.

Економічна оцінка ефективності ґрунтувалася на розрахунку річного економічного ефекту (річної економії) у гривнях. Вибір такої системи критеріїв заснований на тому, що вони, по-перше, взаємодоповнюють, по-друге, дозволяють оцінити технологічну, технічну та економічну групи ефективності і, нарешті, є достатніми для такої оцінки.

Мета статті. Метою даної статті є вивчення аналітичних положень обґрунтування критеріїв ефективності використання збирально-транспортного комплексу збирання збіжжя. При цьому підвищення ефективності транспортного забезпечення перевезення зерна передбачається за рахунок

оптимізації кількісного складу, вантажопідйомності та зменшення шкідливого екологічного впливу автотранспортних засобів. Рішення цілісної виробничо-транспортної моделі транспортування зерна передбачається з урахуванням втрат методом відсікань.

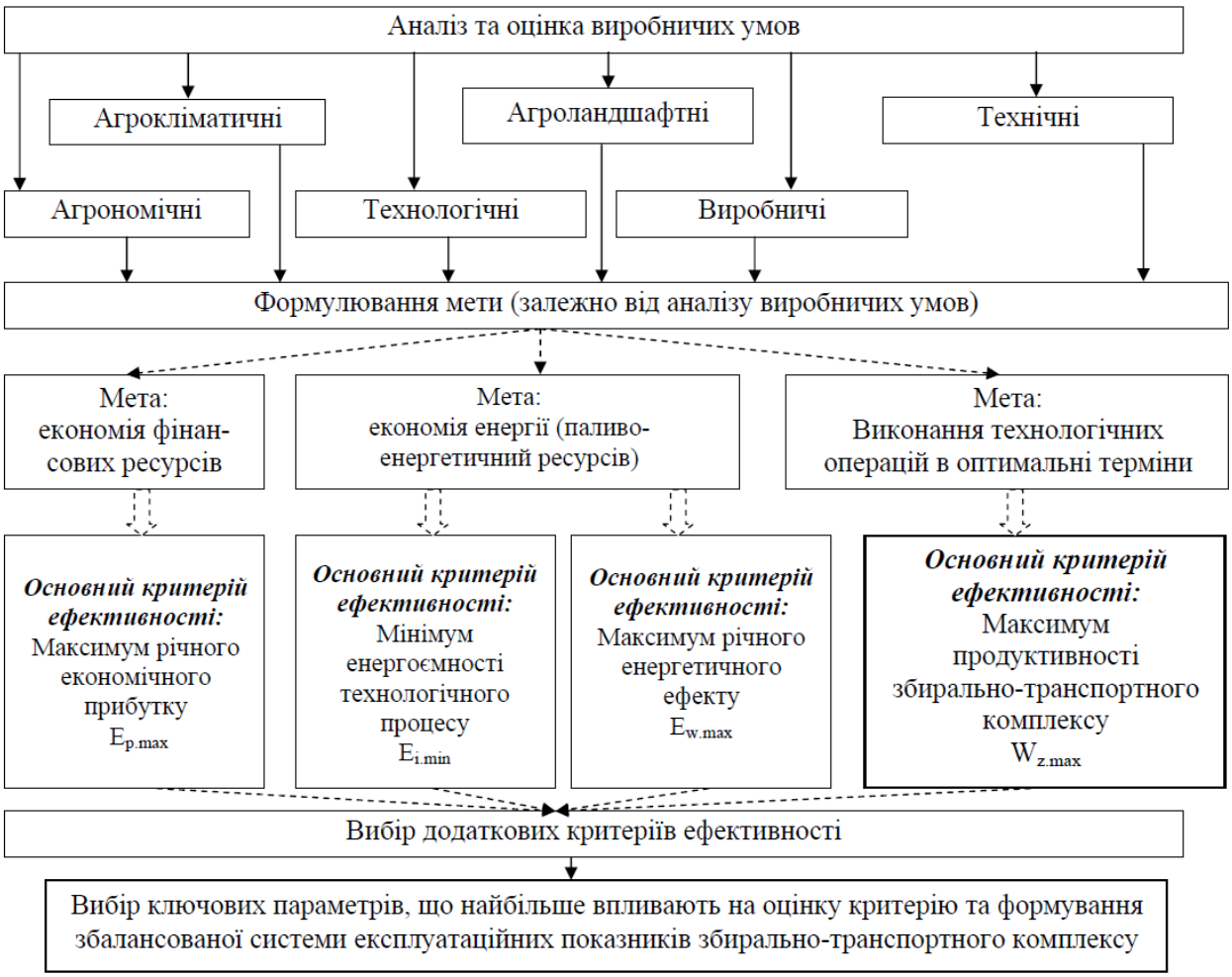


Рисунок 1 – Схема вибору критеріїв ефективності використання збирально-транспортного комплексу
Figure 1 – Scheme for selecting criteria for efficiency of use of harvesting and transport complex

Виклад основного матеріалу. Для вирішення цілих задач лінійного програмування використовується метод відсікання, який відноситься до чисельних методів дискретного програмування. Алгоритм вирішення цілісної виробничо-транспортної задачі методом відсікання полягає, у розчленуванні вихідної моделі на дві складові: виробничу та транспортну модель. При цьому як навантаження (кінцева потреба) будемо розглядати сумарний попит по кожному виду сільськогосподарської зернової культури. Відомо безліч способів вирішення транспортних завдань лінійного програмування, як у мережевій постановці, так і матричної. При вирішенні задач у матричній формі методом, що найбільш швидко призводить до оптимуму, є метод потенціалів. Потенціали це система чисел транспортної задачі, яка прописана в матриці, відповідно до кожного з рядків i та до кожного зі стовпців j. Метод потенціалів для вирішення транспортного завдання полягає у знаходженні системи потенціалів, яка для всіх клітин матриці забезпечує меншу різницю потенціалів рядка (U_i) та стовпця (V_j) або рівну вартості транспортування, за умови дотримання умови визначення мінімуму функції $V_j - U_i \leq P_{ij}$, $i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$; а для клітинок зайнятих – різність потенціалів рівна вартості транспортування: $V_j - U_i = P_{ij}$, $i = 1, \dots, m$; $j = 1, \dots, n$.

Виробничо-транспортні моделі є композицією двох груп моделей: транспортних та виробничих. Умовне таке комбінування моделей можна подати у вигляді графічної блок-схеми (рис. 2).

Як $П_1$ і $П_2$ розглядаються виробничі моделі різного типу – у варіантній постановці (з дискретними змінними) або в безперервній постановці, з фіксованою або оптимізованою структурою виробництва. Блоки $Т_1$ і $Т_2$ у цій блок-схемі представляють співвідношення з перевезення зерна.

Конкретне наповнення блоків залежить від економічної постановки завдання та допускає різні їх модифікації. Початковий план рішення для виробничого та транспортного завдання представлені, відповідно на рис. 3 та рис. 4.

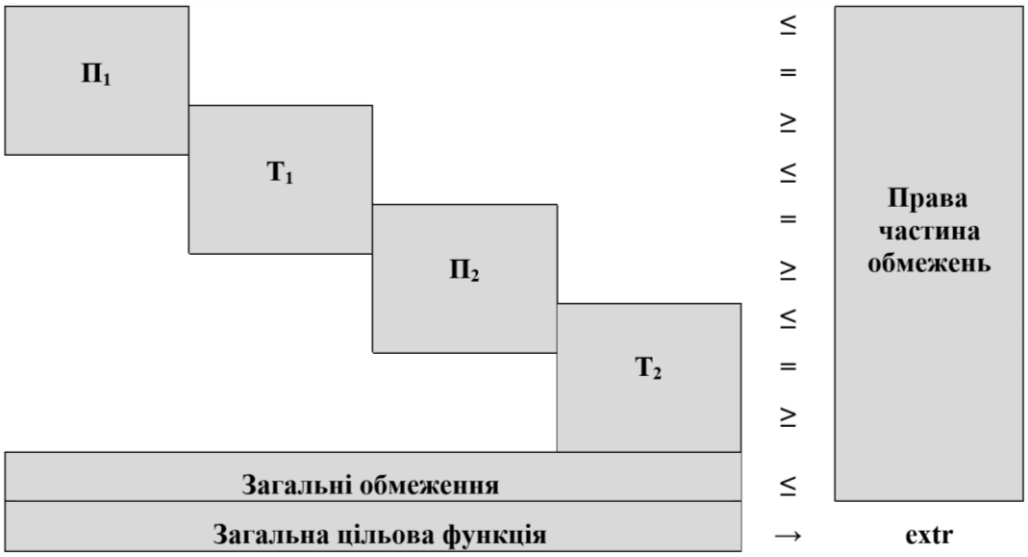


Рисунок 2 – Графічна блок-схема виробничо-транспортної ефективності використання збирально-транспортного комплексу
Figure 2 – Graphic block diagram of production and transport efficiency of harvesting and transport complex

Змінні		z_{11}	z_{12}	z_{1n}	z_{21}	z_{22}	z_{2n}	…	z_{m1}	z_{m2}	z_{mn}		
Обмеження за випуском продукції		a_{111}	a_{112}	a_{11n}	a_{211}	a_{212}	a_{21n}	…	a_{m11}	a_{m12}	a_{m12}	≥	b_1
		a_{121}	a_{122}	a_{12n}	a_{221}	a_{222}	a_{22n}	…	a_{m21}	a_{m22}	a_{m22}	≥	b_2
		…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
		a_{1n1}	a_{1n2}	a_{1nn}	a_{2n1}	a_{2n2}	a_{2nn}	…	a_{mn1}	a_{mn2}	a_{mn2}	≥	b_n
	Обмеження за випуском продукції	q_{111}	q_{112}	q_{11n}	q_{211}	q_{212}	q_{21n}	…	q_{m11}	q_{m12}	q_{m12}	≤	Q_1
	Обмеження за вибором не більшого одного варіанту виробництва	1			1			…	1			≤	1
			1			1		…		1		≤	1
		…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
				1			1	…			1	≤	1
	Коефіцієнти цільової функції	c_{11}	c_{12}	c_{1n}	c_{21}	c_{22}	c_{2n}	…	c_{m1}	c_{m2}	c_{mn}	→	*min*

Рисунок 3 – План рішення виробничої моделі
Figure 3 – Solution plan of the production model

Для наочності та простоти сприйняття реалізації методу відсікання вирішемо завдання невеликої розмірності за умови:

– система полів *A* із пунктами виробництва *i* = 1,2,3;

– система зерносховищ *B* з пунктами споживання j = 1,2,3;

– кількість комбайнів в організації 6;

– відомі обсяги збирання, по кожному полю, од.: a_{1r}= 5, 10, 15; a_{2r}= 10, 15, 20; a_{3r}= 10, 20, 25;

– відомі обсяги споживання, од.: b_{1k}= 15; b_{2k}= 5; b_{3k}= 10;

– відомі витрати на збирання кожної групи комбайнів, з урахуванням втрат зерна від невчасного збирання, грн.:

$$c_{ik}|50\ 85\ 80\ 90\ 130\ 150\ 135\ 160\ 190\ |$$

– відомі вартість перевезень одиниці обсягу зерна від кожного поля до кожного пункту зберігання з урахуванням втрат зерна, грн.:

t_{ijk}|3 9 6 2 5 16 5 11 9 |

– відомий обсяг зерна, що збирається одним комбайном, од.

Постачальники	Споживачі									Об'єм збіжжя, a_i
	B_1		B_2		B_3		…	B_n		
A_1	c_{11}	x_{11}	c_{12}	x_{12}	c_{13}	x_{13}	…	c_{1n}	x_{1n}	a_1
A_2	c_{21}	x_{21}	c_{22}	x_{22}	c_{23}	x_{23}	…	c_{2n}	x_{2n}	a_2
A_3	c_{31}	x_{31}	c_{32}	x_{32}	c_{33}	x_{33}	…	c_{3n}	x_{3n}	a_3
…	…	…	…	…	…	…	…	…	…	…
A_m	c_{m1}	x_{m1}	c_{m2}	x_{m2}	c_{m3}	x_{m3}	…	c_{mn}	x_{mn}	a_m
Попит споживачів, b_j		b_1		b_2		b_3			b_n	

Рисунок 4 – План-матриця перевезення збіжжя
Figure 4 – Plan-matrix of grain transportation

Необхідно вибрати варіанти збирання полів і прикріпити до них пункти зберігання так, щоб потреби були повністю задоволені (табл. 2), а сумарні виробничо-транспортні витрати були мінімальними (табл. 3). При цьому зробимо невелике обмеження – друге поле має обов'язково входити до плану прибирання.

Таблиця 2 – Розподіл обсягів збирання та витрат на збирання по полях
Table 2 – Distribution of harvesting volumes and harvesting costs by fields

Поле №1		Поле №2		Поле №3	
a_{1r}	c_{1r}	a_{2r}	c_{2r}	a_{3r}	c_{2r}
5	50	10	85	10	80
10	90	15	130	20	150
15	135	20	160	25	190

Таблиця 3 – Обсяги споживання та транспортні витрати на доставку зерна за кожним пунктом зберігання зерна
Table 3 – Consumption volumes and transport costs for grain delivery at each grain storage point

Пункт зберігання	Об'єми споживання та транспортні витрати		
	15	5	10
№1	3	9	6
№2	2	5	16
№3	5	11	9

Крок 1. Виділяємо із загального завдання виробничий блок, як обмеження з виробництва беремо суму обсягів споживання. Визначаємо, які поля, і з якими варіантами розвитку забезпечать необхідний сумарний обсяг споживання 30 одиниць за мінімальних виробничих витрат (табл. 4).

Віднаходимо оптимальне рішення (табл. 5).

Оптимальні виробничі витрати на цій ітерації $П_0 = 235$.

Крок 2. Розподіляємо об'єми виробництва $A_{i0} = \{0; 10; 20\}$ і формуємо транспортне завдання. Відповідне транспортне завдання має таке рішення (табл. 6):

Таблиця 4 – Матриця коефіцієнтів виробничого завдання за першої ітерації
Table 4 – Matrix of coefficients of production task in first iteration

Змінні	z_{11}	z_{12}	z_{13}	z_{21}	z_{22}	z_{23}	z_{31}	z_{32}	z_{33}		
Виробництво	5	10	15	10	15	20	10	20	25	≥	30
Обмеження на вибір варіантів	1	1	1							≤	1
				1	1	1				=	1
							1	1	1	≤	1
Цільова функція	50	90	135	85	130	160	80	150	190	→	min

Таблиця 5 – Оптимальне рішення для заданого виробничого завдання

Table 5 – The optimal solution for a given production task

Змінні	z_{11}	z_{12}	z_{13}	z_{21}	z_{22}	z_{23}	z_{31}	z_{32}	z_{33}
Коефіцієнти цільової функції	50	90	135	85	130	160	80	150	190
Значення змінних	0	0	0	1	0	0	0	1	0
Об'єми збирання	5	10	15	10	15	20	10	20	25

Таблиця 6 – План-матриця транспортного завдання

Table 6 – Plan-matrix of the transport task

Поле		Об'єми споживання та транспортні витрати			u_i
		15	5	10	
№1	0	0	0	0	3
№2	10	5	5	0	3
№3	20	10	0	10	0
v_k		5	8	9	

Транспортні витрати $T_0 = 175$.

Формуємо додатокві обмеження відсікання і розраховуємо праву частину обмеження:

$$\text{ПЧ} = \text{П}_0 + T_0 - \sum_{k=1}^{3} (b_k \cdot v_k) - \varepsilon$$

В якості ε беремо 1 (підстановка змінних у ліву частину відсікання дає значення, що відрізняється на велику величину). І так, сума функціоналів $\text{П}_0+\text{Т}_0=235+175=410$ од.

$$\sum_{k=1}^{3} (b_k \cdot v_k) = 5 \times 35 + 8 \times 5 + 9 \times 10 = 205 \rightarrow \text{ПЧ} = 410 - 205 - 1$$

Коефіцієнти відсікання (табл. 7) при цьому рівні $z_{ir} = c_{ir} - a_{ir} \times u_i$.

Таблиця 7 – Коефіцієнти відсікання для першої ітерації

Table 7 – Clipping coefficients for the first iteration

C={cir}	50	90	135	85	130	160	80	150	190		
A={air}	5	10	15	10	15	20	10	20	25		
U={ui}	3	3	3	3	3	3	0	0	0	ПЧ	
(C-UA) Z≤ПЧ	35	60	90	55	85	100	80	150	190	≤	204

Переходимо до наступної ітерації, повторюючи крок 1 та крок 2.

Серед знайдених виробничих та транспортних планів є пара рішень, з найменшими сумарними виробничо-транспортними витратами (табл. 8).

Таким чином, оптимальне рішення (табл. 9) було досягнуто (табл. 10) на останній ітерації (рис. 4). Як бачимо з графіка (рис. 4), виробничі витрати мінімальні за першої ітерації (235 од.), але з допомогою найвищих витрат за перевезення зерна (175 од.) даний план виробничо-транспортних витрат є найгіршим. У третій же ітерації найвищі виробничі витрати, але витрати на транспортування набагато менші ніж в інших ітераціях, таким чином даний план виробничо-транспортного завдання є найбільш оптимальним.

Таблиця 8 – Виробничо-транспортні витрати за ітераціями

Table 8 – Production and transport costs by iterations

Ітерація	*П*	*Т*	*П+Т*
№1	235	175	410
№2	240	145	385
№3	250	115	365

Якщо навіть вирішити задачу невеликої розмірності, отримані результати наочно показують, що знайдене оптимальне рішення дозволяє значно покращити економічні показники системи. У розглянутому прикладі економічні витрати скоротилися на 10% проти першого плану перевезень.

Таблиця 9 – Оптимальне вирішення виробничого завдання
Table 9 – The optimal solution to tproduction problem

Змінні	z_{11}	z_{12}	z_{13}	z_{21}	z_{22}	z_{23}	z_{31}	z_{32}	z_{33}
Значення змінних	0	1	0	0	0	1	0	0	0
Об’єми збирання	5	10	15	10	15	20	10	20	25

Таблиця 10 – Розв'язання транспортного завдання
Table 10 – Solving the transport problem

Поле		Об’єми споживання та транспортні витрати			u_i
		15	5	10	
№1	10	0	0	10	0
№2	20	15	5	0	0
№3	0	0	0	0	0
v_k		5	2	5	

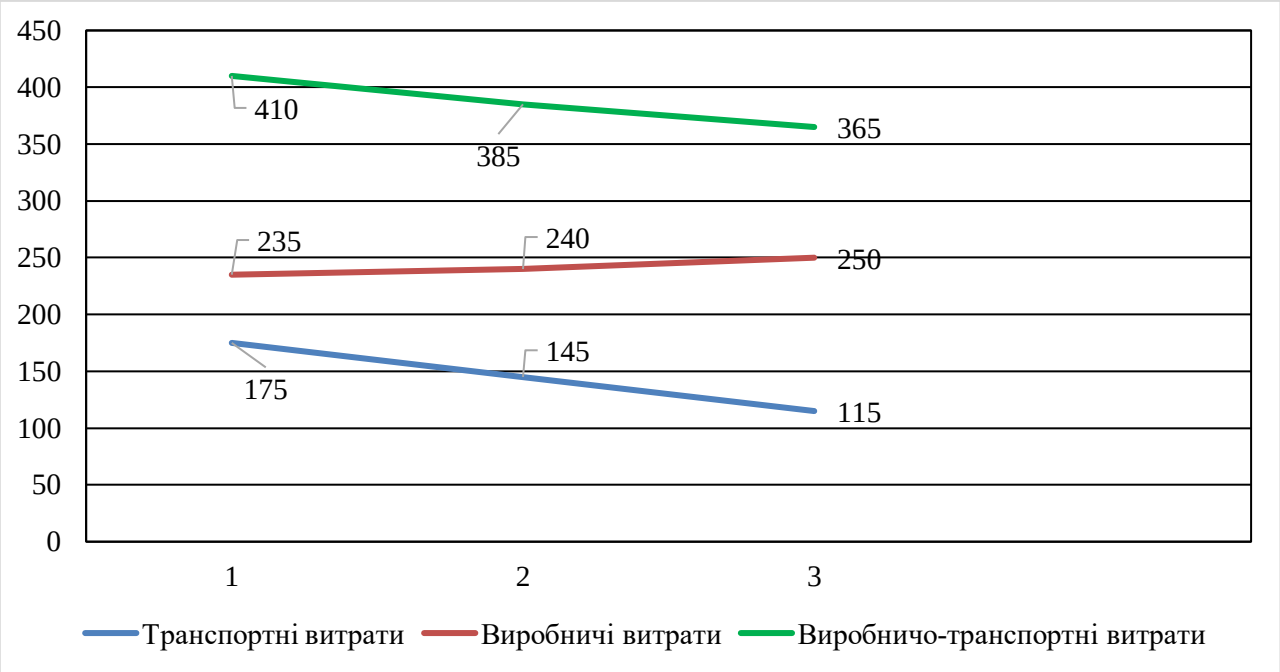


Рисунок 4 – Графік зміни витрат на ітерації
Figure 4 – Graph of changes in iteration costs

Висновки. За результатами проведених розрахунків, можна підсумувати, що підвищення ефективності транспортного забезпечення перевезення зерна можливе за рахунок оптимізації кількісного складу, вантажопідйомності та зменшення шкідливого екологічного впливу автотранспортних засобів. Рішення цілісної виробничо-транспортної моделі транспортування зерна доцільно здійснювати з урахуванням втрат методом відсікань.

Для вирішення цілих задач лінійного програмування доцільно використовувати метод відсікання, який відноситься до чисельних методів дискретного програмування. Алгоритм вирішення цілісної виробничо-транспортної задачі методом відсікання полягає, у розчленуванні вихідної моделі на дві складові: виробничу та транспортну модель. При цьому як навантаження або кінцева потреба розглядається, як сумарний попит по кожному виду сільськогосподарської зернової культури.

Підтверджено, що виробничі витрати мінімальні за першої ітерації (235 од.), але за допомогою найвищих витрат за перевезення зерна (175 од.) даний план виробничо-транспортних витрат є найгіршим. У третій же ітерації найвищі виробничі витрати, але витрати на транспортування набагато менші ніж в інших ітераціях, таким чином даний план виробничо-транспортного завдання є найбільш оптимальним. Якщо навіть вирішити задачу невеликої розмірності, отримані результати наочно показують, що знайдене оптимальне рішення дозволяє значно покращити економічні показники системи. У розглянутому прикладі економічні витрати скоротилися на 10% проти першого плану перевезень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Smil, V. Improving efficiency and reducing waste in our food system, Journal of Integrative Environmental Sciences, 2020, Vol. 1, No. 1, pp.17–26.

2. Hodges, R.J., Buzby, J.C. and Bennett, B. Post-harvest losses and waste in developed and less developed countries: opportunities to improve resource use, The Journal of Agricultural Science, 2011, Vol. 149, No. S1, pp.37–45.

3. Parfitt, J., Barthel, M. and Macnaughton, S. Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050, Philosophical Transactions of the Royal Society, 2010, Vol. 365, No. 1554, pp.3065–3081.

4. Begum, E.A., Hossain, M.I. and Papanagiotou, E. Economic analysis of post-harvest losses in food grains for strengthening food security in northern regions, International Journal of Applied Research in Business Administration and Economics, 2012, July, Vol. 1, No. 3. Article No. 06, pp.56–65.

5. Kumar, D. and Kalita, P. Reducing post-harvest losses during storage of grain crops to strengthen food security in developing countries, Foods, 2017, Vol. 6, Nos. 1/8, pp.1–22.

6. Caixeta-Filho, J.V. Losses in the transportation of fruit and vegetables: a case study, International Journal of Logistics: Research and Applications, 2019, Vol. 2, No. 3, pp.325–341.

REFERENCES

1. Smil, V. (2020). Improving efficiency and reducing waste in our food system, Journal of Integrative Environmental Sciences, Vol. 1, No. 1, pp.17–26.

2. Hodges, R.J., Buzby, J.C. and Bennett, B. (2011). Post-harvest losses and waste in developed and less developed countries: opportunities to improve resource use, The Journal of Agricultural Science, Vol. 149, No. S1, pp.37–45.

3. Parfitt, J., Barthel, M. and Macnaughton, S. (2010). Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050, Philosophical Transactions of the Royal Society, 2010, Vol. 365, No. 1554, pp.3065–3081.

4. Begum, E.A., Hossain, M.I. and Papanagiotou, E. (2012). Economic analysis of post-harvest losses in food grains for strengthening food security in northern regions, International Journal of Applied Research in Business Administration and Economics, 2012, July, Vol. 1, No. 3. Article No. 06, pp.56–65.

5. Kumar, D. and Kalita, P. (2017). Reducing post-harvest losses during storage of grain crops to strengthen food security in developing countries, Foods, Vol. 6, Nos. 1/8, pp.1–22.

6. Caixeta-Filho, J.V. (2019). Losses in the transportation of fruit and vegetables: a case study, International Journal of Logistics: Research and Applications, Vol. 2, No. 3, pp.325–341.

РЕФЕРАТ

Воронков О.А. Аналітичні положення ефективності роботи збирально-транспортного комплексу зернового збіжжя / О.А. Воронков, І.Л. Роговський // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

У даній статті розглядається використання використання методологічних положень методу відсікань для вирішення цілісної виробничо-транспортної моделі транспортування зерна з урахуванням втрат. Розрахунку проведенні із врахуванням реального виробничого циклу транспортування зернового збіжжя для умов агропромислових підприємств.

Об’єкт дослідження – процес управління виробничого транспортування зернового збіжжя.

Мета роботи – вивчення особливостей прийняття рішень, а саме прикладне застосування методу відсікань в умовах реального виробничого циклу перевезення з поля зернового збіжжя.

Метод дослідження – метод відсікань, еквівалентності, класифікаційних фасетних та ієрархічних ознак, матриць.

Ситуацію змодельована за досягнення підвищення ефективності транспортного забезпечення перевезення зерна передбачається за рахунок оптимізації кількісного складу, вантажопідйомності та зменшення шкідливого екологічного впливу автотранспортних засобів.

Рішення цілісної виробничо-транспортної моделі транспортування зерна передбачається з урахуванням втрат методом відсікань.

Надано рекомендації щодо застосування покрокового алгоритму застосування запропонованих аналітичних положень обґрунтування критеріїв ефективності використання збирально-транспортного комплексу збирання збіжжя. Наведено відповідні розрахунки і прокоментовано отримані результати, за яким навіть вирішення задачі невеликої розмірності, наочно показують, що знайдене оптимальне рішення дозволяє значно покращити економічні показники системи.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МЕТОД ВІДСІКАНЬ, КРИТЕРІЇ ЕФЕКТИВНОСТІ, ТРАСПОРТНО-ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕС, ЗБІЖЖЯ, АГРОПРОМИСЛОВИЙ КОМПЛЕКС.

ABSTRACT

Voronkov O.A., Rogovskii I.L. Analytical Provisions of Efficiency of Harvesting and Transport Complex of Grain Possibilitie. Transportation Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

This article considers the use of methodological provisions of the method of cutting to solve a holistic production and transport model of grain transportation, taking into account losses. The calculation is carried out taking into account the actual production cycle of grain transportation for the conditions of agro-industrial enterprises.

The object of research is the process of managing the production transportation of grain.

The purpose of the work is to study the peculiarities of decision-making, namely the applied application of the method of cutting in the conditions of the real production cycle of transportation from the field of grain grain.

The research method is the method of clippings, equivalence, classification facets and hierarchical features, matrices.

The situation is modeled by achieving an increase in the efficiency of transport of grain transportation is provided by optimizing the quantitative composition, load capacity and reducing the harmful environmental impact of vehicles.

The decision of the integral production and transport model of grain transportation is provided taking into account losses by the method of cutting.

Recommendations for the application of a step-by-step algorithm for the application of the proposed analytical provisions to substantiate the criteria for the effectiveness of the use of harvesting and transport complex of grain harvesting. Relevant calculations are given and the obtained results are commented on, according to which even the solution of the problem of small dimension clearly shows that the found optimal solution allows to significantly improve the economic performance of the system.

KEY WORDS: CUTTING METHOD, CRITERIA OF EFFICIENCY, TRANSPORT AND PRODUCTION PROCESSES, GRAINS, AGRICULTURAL COMPLEX.

АВТОРИ:

Воронков Олексій Андрійович, Відокремлений структурний підрозділ «Фаховий коледж інформаційних технологій та землевпорядкування Національного авіаційного університету», викладач, голова циклової комісії транспортних технологій, e-mail: voronkov.oleksii@kitz.nau.edu.ua, тел. +38(099)0007242, Україна, м. Київ, вул. Дружківська, 6, к 45, orcid.org/0000-0003-0955-9081

Роговський Іван Леонідович, доктор технічних наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України, завідувач кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту імені М. П. Момотенка, e-mail: rogovskii@nubip.edu.ua, тел. +38(098)440-52-83, Україна, 01041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 12в, к. 208, orcid.org/0000-0002-6957-1616

AUTHORS:

Voronkov Oleksiy Andriyovych, Separate structural subdivision «Professional College of Information Technologies and Land Management of the National Aviation University», lecturer, chairman of the cycle commission of transport technologies, e-mail: voronkov.oleksii@kitz.nau.edu.ua, tel. +380990007242, Ukraine, Kyiv, Druzhkivska Str., 6, room 45, orcid.org/0000-0003-0955-9081

Rogovskii Ivan Leonidovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Head of the Department of Technical Service and Engineering Management named after MP Momotenko, e-mail: rogovskii@nubip.edu.ua tel. +38 (098) 440-52-83, Ukraine, 01041, Kyiv, street Heroes of Defense, 12v, room 208, orcid.org/0000-0002-6957-1616

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Поліщук Володимир Петрович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, Київ, Україна.

Загурський Олег Миколайович, доктор технічних наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України, професор кафедри транспортних технологій та засобів у АПК, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Polishchuk V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of Transport Systems and Road Traffic Safety, Kyiv, Ukraine.

Zagursky Oleh Mykolayovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Professor of the Department of Transport Technologies and Means of Agriculture, Kyiv, Ukraine.

УДК 004.421
UDC 004.421
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-084-094

ВИЗНАЧЕННЯ МІСТКОСТІ СТАЦІОНАРНИХ РЕЗЕРВУАРІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ

Гавриленко О.В., кандидат фізико-математичних наук, КПІ імені Ігоря Сікорського, Київ, Україна, gelena1980@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0413-6274

Жданова О.Г., кандидат технічних, КПІ імені Ігоря Сікорського, Київ, Україна, zhdanova.elena@hotmail.com, orcid.org/ 0000-0002-8787-846X

Назиров Р.Ш., товариство з обмеженою відповідальністю «Інноваційний центр Нове життя», Київ, Україна, info@novezhittya.com.ua, orcid.org/ 0000-0002-5102-3662

Пархоменко Д.А., КПІ імені Ігоря Сікорського, Київ, Україна, rainbow77733327@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1735-5679

Шумейко О.А., Національний транспортний університет, Київ, Україна, shumeyko.ntu.edu.ua@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2897-060X

Халус О.Г., КПІ імені Ігоря Сікорського, Київ, Україна, Selena.ua@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5485-7881

DETERMINATION OF STATIONARY TANK CAPACITY ACCORDING TO LASER SCAN RESULTS

Gavrylenko Olena, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Igor Sikorsky KPI, Kyiv, Ukraine, gelena1980@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0413-6274

Zhdanova Olena, Candidate of Technical Sciences, Igor Sikorsky KPI, Kyiv, Ukraine, zhdanova.elena@hotmail.com, orcid.org/ 0000-0002-8787-846X

Nazirov Rodion, New Life Innovation Center Limited Liability Company, Kyiv, Ukraine, info@novezhittya.com.ua, orcid.org/0000-0003-1735-5681

Parkhomenko Dmytro, Igor Sikorsky KPI, Kyiv, Ukraine, rainbow77733327@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1735-5679

Shumeyko Oleksiy, National Transport University, Kiev, Ukraine, shumeyko.ntu.edu.ua@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2897-060X

Khalus Olena, Igor Sikorsky KPI, Kyiv, Ukraine, Selena.ua@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5485-7881

Вступ

На поточний момент багато підприємств та організацій мають необхідність зберігати для власних потреб пальне або інші рідини. Для цього використовуються резервуари, що зберігають нафтопродукти, воду та інші рідини на підприємствах [1]. Існує багато нормативно правових актів, що регулюють діяльність підприємств паливно-енергетичного комплексу (наказ Міністерства палива від 20.05.2008 N281/171/578/155 «Про затвердження Інструкції про порядок приймання, транспортування, зберігання, відпустки та обліку нафти та нафтопродуктів на підприємствах та організаціях України» [11] тощо). Для отримання ліцензії на зберігання палива для власних потреб, суб'єктів господарювання зобов'язали вказувати обсяг усіх ємностей (як стаціонарних, так і нестаціонарних), які використовуються для зберігання палива. На практиці такі вимоги за часту реалізувати дуже складно, адже зазвичай для зберігання палива використовуються резервуари, для яких або немає сертифікату, в якому вказана ємність, або які повинні пройти повторну сертифікацію, бо з плином часу за певних причин (пошкодження, поява вм'ятин, корозія) ємність може змінюватись). Щоб зробити таку сертифікацію резервуару, потрібен час, ресурси, тобто відповідна процедура тривала і фінансово витратна.

Постановка проблеми

Класичний варіант визначення місткості резервуарів полягає у наповненні їх рідиною, використовуючи лічильник кількості рідини, похибку якого визначають перед початком градуювання для заданої швидкості наповнення [2]. Такий метод є надійним, оскільки все залежить тільки від точності самого лічильника. Принцип роботи простий: використовується труба з лічильником для подачі рідини для наповнення резервуару до межі (висоти) наповнення. Значення, яке розрахував

лічильник і є об’ємом рідини в резервуарі. Даний метод потребує значної кількості часу і рідини для проведення експерименту і на практиці не завжди є можливим для реалізації.

Знаходження об’єму резервуарів, які мають форму ідеального циліндру, кубу, паралелепіпеду тощо не є проблемою. Але на практиці резервуари, що використовуються, мають форму, що відрізняється від ідеальних просторових тіл, або можуть мати конфігурацію, що принципово відрізняється від них.

В останньому випадку можна було б виконати ретельні зовнішні заміри резервуару і розрахувати ємність, базуючись на них. Але цей шлях має суттєві недоліки:

− резервуари можуть мати дуже великі розміри (до 100 метрів за однією з розмірностей) і їх поміліметрові/посантиметрові обміри є неможливими;

− форма резервуару може дуже ускладнювати або унеможливлювати аналітичні розрахунки об’єму;

− форми резервуарів зазвичай є унікальними, що унеможливлює розробку стандартного алгоритму розрахунків;

− за часту, всередині резервуарів знаходяться додаткові об’єкти (труби, драбини, елементи кріплення тощо) і їх наявність та розміри не можливо врахувати при зовнішніх замірах;

− товщина стінок резервуару не є сталою величиною;

− якщо резервуар розміщений під землею, то зовнішні заміри виконати неможливо.

Альтернативним варіантом є використання лазерного сканера для сканування внутрішньої поверхні резервуару. Обчислення його об’єму проводиться на основі отриманих масивів точок поверхні.

В цій статті буде розглянуто метод визначення місткості резервуарів, який використовує результати лазерного сканування внутрішньої поверхні, та враховує геометричні характеристики та особливості резервуару (граничну висоту наповнення максимальну глибину увігнутостей тощо), значення температури під час сканування; лінійний температурний коефіцієнт розширення матеріалу резервуару.

Опис методу

Вхідними даними задачі є результати лазерного сканування внутрішньої поверхні резервуару – тривимірна модель внутрішньої поверхі резервуара, а саме так звана хмара точок, кожна з яких має такі параметри:

− номер рівня;
− номер точки;
− значення координати x;
− значення координати y;
− значення координати z;
− інтенсивність кольору *R*;
− інтенсивність кольору *G*;
− інтенсивність кольору *B*.

В загальному випадку кількість цих точок залежить від щільності сканування – чим більша щільність, тим більша кількість точок для розрахунку. Для визначення об’єму використовуються значення координат x, y, z.

Узагальнена схема алгоритму розв’язання задачі

ЕТАП I

I.1 Розбити хмару тривимірних точок на підмножини, що відповідають горизонтальним рівням (перерізам).

I.2 Для кожного перерізу:

– побудувати опуклу оболонку точок перерізу, що дозволяє відфільтрувати «зайві» внутрішні точки та отримати упорядковану послідовність точок (УПТ), які відповідають множині зовнішніх точок резервуару;

– вбудувати в УПТ ті внутрішні точки, які відповідають деформаціям (увігнутостям, вм’ятинам тощо) резервуару;

– обчислити площі горизонтальних перерізів.

ЕТАП II

II.1. Обчислити об’єми частин резервуару (шарів), які обмежені сусідніми перерізами,

На кроці 1.1 відбувається розбиття хмари точок, що представляє тривимірну модель внутрішньої поверхі резервуара, на підмножини, тобто групування точок хмари за координатою z, що відповідає висоті, та сортування цих груп за збільшенням значення висоти. Цей крок потрібен для

отримання двовимірних площин (розрізів) досліджуваного об'єкта. Кількість розрізів буде дорівнювати кількості угрупувань точок. Представлення вигляду розрізів позначено на рисунку 1.

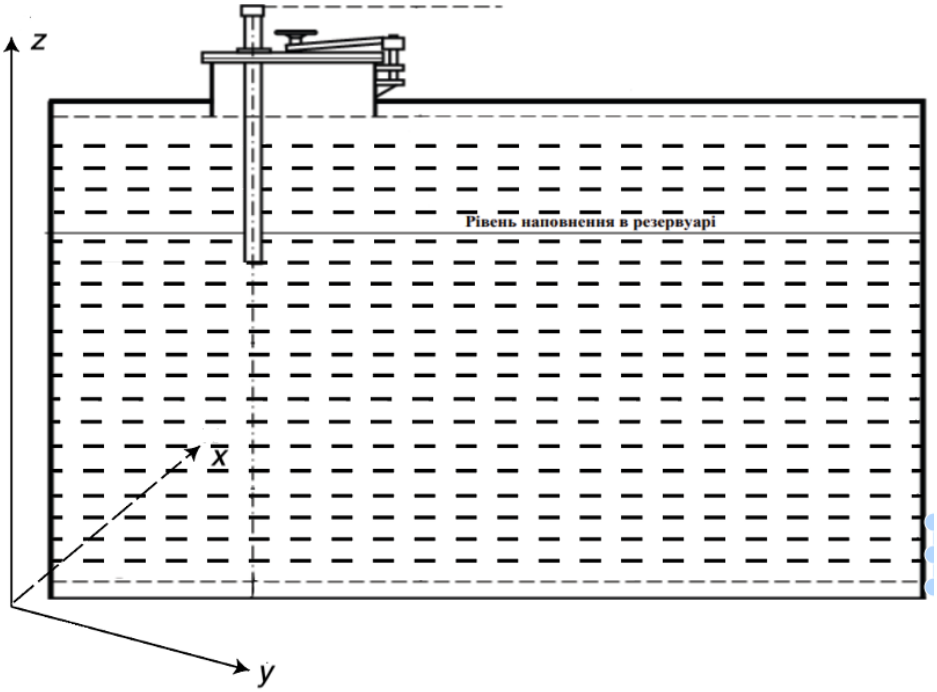


Рисунок 1 – Вигляд моделі резервуару з розрізами по висоті
(горизонтальним пунктиром виділено межі розрізу)
Figure 1 – View of the tank model with incisions in height
(horizontal dotted lines mark the boundaries of the incision)

Далі на кроці 1.2 для кожного горизонтального перерізу визначається опукла оболонка. Опуклою оболонкою деякої заданої множини точок називається мінімальна множина, що містить усі ці точки [12]. Для кінцевої множини точок опуклою оболонкою завжди буде опуклий багатокутник, всі вершини якого є точками вихідної множини [3]. Існує декілька алгоритмів пошуку опуклої оболонки. Перелік алгоритмів та відповідні часові складності представлено у таблиці 1.

В даній роботі використовуватиметься алгоритм Ендрю побудови мінімальної опуклої оболонки, оскільки він має одну з найкращих часову складність. Цей алгоритм є модифікацією алгоритму Грехема, який використовує лексикографічне сортування точок за координатами. Це є великою перевагою, оскільки не потребує використання тригонометричних операцій та операцій над дійсними числами. В процесі своєї роботи алгоритм Ендрю окремо визначає верхню та нижню частину оболонки з послідовних ланцюгів зовнішніх точок [4]. Графічна ілюстрацію результату роботи алгоритму представлена на рисунку 2.

Таблиця 1 – Відомі алгоритми побудови мінімальної опуклої оболонки та їх часова складність
Table 1 – Algorithms for constructing a minimal convex hull and their temporal complexity are known

Алгоритм	Складність
Джарвіса	$O(nh)$, де n – кількість точок, h - кількість точок в опуклій оболонці. Найгірший варіант $O(n^2)$.
Грехема	$O(n \log n)$, де n – кількість точок. Найкращий варіант $O(n)$.
Quickhull (алгоритм швидкого сортування)	$O(n \log n)$, де n – кількість точок. Найгірший варіант $O(n^2)$.
Кіркпатрика - Зейделя (алгоритм розділяй та володарюй)	$O(n \log h)$, де n – кількість точок, h - кількість точок в опуклій оболонці.
Ендрю	$O(n \log n)$, де n – кількість точок. Найкращий варіант $O(n)$.
Чана	$O(n \log n)$, де n – кількість точок.

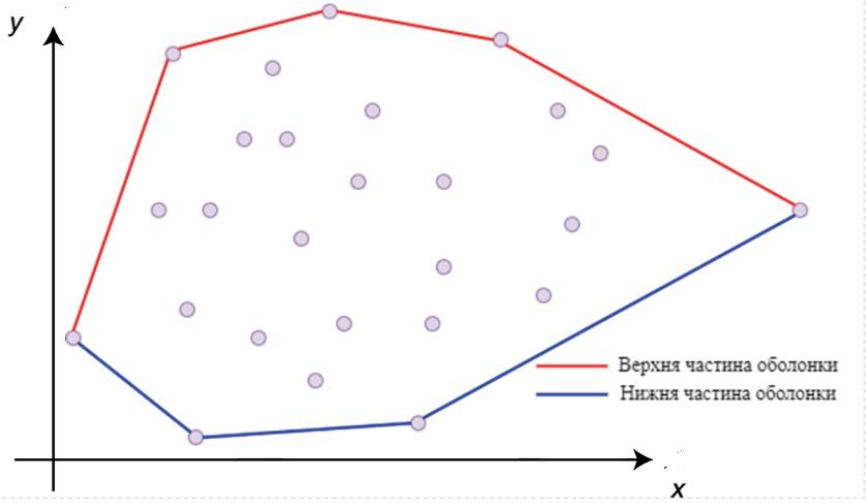


Рисунок 2 – Ілюстрація результату роботи алгоритму Ендрю
Figure 2 – Illustration of the result of Andrew's algorithm

Після застосування алгоритму Ендрю до множини точок кожного горизонтального перерізу резервуару отримуємо упорядковану множину точок, які відповідають деякій підмножині зовнішніх точок резервуару.

Включення увігнутостей в УПТ

З урахуванням мети досліджуваної задачі, недоліком алгоритму Ендрю (як і усіх алгоритмів побудови опуклої оболонки) є те, що він виключає можливість включення в УПТ точок, які належать увігнутостям резервуару, тим самим умовно збільшуючи об'єм.

Введемо позначення: $N = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – множина двовимірних точок аналізованого перерізу; $E = \{p_1, p_2, \dots, p_e\}$ – множина двовимірних точок опуклої оболонки, отриманих в результаті роботи алгоритму Ендрю, $E \subseteq N$; $M = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ – множина двовимірних точок, що не увійшли в множину E, $M \subseteq N$; Δ – числовий параметр максимально допустимої відстані між сусідніми точками; β – допустима глибина увігнутостей.

Нехай $p_1 \in E$ – стартова точка, яка є верхньою лівою точкою множини точок опуклої оболонки. Точка p_1 вважається неперевіреною з обох сторін – зі сторони наступної сусідньої точки і сторони попередньої точки. Наступною в УПТ точкою після стартової йде p_2. Відстані між точками p_1 і p_2 розраховується за формулою [5]:

$$d = \sqrt{(x_{p1} - x_{p2})^2 + (y_{p1} - y_{p2})^2} \quad (1)$$

Якщо $\Delta \geq d$, то будемо вважати точку p_1 перевіреною «справа», а точку p_2 – перевіреною «зліва», тобто будемо вважати, що між цими точками увігнутості немає (між ними нема точок, які потрібно включити до опуклої оболонки).

Якщо $\Delta \leq d$, то потрібно знайти точку A посередині відрізку $[p_1 ; p_2]$, координати якої дорівнюють: $x_A = \frac{x_{p1}+x_{p2}}{2}$, $y_A = \frac{y_{p1}+y_{p2}}{2}$. Далі в околі точки A радіусом β серед точок множини M шукається точка, що є найближчою то точки A (ці дії проілюстровано на рисунку 3).

Якщо така точка є, то включити її в УПТ між точками p_1 та p_2. Але нову точку p_{1-2} в оболонці не позначати як перевірену, оскільки відстань між нею та її сусідніми точками може бути не допустима ($\Delta \leq d$). Далі продовжити пошук, починаючи вже з точки p_{1-2}. Якщо такої точки нема – позначити пару точок p_1 та p_2 як перевірені. Приклад включення точки увігнутості в УПТ зображено на рисунку 4.

Ці дії виконуються циклічно для $p_1, p_2, \dots, p_n$, поки відстані між усіма сусідніми парами точок не будуть допустимими або всі точки будуть позначені як перевірені.

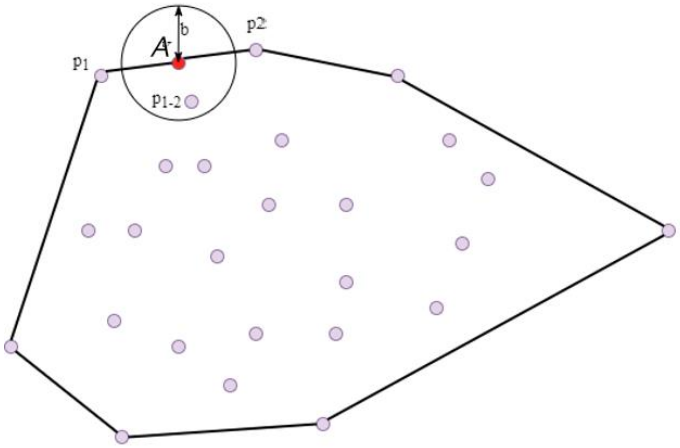


Рисунок 3 – Пошук точки для включення в УПТ
Figure 3 – Search for a point for inclusion in the UPT

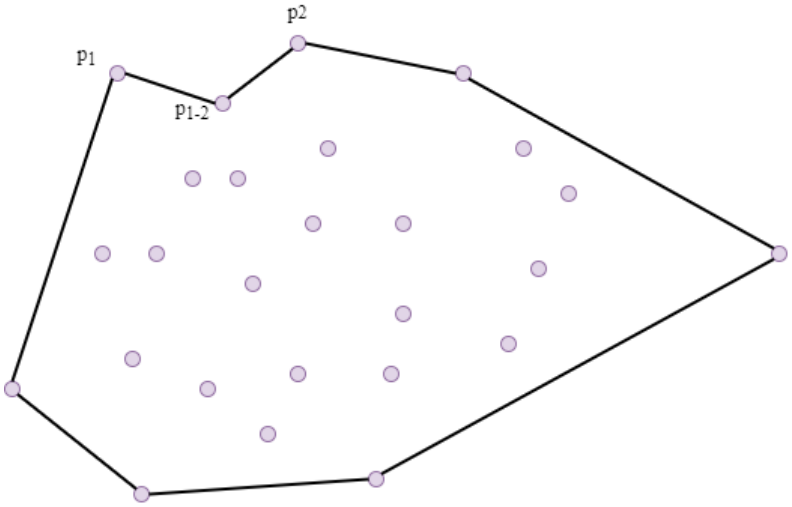


Рисунок 4 – Включення заглиблення в опуклу оболонку
Figure 4 – Inclusion of the recess in the convex hull

Алгоритм процедури включення точок у оболонку

Вхід: $N = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ – множина двовимірних точок
$E = \{p_1, p_2, \dots, p_e\}$ – множина двовимірних точок опуклої оболонки, отриманих в результаті роботи алгоритму Ендрю, $E \subseteq N$
$M = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ – множина двовимірних точок, що не увійшли в множину E, $M \subseteq N, M \cap E = \emptyset$
Δ – числовий параметр максимально допустимої відстані між сусідніми точками оболонки
β – числовий параметр максимальної глибини увігнутостей

Вихід: X – упорядкована послідовність точок

$X \coloneqq E$

Помітити всі точки як не перевіреними «справа» та «зліва»

while відстань між усіма парами сусідніх точок не є допустимою

    $x \coloneqq |X|$

    for $i \coloneqq 1$ **to** x **do** // цикл по точках множини X

        if $p_i = p_x$ //поточна точка остання в множині E

            if відстань між p_1 і $p_i \leq \Delta$

                then позначити p_1 як перевірену «справа» і p_i як перевірену «зліва»

            else

then знайти A – точку, яка знаходиться посередині між p_1 та p_i
p:= (∞, ∞)
for j $\coloneqq 1$ **to** $|M|$ **do** **//цикл по точках множини *M***
if відстань між p_j та $A \leq \beta$ і відстань між A та p_j є мінімальною серед всіх точок множини M
then $p \coloneqq p_j$
end if
end for
if $p \in M$
then $X \coloneqq X \cup p$, де точка p включається після точки p_i, видалити з множини M точку p
else позначити p_1 як перевірену «справа» і p_i як перевірену «зліва»
end if
end if
end if
if $p_i \neq p_x$ і p_i не була позначена як перевірена «справа» або «зліва»
if відстань між p_i та $p_{i+1} \leq \Delta$
then позначити p_i як перевірену «справа» і p_{i+1} як перевірену «зліва»
else
then знайти A – точку, яка знаходиться посередині між p_i та p_{i+1}
p:= (∞, ∞)
for j $\coloneqq 1$ **to** $|M|$ **do**
if відстань між p_j та $A \leq \beta$ і відстань між A та p_j є мінімальною серед всіх точок множини M
then p:= p_j
end if
end for
if $p \in M$
then $X \coloneqq X \cup p$, де точка p включається після точки p_i, видалити з множини M точку p
else позначити p_i як перевірену «справа» і p_{i+1} як перевірену «зліва»
end if
end if
end if
end for
end while

Після виконання цієї процедури УПТ перерізу буде виглядати так, як це представлено на рисунку 5.

На наступному етапі, за формулою площі Гаусса (алгоритм шнурування), визначається площа перерізу. Ця формула дозволяє обрахувати площу багатокутника використовуючи координати його вершин [6]. Формула розрахунку площі застосовна для будь-якого багатокутника без самоперетинів, який може бути опуклим чи ввігнутим [7]. Для точок УПТ $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ формула площі Гаусса має вигляд:

$$S = 0.5 * (\begin{vmatrix} x_1 & x_2 \\ y_1 & y_2 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} x_2 & x_3 \\ y_2 & y_3 \end{vmatrix} + \cdots + \begin{vmatrix} x_n & x_1 \\ y_n & y_1 \end{vmatrix}) \quad (2)$$

де S – площа багатокутника, n – кількість вершин багатокутника.

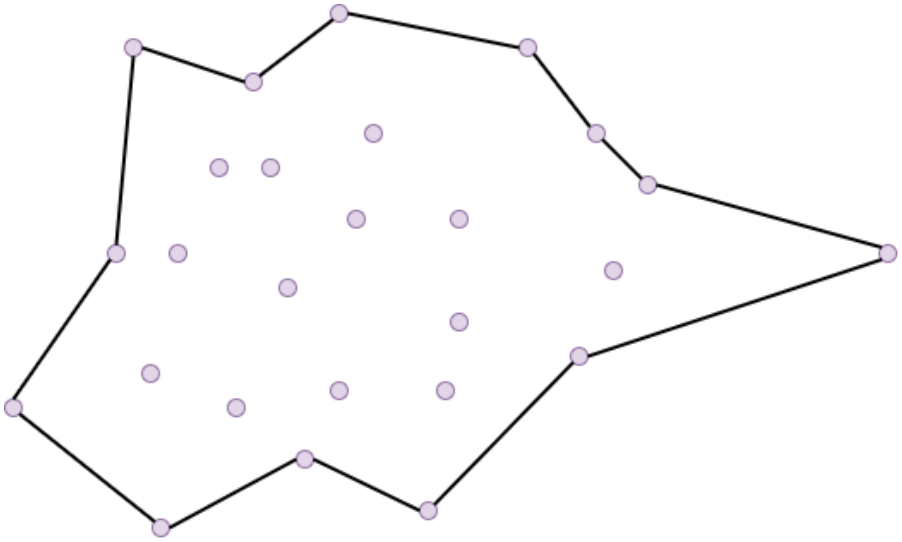


Рисунок 5 – Переріз з включеними заглибленнями в оболонку
Figure 5 – Algorithms for construction and minimal construction and development

Після отримання масиву значень площ горизонтальних перерізів резервуара треба розрахувати відстані між сусідніми перерізами. Для цього потрібно використати формулу:

$$l_i = |z_i - z_{i+1}| \quad i = 1, \dots, m-1, \tag{3}$$

де m – кількість перерізів, z_i – значення координати z для i-го перерізу.

Маючи площі кожного перерізу та відстані між сусідніми перерізами, можна обчислити об'єм резервуару. Об'єм такої не стандартної опуклої фігури можна порахувати за формулою знаходження об'єму усіченої піраміди [8]:

$$V_i = \frac{l_i}{3}\left(S_i + S_{i+1} + \sqrt{S_i S_{i+1}}\right), \quad i = 1, \dots, m-1, \tag{4}$$

де S_i – площа i-го перерізу.

Використавши (4) для знаходження об'єму шару між кожним перерізом, можна знайти загальний об'єм резервуару. Оскільки місткість резервуару обмежується висотою наповнення, отже об'єм потрібно шукати до цієї граничної висоти h:

$$V = \begin{cases} V = V + V_i, \ l_i + \alpha \le h, i = 1 \dots m-1 \\ V, \ l_i + \alpha > h, \end{cases} \tag{5}$$

де $\alpha = \sum_{j=1}^{i} l_j$, $i = 1 \dots m-1$, $j = 1 \dots i$.

Розрахувавши за формулою (5) значення об'ємів усіх шарів, можна знайти місткість резервуару до граничного значення висоти наповнення h. За умови, що на тривимірній моделі сканування було виявлено відсутність точок ззовні, які впливають на значення обрахованого об'єму, то можна експериментально визначити нижню та верхню границю $down^-, upper^+$ відповідно по висоті і помножити суму об'ємів, які відповідають тій частині загального об'єму на вказаній висоті, на коригуючий коефіцієнт μ.

Варто також зазначити, що місткість резервуару залежить від таких фізичних чинників як температура повітря під час проведення експерименту і матеріал поверхні резервуару. Для цього обчислюють поправку місткості θ сталевого резервуара, яка враховує деформацію стінки резервуара під дією температури приведеної до 15° за формулою [9]:

$$\theta = 1 + (15° - t) * \sigma, \tag{6}$$

де σ – лінійний температурний коефіцієнт розширення матеріалу (для сталі - $11{,}5 * 10^{-6}\ 1/°K$); t – середня температура резервуара під час проведення вимірювання, $°C$

Після обчислення коефіцієнту поправки місткості θ за (6) треба помножити знайдений об'єм резервуару V на θ, тим самим отримуючи більш точне значення об'єму.

На останньому кроці знаходиться розширена невизначеність U, яка є визначає інтервал навколо результату вимірювання, в межах якого ймовірно розташована більшість розподілу значень, які з достатнім обґрунтуванням можуть бути приписані вимірюваній величині [10].

$$U = k(p)u_c(V) \tag{7}$$

де $k(p)$ – коефіцієнт покриття, при $p = 0{,}95$ значення $k(p) \approx 2$,

$u_c(V)$ – сумарна стандартна невизначеність значення об'єму резервуару (в деяких джерелах називають комбінованою невизначеністю, що є звичайною стандартною невизначеністю):

$$u_c(V) = \sqrt{\frac{1}{(m-1)(m-2)}\sum_{i=1}^{m-1}(V_i - \bar{V})^2} \tag{8}$$

де $m-1$ – кількість визначених об'ємів шарів,

$\bar{V}$ – середнє значення об'єму шару між сусідніми перерізами, визначається як $\sum_{i=1}^{m-1}\frac{V_i}{m-1}$,

V_i – значення об'єму шару між i-м та $i+1$-м перерізом.

Результати практичного застосування

На рисунку 6 представлено результат розрахунку об'єму деякої цистерни у вигляді так званої градуювальної таблиці, в якій по міліметрах розписано відповідність рівню рідини в резервуарі її реального об'єму.

Градуювальна таблиця (поміліметрові інтервали, приведені до 15°C)

Організація

Тип: Резервуар №

Рівень наповнення, см	Місткість, м3 см/10										Відсоток місткості %
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	1,8354E-08	5,4589E-05	0,00021515	0,00064668	0,00177024	0,00296626	0,00490758	0,00660565	0,00870882	0,01113662	0,00317507
1	0,01311163	0,01495112	0,01706885	0,020389	0,02339682	0,02662683	0,02968212	0,03362269	0,03713937	0,04192192	0,01128609
2	0,04660661	0,05059962	0,05561245	0,06135566	0,06695445	0,07694755	0,09077389	0,10362281	0,11815646	0,1342223	0,03617241
3	0,14937614	0,16495892	0,18147039	0,1974818	0,21700714	0,23523621	0,25927981	0,29013099	0,32170385	0,35296495	0,09387219
4	0,3876509	0,42233168	0,45988979	0,49481582	0,53217219	0,57118798	0,61265401	0,65839834	0,70488185	0,75188818	0,19342364
5	0,79875463	0,84678612	0,89556279	0,9457712	0,99833	1,05102658	1,10400497	1,15734302	1,21074185	1,26571617	0,31992314
6	1,32114201	1,37520166	1,43049359	1,48686804	1,54348971	1,6001447	1,65720734	1,71480953	1,77298346	1,83024983	0,45733703
7	1,88860096	1,94738798	2,00612316	2,0653617	2,12453188	2,18403892	2,24494216	2,30810939	2,3714897	2,43551018	0,60561486
8	2,50092326	2,56734875	2,63357417	2,70065452	2,76731043	2,83316524	2,9001549	2,96762112	3,03502142	3,1018872	0,7673464
9	3,16880344	3,2360978	3,30357688	3,37152714	3,43841834	3,50605106	3,57372167	3,64175269	3,71013563	3,77841734	0,93152371
10	3,84678362	3,91502149	3,98333446	4,05157762	4,11907468	4,18762873	4,25590261	4,32412454	4,39256864	4,46101306	1,09675489
...											
710	406,496981	406,553945	406,610879	406,66783	406,724794	406,781725	406,838679	406,895635	406,95262	407,009584	98,5738156
711	407,066544	407,123641	407,18051	407,237444	407,294401	407,351383	407,40841	407,465447	407,522372	407,5793	98,7117697
712	407,636234	407,693197	407,750157	407,807264	407,864204	407,9212	407,978193	408,035144	408,092104	408,149064	98,8497484
713	408,206025	408,263117	408,320032	408,376963	408,433899	408,490861	408,547952	408,604895	408,661805	408,718743	98,9877283
714	408,775822	408,83278	408,889734	408,946691	409,003655	409,06072	409,117659	409,174577	409,23152	409,288547	99,1256958
715	409,345567	409,402499	409,459427	409,516356	409,573287	409,630229	409,687173	409,744121	409,801158	409,858082	99,2635904
716	409,915011	409,971966	410,028902	410,085835	410,142759	410,199695	410,256757	410,313681	410,370641	410,427586	99,4015374
717	410,484672	410,54161	410,598521	410,655594	410,712529	410,769484	410,826444	410,883392	410,940455	410,997355	99,5394691
718	411,054269	411,111216	411,168154	411,225098	411,282032	411,338954	411,395869	411,452782	411,509719	411,566673	99,6773726
719	411,62375	411,680686	411,737597	411,794514	411,851415	411,90835	411,965295	412,022227	412,079295	412,136195	99,8152468
720	412,19311	412,250003	412,306927	412,363863	412,420922	412,477832	412,534745	412,591638	412,648523	412,705606	99,953136
721	412,762531	412,819469	412,876378	412,933289	412,956059						100

Рисунок 6 – Фрагмент градуювальної таблиці

Figure 6 – Fragment of grading table

На рисунку 7 представлено результат розрахунку границь похибок для загальної місткості деякого резервуара, для місткості «мертвої» порожнини та місткості неконтрольованої порожнини згідно вимог ДСТУ [9]. Висота неконтрольованої порожнини, «мертвої» порожнини і висота загальної місткості були взяті з паспорту резервуару.

Назва параметра	Числове значення м³	Границі похибки (розширена невизначеність)
Місткість неконтрольованої порожнини	0,123581357100929 м³	± 0,0036656034155986 м³
Місткість "мертвої" порожнини	10,0813160943075 м³	± 0,14555404614836 м³
Місткість на граничну висоту заповнення резервуара (загальна місткість)	412,956059296846 м³	± 2,07997706718331 м³

Рисунок 7 – Результати границь похибок (розширені невизначеності)

Figure 7 – Error limit results (extended uncertainties)

Слід також зазначити, що в разі наявності всередині резервуару додаткових перешкод (балок, патрубків тощо) або деформації поверхні резервуару для підвищення точності розрахунку слід використовувати «коригуючі коефіцієнти», значення яких підбираються експериментально.

Висновок

В даній роботі було розглянуто принцип розрахунку місткості стаціонарного резервуару на основі лазерного сканування внутрішньої поверхні.

Такий спосіб надає змогу отримати значення об'єму дуже точно (до 0,5% похибки для резервуарів менше 15м^3, до 0,4% похибки для резервуарів менше 50м^3, до 0,3% похибки для резервуарів менше 200м^3 і 0,2% похибки для резервуарів понад 200м^3) [9].

Використовуючи даний набір процедур, можна з легкістю знаходити об'єми не тільки стаціонарних резервуарів, а й інших об'ємних тіл. Потрібно мати тільки масив координат, який описує дане тіло і висоту наповнення.

В разі наявності всередині резервуару додаткових перешкод (балок, патрубків тощо) або деформації поверхні резервуару для підвищення точності розрахунку слід використовувати «коригуючі коефіцієнти».

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Резервуари горизонтальні [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://gazovik-pgo.ru/cat/rgs/.
2. Спосіб градуювання резервуарів [Електронний ресурс] / [В. І. Кабанов, О. В. Молчанов, Е. І. Алаторцев та ін.]. – 2004. – Режим доступу до ресурсу: https://www.freepatent.ru/patents/2240514.
3. Рубан М. М. Алгоритми побудови опуклої оболонки [Електронний ресурс] / М. М. Рубан. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: https://ddpu.edu.ua/fizmatzbirnyk/2010/p122-126.pdf.
4. Чаднов Р. В. Алгоритмы построения выпуклых оболочек и их применение в ГИС и САПР [Електронний ресурс] / Р. В. Чаднов. – 2004. – Режим доступу до ресурсу: http://www.inf.tsu.ru/library/DiplomaWorks/CompScience/2004/Chadnov/diplom.pdf.
5. Клепко В. Ю. Вища математика в прикладах і задачах: Навчальний посібник. 2-ге видання / В. Ю. Клепко, В. Л. Голець. – Київ: Центр учбової літератури, 2009. – 594 с.
6. Shoelace Theorem [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://artofproblemsolving.com/wiki/index.php?title=Shoelace_Theorem.
7. McDougal L. Geometry for enjoyment and challenge / L. McDougal, M. Houghton. – New York, 1991. – 771 с.
8. Об'єм усіченої піраміди [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://reshalkin.in.ua/94-obem-usechennoy-piramidy.html.
9. ДСТУ 7473:2016 Метрологія. Резервуари стаціонарні вимірювальні вертикальні. Методика повірки (калібрування) геометричним методом із застосуванням геодезичних приладів.
10. Основи теорії похибок: Практикум здобувачів освітнього ступеня «магістр» спеціальності 152 «Метрологія та інформаційновимірювальна техніка» усіх форм навчання / [Упоряд. : Трембовецька Р.В., Тичков В.В., Базіло К.В., Куницька Л.Г.,]; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2018. – 170 с.
11. Про затвердження Інструкції про порядок приймання, транспортування, зберігання, відпуску та обліку нафти і нафтопродуктів на підприємствах і організаціях України [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0805-08#Text.
12. Гришко Ю. О. Алгоритми обчислювальної геометрії: Навчальний посібник для студентів факультету комп'ютерних наук та кібернетики / Ю. О. Гришко, О. С. Шкільняк. – Київ, 2020. – 153 с.

REFERENCES

1. Rezervuary ghoryzontaljni [Electronic resource]. https://gazovik-pgo.ru/cat/rgs/ [in Russian].
2. V. I. Kabanov, O. V. Molchanov, E. I. Alatorcev Sposib ghradujuvannja rezervuariv [Electronic resource]. https://www.freepatent.ru/patents/2240514 [in Russian].
3. Ruban M. M. Alghorytmy pobudovy opukloji obolonky [Electronic resource]. https://ddpu.edu.ua/fizmatzbirnyk/2010/p122-126.pdf [in Ukrainian].
4. Chadnov R. V. Algoritmy postroeniya vypuklykh obolochek i ikh primenenie v GIS i SAPR [Electronic resource]. http://www.inf.tsu.ru/library/DiplomaWorks/CompScience/2004/Chadnov/diplom.pdf [in Russian].
5. V. Ju. Klepko, V. L. Gholecj. (2009) Vyshha matematyka v prykladakh i zadachakh: Navchaljnyj posibnyk. 2-ghe vydannja [Higher mathematics in examples and problems: Textbook. 2nd edition]. Kyiv: Centr uchbovoji literatury [in Ukrainian].

6. Shoelace Theorem [Electronic resource]. https://artofproblemsolving.com/wiki/index.php?title=Shoelace_Theorem [in English].
7. L. McDougal, M. Houghton (1991) McDougal L. Geometry for enjoyment and challenge New York: Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company [in English].
8. Ob'jem usichenoji piramidy [Electronic resource]. http://reshalkin.in.ua/94-obem-usechennoy-piramidy.html [in Ukrainian].
9. DSTU 7473:2016 Metrologhija. Rezervuary stacionarni vymirjuvaljni vertykaljni. Metodyka povirky (kalibruvannja) gheometrychnym metodom iz zastosuvannjam gheodezychnykh pryladiv [DSTU 7473: 2016 Metrology. Reservoirs are stationary measuring vertical. Method of verification (calibration) by geometric method with the use of geodetic instruments]. [in Ukrainian].
10. Trembovecjka R.V., Tychkov V.V., Bazilo K.V., Kunycjka L.Gh. (2018) Osnovy teoriji pokhybok: Praktykum zdobuvachiv osvitnjogho stupenja «maghistr» specialjnosti 152 «Metrologhija ta informacijnovymirjuvaljna tekhnika» usikh form navchannja [Fundamentals of the theory of errors: Workshop for applicants for the degree of «Master» specialty 152 «Metrology and Information Measurement Technology» of all forms of education]. Cherkasy: Cherkasjkyj derzhavnyj tekhnologhichnyj universytet. [in Ukrainian].
11. Pro zatverdzhennja Instrukciji pro porjadok pryjmannja, transportuvannja, zberighannja, vidpusku ta obliku nafty i naftoproduktiv na pidpryjemstvakh i orghanizacijakh Ukrajiny [Electronic resource]. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0805-08#Text [in Ukrainian].
12. Ghryshko Ju.O., Shkiljnjak O.S. (2020) Alghorytmy obchysljuvaljnoji gheometriji: Navchaljnyj posibnyk dlja studentiv fakuljtetu komp'juternykh nauk ta kibernetyky [Computational Geometry Algorithms: A Textbook for Students of the Faculty of Computer Science and Cybernetics]. Kyiv. [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Гавриленко О.В. Визначення місткості стаціонарних резервуарів за результатами лазерного сканування / О.В. Гавриленко, О.Г. Жданова, Р.Ш. Назиров, Д.О. Пархоменко, О.А. Шумейко, О.А. Халус // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

На поточний момент багато підприємств та організацій мають необхідність зберігати для власних потреб пальне, або інші рідини.

Класичний варіант визначення місткості резервуарів полягає у наповненні їх рідиною, використовуючи лічильник кількості рідини, похибку якого визначають перед початком градуювання для заданої швидкості наповнення. Такий метод є надійним, оскільки все залежить тільки від точності самого лічильника. Принцип роботи простий: використовується трубка з лічильником для подачі рідини для наповнення резервуару до межі (висоти) наповнення. Значення, яке розрахував лічильник і є об’ємом рідини в резервуарі. Але даний метод потребує значної кількості часу і рідини для проведення експерименту і на практиці не завжди є можливим для реалізації.

Альтернативним варіантом є використання лазерного сканера для сканування внутрішньої поверхні резервуару. Обчислення його об’єму проводиться на основі отриманих масивів точок поверхні.

В цій статті буде розглянуто метод визначення місткості резервуарів, який використовує результати лазерного сканування внутрішньої поверхні, та враховує геометричні характеристики та особливості резервуару (граничну висоту наповнення максимальну глибину увігнутостей тощо), значення температури під час сканування; лінійний температурний коефіцієнт розширення матеріалу резервуару.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РЕЗЕРВУАР, МІСТКІСТЬ, ГРАДУЮВАЛЬНА ТАБЛИЦЯ, КОРЕГУЮЧІ КОЕФІЦІЄНТИ, ЛАЗЕРНИЙ СКАНЕР.

ABSTRACT

Gavrilenko Olena, Zhdanova Olena, Nazirov Rodion, Parkhomenko Dmytro, Shumeiko Oleksiy, Khalus Olena. Determination of the capacity of stationary tanks based on the results of laser scanning. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

At present, many companies and organizations need to store fuel or other liquids for their own needs.

The classic option for determining the capacity of tanks is to fill them with liquid, using a liquid quantity meter, the error of which is determined before calibration for a given filling speed. This method is reliable because it all depends on the accuracy of the meter. The principle of operation is simple: a tube with

a meter is used to supply liquid to fill the tank to the limit (height) of filling. The value calculated by the meter and is the volume of liquid in the tank. But this method requires a significant amount of time and fluid to conduct the experiment and in practice is not always possible to implement.

An alternative is to use a laser scanner to scan the inner surface of the tank. Its volume is calculated on the basis of the obtained arrays of surface points.

This article will consider the method of determining the capacity of tanks, which uses the results of laser scanning of the inner surface, and takes into account the geometric characteristics and features of the tank (maximum filling height, maximum depth of depressions, etc.), temperature values during scanning; linear temperature coefficient of expansion of the tank material.

KEY WORDS: TANK, CAPACITY, CALIBRATION TABLE, CORRECTION FACTORS, LASER SCANNER.

АВТОРИ:

Гавриленко Олена Валеріївна, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри інформаційних систем та технологій ФІОТ, КПІ імені Ігоря Сікорського, +380935768058, Україна, Київ, вул. Політехнічна, 41, кімната 519, gelena1980@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0413-6274

Жданова Олена Григорівна, кандидат технічних, доцент кафедри інформаційних систем та технологій ФІОТ, КПІ імені Ігоря Сікорського, +380502820811, Україна, Київ, вул. Політехнічна, 41, кімната 519, zhdanova.elena@hotmail.com, orcid.org/ 0000-0002-8787-846X

Назиров Родіон Шавкатович, директор товариства з обмеженою відповідальністю «Інноваційний центр Нове життя», +38 (067)407-33-67, Україна, Київ, вул. В. Гавела 6, корп. 17, info@novezhittya.com.ua, orcid.org/0000-0002-5102-3662

Пархоменко Дмитро Олександрович, студент ФІОТ КПІ імені Ігоря Сікорського, +380686087841, Київ, Україна, rainbow77733327@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1735-5679

Шумейко Олексій Андрійович, доцент кафедри інформаційних систем і технологій, Національний транспортний університет, Україна, Київ, Національний транспортний університет, +380664455347, Україна, Київ, shumeyko.ntu.edu.ua@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2897-060X

Халус Олена Андріївна, старший викладач кафедри інформатики та програмної інженерії, заступник декана ФІОТ, КПІ імені Ігоря Сікорського, +380503515107, Україна, Київ, Україна, Київ, вул. Політехнічна, 41, кімната 317/3, Selena.ua@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5485-7881

AUTHORS:

Olena Gavrylenko, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies FIOT, KPI named after Igor Sikorsky, +380935768058, Ukraine, Kyiv, st. Polytechnic, 41, room 519, gelena1980@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0413-6274

Olena Zhdanova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies FIOT, KPI named after Igor Sikorsky, +380502820811, Ukraine, Kiev, st. Polytechnic, 41, room 519, zhdanova.elena@hotmail.com, orcid.org/ 0000-0002-8787-846X

Rodion Nazirov, Director of the New Life Innovation Center Limited Liability Company, +380674073367, Ukraine, Kyiv, vul. V. Havela 6, bldg. 17, info@novezhittya.com.ua, orcid.org/0000-0003-1735-5681

Dmytro Parkhomenko, student of FIOT KPI named after Igor Sikorsky, +30686087841, Kyiv, Ukraine, rainbow77733327@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1735-5679

Oleksiy Shumeiko, Associate Professor, Department of Information Systems and Technologies, National Transport University, Ukraine, Kyiv, National Transport University, +380664455347, Ukraine, Kyiv, shumeyko.ntu.edu.ua@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2897 -060X

Olena Khalus, Senior Lecturer, Department of Informatics and Software Engineering, Deputy Dean of FIOT, KPI named after Igor Sikorsky, +380503515107, Ukraine, Kyiv, st. Polytechnic, 41, room 317/3, Selena.ua@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5485-7881

РЕЦЕНЗЕНТИ:

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

Павлов О.А., доктор технічних наук, професор, професор кафедри ІПІ ФІОТ КПІ ім. Ігоря Сікорського.

REVIEWER:

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

Pavlov O.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of IPI FIOT KPI named after Igor Sikorsky.

УДК 658.81:658.7
UDC 658.81:658.7
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-95-102

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ТА ПРИЙНЯТТЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ В ПРОЦЕСІ УПРАВЛІННЯ РЕВЕРСИВНИМИ ПОТОКАМИ В ЛАНЦЮГАХ ПОСТАЧАНЬ

Галак І.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, 1017imiia@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5038-7771

Хрутьба Ю.С., кандидат економічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, hrutbaj@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3419-8364

SPECIFICS OF PROJECT'S DECISIONS-MAKING PROCESS AND ITS FORMATION IN REVERSE SUPPLY CHAINS MANAGEMENT

Halak I.I., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, 1017imiia@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5038-7771

Khrutba Y.S. Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, hrutbaj@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3419-8364

Постановка проблеми.

Соціально-відповідальна поведінка основних суб'єктів суспільства – державних та місцевих органів влади, корпоративних структур, громадських організацій, громадян є гарантією сталого екологічного, економічного та соціального розвитку, покращення якості життя, удосконалення виробничих відносин. Основні ідеї концепції сталого розвитку мають бути реалізовані шляхом прийняття стратегій соціальної відповідальності учасниками економічних відносин. Такий підхід дозволить інтегрувати в управлінські рішення передовий досвід поєднання приватних та суспільних інтересів на шляху підвищення конкурентоспроможності [1].

Отже, потреба у запровадження сучасних механізмів взаємодії держави і бізнесу, а також бізнесу і суспільства, є актуальною і дає змогу посилити взаємну відповідальність усіх учасників суспільного життя, створити умови для подальшого соціально-економічного розвитку держави та суспільства [2].

Виходячи з цього, учасники ланцюга постачань не повинні зосереджуватись виключно над оптимізацією процесу протікання матеріального потоку в логістичній системі та максимізацією власних прибутків, а мають приймати рішення та виконувати дії щодо утилізації тари та товарів у яких закінчився термін експлуатації, або строк корисного використання. Це призводить до необхідності дослідження процесів, які виникають в ланцюгах постачань, що включають в себе реверсивні потоки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Окремі аспекти, які описують процес управління реверсивними потоками в ланцюзі постачань, досліджені в працях різних науковців. В роботі А. Агравала і В. Чоудхарі [3] реверсивну логістику представлено у світлі життєвого циклу продукту. Вони також визначили основні стратегії, як рекомендації для бізнесу щодо підтримки процесів реверсивної логістику на високому рівні. Залучення споживачів до реверсивних процесів в логістичній системі, описано в роботі П. Оом ду Валле та співавторів [4], вони пропонують застосування багатофакторних статистичних методів, щоб вивчити рівень обслуговування споживачів у реверсивному напрямку. Отримані результати дозволяють удосконалити комплексний логістичний рівень сервісу у проєктах утилізації. Р.Б.М. Сантос та С.С. Брага Джуніор [5] вважають рециклінг головною складовою процесу управління реверсивними потоками та, на основі анкетування, обґрунтовують важливість впровадження реверсної логістики в супермаркетах. Рецикліг матеріалів, скорочення споживання та повторне використання матеріалів, на думку П. Мерфі та Р. Пойста [6], відносяться до найбільш часто використаних стратегій зеленої логістики. В роботі Л. Мойєра та С.М. Гупта [7] проведено дослідження пов'язане з екологічно свідомими виробничими практиками та основними проблемами рециклінгу в електронній промисловості. Щодо українських науковців, потрібно відмітити роботу Мішеніна Є.В. та Коблянської І.І. [8], в якій досліджено механізми логістичного управління, що враховують екологічні аспекти розвитку промислового виробництва. В роботі сформовано організаційну схему функціонування «зелених» логістичних ланцюгів та запропоновані напрями державної підтримки екологічно спрямованих підприємницьких структур.

Переваги та можливості отримані підприємствами під час реалізації проєктів логістики рециклінгу описані Тарановською Ю.М. та Янчуком Т.В [9]. В роботах Ковтун Т.А. [10,11]

обґрунтуванні доцільності впровадженні еколого-орієнтованого напрямку логістики – реверсивної логістики для досягнення цілей сталого розвитку та представлено екологістичну систему, як таку, що базується на створенні рециклінгово-утилізаційних потоків, які замикають логістичні ланцюги завдяки створенню логістичних петель циркулярних процесів реверсивної логістики. В сфері управління проєктами потрібно відмітити праці Воркут Т.А. та співавторів. [12,13] де досліджується концепція формування, на єдиній системній основі, портфелів реалізації колективних стратегій в мережах організації ланцюгів постачань та роботу Ковтун Т.А. [14], в якій досліджено проблему підвищення ефективності управління проєктами екологістичних систем завдяки застосуванню моделей, методів та механізмів, що формують нову методологію конвергентного управління проєктами.

Мета статті – дослідити процес прийняття проєктних рішень щодо впровадження проєктів в сфері реверсивної логістики та запропонувати систему критеріїв, що дозволяє вибрати єдиний варіант комплексу типових проєктних рішень, які максимально впливають на досягнення стратегічних цілей організацій в ланцюгах постачань.

Виклад основного матеріалу.

Реверсивні потоки повертають товари, їх частини та компоненти в процес виробництва та споживання в якості вторинних матеріальних ресурсів, що дозволяє скоротити споживання первинних ресурсів та подовжити строк експлуатації товарів. Таким чином, подовжується життєвий цикл товару – сукупність етапів, які виконуються з моменту виявлення потреб суспільства в певному товарі до моменту задоволення цієї потреби та його утилізації [15]. Наприклад, така компанія, як Estee Lauder, після дуже успішного проєкту зворотної логістики створила лінійку продуктів на 250 мільйонів доларів за рахунок реверсивного потоку товарів. Аналогічно, інвестиції Caterpillar у відновлювальний завод у Міссісіпі, який розбирає та перебудовує дизельні двигуни, окупилися, коли підрозділ почав стрімко розвиватися із річним доходом, який перевищує 1 мільярд доларів, і, за оцінками, буде зростати на 20% щороку [16]. Ці приклади вказують на те, що правильна реверсивна логістика може допомогти організаціям покращити ефективність роботи.

В роботах [12,13] описані два підходи формування портфелів реалізації логістичних стратегій в мережах організацій ланцюгів постачань. За першим підходом передбачається, що кожна організація, яка входить до складу ланцюга постачань, формує стратегічні цілі, встановлює показники для їх вимірювання, зокрема в процесах планування і контролю, і визначає цільові значення даних показників, які мають бути досягнуті у встановлених періодах. Відповідно до другого підходу щодо формування портфелів реалізації логістичних стратегій в мережах організацій ланцюгів постачань встановлюються стратегічні цілі для ланцюга постачань, показники для їх оцінювання і цільові значення останніх в певних періодах. В подальшому, організації, які є учасницями ланцюга постачань, встановлюють стратегічні цілі, вже узгоджуючись із умовами своєї роботи у відповідних ланцюгах постачань, показники для вимірювання даних цілей, а також цільові значення останніх.

Отже, кожна організація має прийняти ряд заходів для створення умов сталого розвитку, що призводить до формування матриці стратегічних цілей, а в подальшому – до розробки ряду проєктів в сфері реверсивної логістики[17]. В статті пропонується оцінити ефективність цього підходу на основі оцінки показників вимірювання стратегічних цілей із встановленням критеріїв вибору оптимального комплексу проєктних рішень, що дозволить уникнути зайвого розподілу ресурсів через спільне використання апаратних і програмних ресурсів між різними проєктами реверсивної логістики .

По-перше, для різних проєктів складається єдиний список стратегічних цілей, які впливають на виникнення проєкту. У відповідності цьому списку ставиться деяка впорядкована множина $\{S_1, S_2, ..., S_m\}$, де m – загальна кількість стратегічних цілей. Ця множина віддзеркалює причини та джерела виникнення потреби в реалізації проєктів в сфері реверсивної логістики.

По-друге, на основі візуального дослідження ситуації для кожної організації, складається єдиний список проєктних рішень, які пов'язані з стратегічними цілями, що ввійшли до множини $\{S\}$. Поставимо у відповідність цьому списку деяку впорядковану множину $\{I_1, I_2, ..., I_m\}$, де k – кількість проєктних рішень, які вибрані для цього масиву із основного списку.

По-третє, складаємо матрицю a_{ij} розмірності $m-k$, де a_{ij} – середньозважена оцінка впливу показника вимірювання конкретної стратегічної цілі на процес досягнення стратегічної цілі S_i.

Після чого складаються дві матриці: матриця A і матриця $Б$ (таб. 1 та 2).

Таблиця 1 – Матриця А: Опис стратегічних цілей проєкту
Table 1 – Matrix A: Description of the project strategic goals

№ п/п	Проєкт	Ресурси	Стратегічні цілі проєкту					
			S_1	S_2	…	S_i	…	S_m
1	P^1	R_1	a_{11}	a_{12}	…	a_{1i}	…	a_{1m}
2	P^2	R_2	a_{12}	a_{22}	…	a_{2i}	…	a_{2m}
…	…	…	…	…	…	…	…	…
C	P^C	R_C	a_{C1}	a_{C2}	…	a_{Ci}	…	a_{Cm}
…	…	…	…	…	…	…	…	…
N	P^N	R_N	a_{N1}	a_{N2}	…	a_{Ni}	…	a_{Nm}

$$\bar{P}^C = P^C\left(R_C, a_{C1}, a_{C2}, ..., a_{Cm}\right) \tag{1}$$

де R_C – сумарні ресурси відповідно для C-того проєкту; {0}, якщо C-тий проєкт не пов'язаний зі стратегічною цілю S_i; 1, якщо C-тий проєкт пов'язаний із стратегічною цілю S_i; m – загальна кількість стратегічних цілей.

Ця матриця у формалізованому виді відображає різноманітність стратегічних цілей (проблем), які створюють умови для розвитку концепції сталого розвитку в організації, що виступає ланкою в ланцюзі постачань.

Для побудови матриці *Б* (таб. 2) підбираються всі типові проєктні рішення, впровадження яких будь-яким чином вплине на досягнення стратегічних цілей.

Таблиця 2 – Матриця Б: Оцінка ефективності проєктних рішень при досягненні стратегічних цілей
Table 2 – Matrix B: Effectiveness evaluation of project decisions in achieving strategic goals

№ п/п	Проєктні рішення	Стратегічні цілі проєкту						Ефект
		S_1	S_2	…	S_i	…	S_m	
1	A_1	a_{11}	a_{12}	…	a_{1i}	…	a_{1m}	E_1
2	A_2	a_{12}	a_{22}	…	a_{2i}	…	a_{2m}	E_2
…	…	…	…	…	…	…	…	…
j	A_j	a_{j1}	a_{j2}	…	a_{ji}	…	a_{jm}	E_j
…	…	…	…	…	…	…	…	…
k	A_k	a_{k1}	a_{k2}	…	a_{ki}	…	a_{km}	E_k

На основі формалізованої матриці стратегічних цілей будується дискретна нелінійна функція прогнозованої зміни сумарних ресурсів (ΔR) в результаті впровадження комплексу типових проєктних рішень:

$$\Delta R\left(y_1, y_2, ,,..., y_k\right) = \sum_{C=1}^{N} R_C \left\{ 1 - \prod_{i=1}^{N} \left[1 - a_{ij} \left(1 - \prod_{j=1}^{m} \left(1 - y_j \cdot \alpha_{ij} \right) \right) \right] \right\} \tag{2}$$

де $y_j = 1$ – проєктне рішення A_j прийняте; $y_j = 0$ – проєктне рішення A_j не прийняте; N – кількість проєктів; m – кількість стратегічних цілей, які впливають на втілення проєктів у життя; k – кількість можливих для впровадження типових проєктних рішень; a_{ij} – вплив проєктного рішення A_j на втілення стратегічних цілей у життя S_i; $R = \sum_{C=1}^{N} R_C$ – сумарні ресурси, які необхідні організації

для втілення в життя портфель проєктів в сфері реверсивної логістики. Ця функція приймає стільки дискретних значень, скільки є подвійних векторів на довжині k, тобто 2^k.

На основі цієї функції будується система критеріїв вибору ефективного комплексу типових проєктних рішень за проєктом, який відповідає загально методологічним принципам системного підходу.

Система критеріїв вибору і планування черговості впровадження ефективного комплексу типових проєктних рішень для досягнення стратегічних цілей організації в контексті концепції сталого розвитку, що є учасницею ланцюга постачань.

Таблиця 3 – Критерії вибору ефективних проєктних рішень для досягнення стратегічних цілей проєкту

Table 3 – The selection criteria of effective project decisions to achieve the strategic project goals

Критерій 1	Критерій 2	Критерій 3	Критерій 4
$\frac{\Delta R(y_1, y_2, ...y_k)}{\sum L_i y_j} \geq \alpha_0$	$\Delta R(y_1, y_2, ...y_k)$ $\sum L_i y_j \prec L_0$	$\max\left[\Delta R(y_1, y_2, ...y_k) - \sum L_i y_j\right]$ $\sum L_i y_j \prec L_0$	$\frac{\Delta R(y_1, y_2, ...y_k)}{\sum L_i y_j}$ $\sum L_i y_j \prec L_i$

Критерій 1. Досягнення заданого цільового показника шляхом проведення проєктних рішень за мінімальні ресурси.

$$\min \sum L_i y_j, \text{ при } \Delta R(y_1, y_2, ...y_k)/R \geq \alpha_0; \quad (3)$$

α_0 (%) – цільовий показник мінімізації ресурсів проєкту .

Це основний критерій, так як він дозволяє здійснити вибір ефективності комплексу типових заходів у відповідності із заданою величиною скорочення збитків від ДТП на підприємство .

Критерій 2. Досягнення максимального скорочення ресурсів при обмеженій вартості проєкту.

$$\max \Delta L(y_1, y_2, ...y_k), \text{ при } \sum L_i y_j \prec L_0; \quad (4)$$

C_0 (грн.) – обмежені ресурси впроваджуваного комплексу типових проєктних рішень.

Критерій 3. Досягнення максимального ефекту проєктних рішень при їх обмежених ресурсах.

$$\max\left[\Delta R(y_1, y_2, ...y_k) - \sum L_i y_j\right], \text{ при } \sum L_i y_j \prec L_0 \quad (5)$$

Критерій 4. Досягнення максимальної ефективності комплексу проєктних рішень при обмежених ресурсах.

$$\frac{\Delta R(y_1, y_2, ...y_k)}{\sum L_i y_j}, \text{ при } \sum L_i y_j \prec L_0 \quad (6)$$

Таким чином кожному комплексу типових проєктних рішень ставляться у відповідність чотири показники: *ΔR/R, ΔR, ΔR-L, ΔR/ L*. Кожний із них є функцією, яка залежить від ефективності і вартості окремих проєктних рішень (рис. 1).

Висновки.

Важливою діяльністю з прийнятті управлінських рішень, яку здійснюють менеджери з управління реверсивними потоками в ланцюзі постачань, є вибір можливих проєктів, які можна було б виконати відповідно до наявних ресурсів. Вибір проєкту в сфері реверсивної логістики є проблемою багатокритеріального прийняття рішень, хоча, досвід і знання менеджерів з управління реверсивними потоками в ланцюзі постачань можуть бути корисними для невеликих проєктів, але це може бути недостатнім для прийняття правильного рішення щодо вибору проєктів при вирішені багатокритеріальної задачі. Тому, запропонована система критеріїв дозволяє вибрати єдиний варіант комплексу типових проєктних рішень, які впливають на досягнення стратегічних цілей організацій в ланцюгах постачань. Результати роботи, можуть бути використані вищим керівництвом під час

прийняття проєктних рішень, що дозволить уникнути зайвого розподілу ресурсів через спільне використання апаратних і програмних ресурсів між різними проєктами реверсивної логістики, оскільки реалізація двох або більше пов'язаних проєктів вимагатиме менше ресурсів, ніж якщо б вони реалізовувалися окремо.

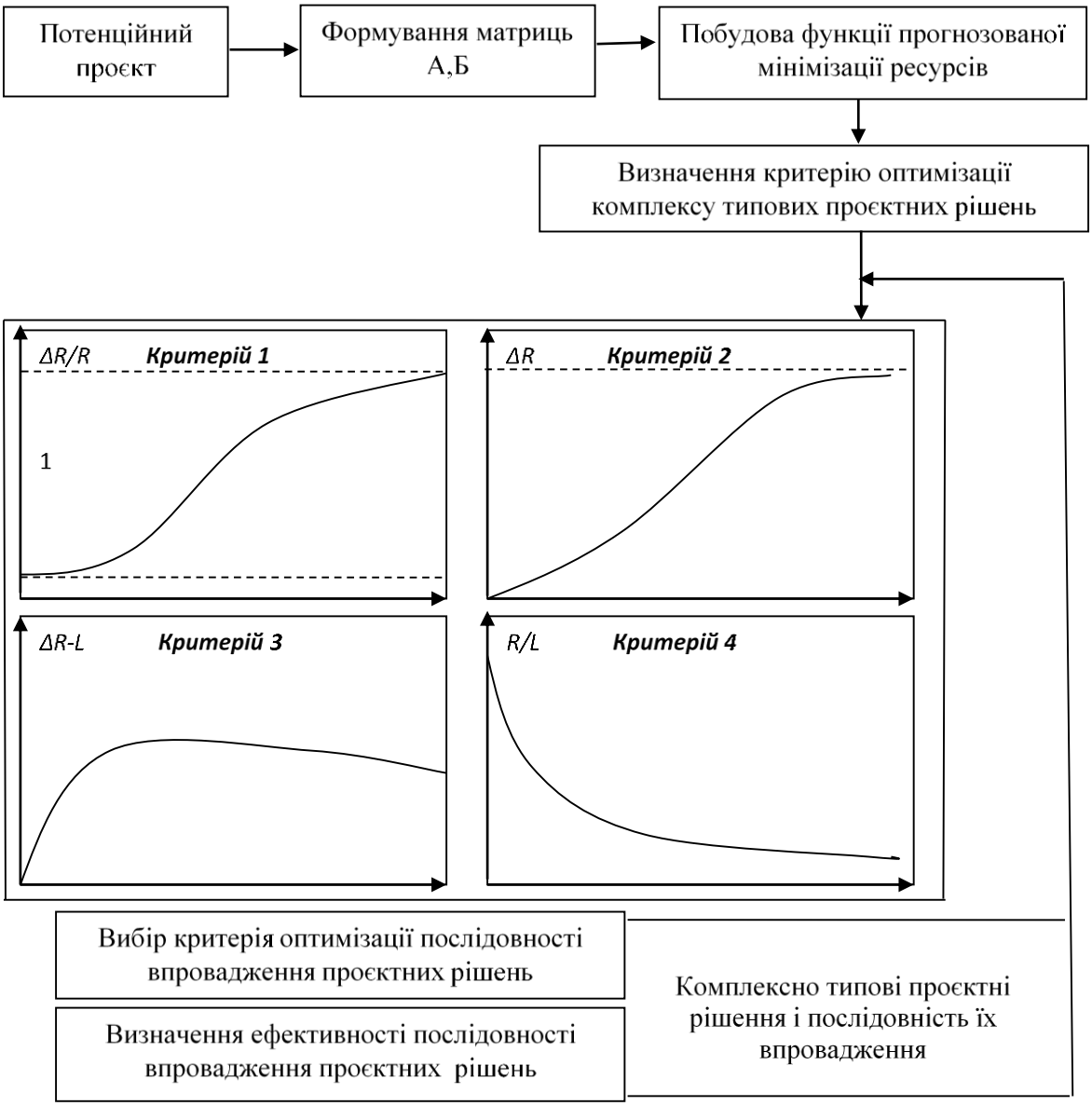


Рисунок 1 – Алгоритм формування ефективного комплексу типових проєктних рішень
Figure 1 – Formation algorithm for an effective rang of standard project decisions

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Охріменко О.О., Іванова Т.В. Соціальна відповідальність. – Навч. посіб. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – 2015. –180 с.

2.Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері сприяння розвитку соціально відповідального бізнесу в Україні на період до 2030 року. КМУ. Розпорядження від 24 січня 2020 р. № 66-р.

3.Agrawal A and Choudhary V 2014 Reverse Logistics: Performance Measures and their effect in product lifecycle International Journal of Core Engineering & Management (IJCEM) 1(2) 14-22

4.Oom do Valle P, Menezes J, Reis E and Rebelo E 2009 Reverse logistics for recycling: The customer service determinants International Journal of Business Science and Applied Management 4(1) 1-17

5.Santos R B M, Braga Junior S S, da Silva D and Satolo E G 2014 Analysis of the economic and environmental benefits through the reverse logistics for retail American Journal of Environmental Protection 3(3) 138-143

6.Murphy, P. and Poist, R., Green logistics strategies: an analysis of usage patterns. Transport. J., 2000, 40(2), 5–17

7.Moyer, L. and Gupta, S.M., Environmental concerns and recycling/disassembly efforts in the electronics industry. J. Electron. Manuf., 1997, 7(1), 1–22.

8.Мішенін Є.В., Коблянська І.І. Логістичне управління промисловим виробництвом у контексті розвитку «зеленої» економіки в Україні. Економіст. 2012. № 1. С. 8–12.

9.Тарановська Ю.М. та Янчук Т.В Сутність та значення реверсивної логістики в сучасних ринкових умовах. Східна Європа: економіка, бізнес та управління. 2018. № 6(17). с. 17–20.

10.Ковтун Т.А., Смрковська В.Ю., Ковтун Д.К. Реверсивна логістика як інструмент екологізації економіки на засадах концепції сталого розвитку. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій Міністерства освіти і науки України : Серія «Транспортні системи і технології». Вип. 36. Київ : ДУІТ, 2020. С. 171–183.

11.Ковтун Т.А. Життєвий цикл проекту в рамках бізнес-моделі циркулярної економіки. Управління проектами : стан та перспективи: матеріали XVI міжнар. науково-практичної конференції, 8 – 11 вересня 2020 р. м. Миколаїв : Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (НУК), 2020. С. 47–50.

12.Управління портфелями реалізації логістичних стратегій в ланцюгах постачань. Монографія / Т.А. Воркут, І.І. Галак, А.В. Петунін, В.С. Харута. – Київ: Міленіум, 2020. – 200 с.

13.Портфельно-орієнтоване управління в організаційних мережах. Монографія / Т.А. Воркут, О.Є. Білоног, А.В. Дмитриченко, А.В. Петунін, Н.В. Срібна, Ю.О. Третиниченко. – Київ: Міленіум, 2021. – 227 с.

14.Методологія конвергентного управління проектами екологістичних систем [Текст] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.22 / Ковтун Тетяна Антонівна; Одес. нац. мор. ун-т. – Одеса, 2021. – 44 с.

15.Берг Д.Б., Ульянова Е.А, Добряк П.В. Модели жизненного цикла : учеб. пособие. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. 74 с.

16.Jayaraman, V., & Luo, Y. (2017). Creating Competitive Advantages Through New Value Creation: A Reverse Logistics Perspective. Academy of Management Perspectives, 21(2), 56-73.

17.V. Ravi, Ravi Shankar and M. K. Tiwari Selection of a reverse logistics project for end-of-life computers: ANP and goal programing approach. International Journal of Production Research, Vol. 46, No. 17, 1 September 2008, 4849–4870

REFERENCES

1. Okhrimenko O.O., Ivanova T.V. Sotsialna vidpovidalnist. – Navch. posib. – Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Ukrainy «Kyivskyi politekhnichnyi instytut». – 2015. – 180 s.

2. Pro skhvalennia Kontseptsii realizatsii derzhavnoi polityky u sferi spryiannia rozvytku sotsialno vidpovidalnoho biznesu v Ukraini na period do 2030 roku. KMU. Rozporiadzhennia vid 24 sichnia 2020 r. № 66-r.

3. Agrawal A and Choudhary V 2014 Reverse Logistics: Performance Measures and their effect in product lifecycle International Journal of Core Engineering & Management (IJCEM) 1(2) 14-22

4. Oom do Valle P, Menezes J, Reis E and Rebelo E 2009 Reverse logistics for recycling: The customer service determinants International Journal of Business Science and Applied Management 4(1) 1-17

5. Santos R B M, Braga Junior S S, da Silva D and Satolo E G 2014 Analysis of the economic and environmental benefits through the reverse logistics for retail American Journal of Environmental Protection 3(3) 138-143

6. Murphy, P. and Poist, R., Green logistics strategies: an analysis of usage patterns. Transport. J., 2000, 40(2), 5–17

7. Moyer, L. and Gupta, S.M., Environmental concerns and recycling/disassembly efforts in the electronics industry. J. Electron. Manuf., 1997, 7(1), 1–22.

8. Mishenin Ye.V., Koblianska I.I. Lohistychne upravlinnia promyslovym vyrobnytstvom u konteksti rozvytku «zelenoi» ekonomiky v Ukraini. Ekonomist. 2012. № 1. S. 8–12.

9. Taranovska Yu.M. ta Yanchuk T.V Sutnist ta znachennia reversyvnoi lohistyky v suchasnykh rynkovykh umovakh. Skhidna Yevropa: ekonomika, biznes ta upravlinnia. 2018. № 6(17). s. 17–20.

10.Kovtun T.A., Smrkovska V.Iu., Kovtun D.K. Reversyvna lohistyka yak instrument ekolohizatsii ekonomiky na zasadakh kontseptsii staloho rozvytku. Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho universytetu infrastruktury ta tekhnolohii Ministerstva osvity i nauky Ukrainy : Seriia «Transportni systemy i tekhnolohii». Vyp. 36. Kyiv : DUIT, 2020. S. 171–183.

11.Kovtun T.A. Zhyttievyi tsykl proektu v ramkakh biznes-modeli tsyrkuliarnoi ekonomiky. Upravlinnia proektamy : stan ta perspektyvy: materialy KhVI mizhnar. naukovo-praktychnoi konferentsii, 8 – 11 veresnia 2020 r. m. Mykolaiv : Natsionalnyi universytet korablebuduvannia imeni admirala Makarova (NUK), 2020. S. 47–50.

12.Upravlinnia portfeliamy realizatsii lohistychnykh stratehii v lantsiuhakh postachan. Monohrafiia / T.A. Vorkut, I.I. Halak, A.V. Petunin, V.S. Kharuta. – Kyiv: Milenium, 2020. – 200 s.

13.Portfelno-oriientovane upravlinnia v orhanizatsiinykh merezhakh. Monohrafiia/T.A. Vorkut, O.Ie. Bilonoh, A.V. Dmytrychenko, A.V. Petunin, N.V. Sribna, Yu.O. Tretynychenko. – Kyiv: Milenium, 2021. – 227 s.

14.Metodolohiia konverhentnoho upravlinnia proektamy ekolohistychnykh system [Tekst]: avtoref. dys. ... d-ra tekhn. nauk : 05.13.22 / Kovtun Tetiana Antonivna; Odes. nats. mor. un-t. – Odesa, 2021. – 44 s.

15.Berh D.B., Ulianova E.A, Dobriak P.V. Modely zhyznennoho tsykla : ucheb. posobye. Ekaterynburh: Yzd-vo Ural. un-ta, 2014. 74 s.

16.Jayaraman, V., & Luo, Y. (2017). Creating Competitive Advantages Through New Value Creation: A Reverse Logistics Perspective. Academy of Management Perspectives, 21(2), 56-73.

17.V. Ravi, Ravi Shankar and M. K. Tiwari Selection of a reverse logistics project for end-of-life computers: ANP and goal programing approach. International Journal of Production Research, Vol. 46, No. 17, 1 September 2008, 4849–4870.

РЕФЕРАТ

Галак І.І. Особливості формування та прийняття проєктних рішень в процесі управління реверсивними потоками в ланцюгах постачань / І.І. Галак, Ю.С. Хрутьба // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

В статті запропоновано систему критеріїв, що дозволяє вибрати єдиний варіант комплексу типових проєктних рішень, які впливають на досягнення стратегічних цілей організацій в ланцюгах постачань.

Об’єкт дослідження – управління проєктами в сфері реверсивної логістики.

Мета роботи – дослідити процес прийняття проєктних рішень щодо впровадження проєктів в сфері реверсивної логістики та запропонувати систему критеріїв, що дозволяє вибрати єдиний варіант комплексу типових проєктних рішень, які максимально впливають на досягнення стратегічних цілей організацій в ланцюгах постачань.

Методи дослідження – аналітичний та математичний.

Важливим аспектом дослідження даного напрямку є використання системного підходу до управління реверсивними потоками з урахуванням інтересів усіх учасників логістичного ланцюга, що дає змогу створити умови для подальшого соціально-економічного розвитку держави та суспільства.

В роботі розглянуто особливості формування, оцінки та прийняття рішень щодо впровадження проєктів в процесі управління реверсивними потоками в ланцюгах постачань. Згідно запропонованому підходу, кожна організація має прийняти ряд заходів для створення умов сталого розвитку, що дозволить сформувати матрицю стратегічних цілей та розробити ряд проєктів в сфері реверсивної логістики. З метою підвищення ефективності управління реверсивними потоками авторами статті пропонується оцінити ефективність цього підходу на основі показників вимірювання стратегічних цілей із встановленням критеріїв вибору оптимального комплексу проєктних рішень, що дозволить уникнути зайвого розподілу ресурсів через спільне використання апаратних і програмних ресурсів між різними проєктами реверсивної логістики.

Результати дослідження можуть бути рекомендовані до впровадження в організаціях, які безпосередньо беруть участь у доведенні матеріального потоку із сфери постачання в сферу споживання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РЕВЕРСИВНА ЛОГІСТИКА, УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ, ЛАНЦЮГ ПОСТАЧАНЬ, СТАЛИЙ РОЗВИТОК, ПРИЙНЯТТЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ.

ABSTRACT

Halak I.I., Khrutba Y.S. Specifics of project’s decisions-making process and its formation in reverse supply chains management. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The article proposes a system of criteria that allows to choose a single set of standard project decisions that affect the achievement of organizations strategic goals in supply chains.

The object of research is project management in the field of reverse logistics.

The purpose of the article was to investigate the process of making project decisions on the projects implementation in the field of reverse logistics and to propose a system of criteria that allows to choose a single set of standard project decisions that best affect the strategic goals of organizations in supply chains.

Methods of the study are the analytical approach and mathematical methods.

An important aspect of research in this area is the use of a systematic approach to the management of reverse flows, taking into account the interests of all participants in the logistics chain, which allows creating conditions for further socio-economic development of the state and society.

The paper considers the peculiarities of the formation, evaluation and decision-making on the implementation of projects in the process of managing reverse flows in supply chains. According to the proposed approach, each organization should take a number of measures to create conditions for sustainable development, which will form a matrix of strategic goals and develop several projects in the field of reverse logistics. In order to improve the efficiency of reverse flow management, the authors propose to evaluate the effectiveness of this approach based on indicators of strategic goals with criteria for selecting the optimal set of project decisions, which will avoid excessive allocation of resources through sharing hardware and software resources between different reverse logistics projects.

The results of the study can be recommended for implementation in organizations that are directly involved in bringing the material flow from supply to consumption.

KEYWORDS: REVERSE LOGISTICS, GREEN LOGISTICS, PROJECT MANAGEMENT, SUPPLY CHAIN, SUSTAINABLE DEVELOPMENT, PROJECT DECISIONS-MAKING.

АВТОРИ:

Галак Ірина Іванівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного права та логістики, e-mail: 1017imiia@gmail.com, тел. +380978459880, Україна, 01010, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка 1, к. 439, orcid.org/0000-0002-5038-7771.

Хрутьба Ю.С., кандидат економічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного права та логістики, e-mail: hrutbaj@gmail.com, тел. +380636081570, Україна, 01010, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка 1, к. 439, orcid.org/0000-0002-3419-8364.

AUTHOR:

Halak Iryna, Ph.D., associate professor, National Transport University, associate professor of Department of transport Law and Logistics, e-mail: 1017imiia@gmail.com, tel. +380978459880, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str.1, of. 439, orcid.org/0000-0002-5038-7771.

Khrutba Yuliya, Ph.D., associate professor, National Transport University, associate professor of Department of transport Law and Logistics, e-mail: hrutbaj@gmail.com, тел. +380636081570, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str.1, of. 439, orcid.org/0000-0002-3419-8364.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Бушуєва Н.С., доктор технічних наук, Київський національний університет будівництва і архітектури, професор кафедри управління проєктами, Київ, Україна.

Воркут Т.А., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри транспортного права та логістики.

REVIEWERS:

Nataliya Bushuyeva, Doctor of Technical Science, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine.

Tetyana Vorkut, Doctor of Technical Science, National Transport University, professor, Head of the Department of transport Law and Logistics.

УДК 629.083: 519.872
UDC 629.083: 519.872
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-103-111

ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ І ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ ЗАСОБІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Годованюк П.Д., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, pgodovanuk04@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6331-8698

REGULARITIES OF FORMATION OF PRODUCTIVITY AND BANDWIDTH OF SERVICES

Hodovaniuk P. D., candidate of technical sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, pgodovanuk04@gmail.org/0000-0001-6331-8698

Постановка проблеми. Для забезпечення працездатності автомобілів необхідно виконувати профілактичні та ремонтні операції. Ці операції виконує персонал інженерно-технічної служби, тобто ремонтники, техніки, інженери. Для забезпечення необхідних умови якісного виконання операцій ТО і ремонту і підвищення продуктивності праці персоналу використовуються засоби праці, які, залучаючись до виробничого процесу, перетворюються в основні виробничі фонди, які мають активну і пасивну частини.

Пасивна частина основних фондів це будівлі, споруди, комунікації, що створюють необхідні умови для виконання технічної експлуатації автомобіля, активна частина – засоби механізації і автоматизації (роботизації).

Характерною особливістю роботи цих коштів обслуговування змінюється в часі, потік вимог на роботу засобів обслуговування, а також змінні, працею і тривалість усунення несправностей.

Основна частина. Системи, в яких змінними і випадковими являються моменти надходження вимоги на обслуговування і протяжності самих обслуговувань, називаються системами масового обслуговування (СМО).

Прикладами СМО в області технічної експлуатації автомобільного транспорту є: пости, лінії, ділянки ремонтних майстерень, автотранспортні підприємства, склади запасних частин, паливо-і мастильнороздавальні колонки автозаправних станцій та ін.

Система масового обслуговування складається з наступних основних елементів: вхідного потоку об'єктів, які потребують обслуговування і званих вимогами; черзі; обслуговуючих апаратів і вихідного потоку вимог.

Вхідний потік вимог є совокупність вимог на проведення певних робіт. Заявки надходять в деякі випадкові моменти часу. Тому число вимог, що надходять в систему в одиницю часу, являється випадковою величиною, а вхідний потік являє собою випадковий процес. Вимоги можуть бути однорідними і неоднорідними.

Обслуговуючі апарати-це сукупність окремих робочих, ланок, бригад з необхідним обладнанням, засобами механізації, інструментом і оснащенням. При проведенні ТО- це бригади, при ПР- робочі пости.

Черги-утворюється в тому випадку, коли пропускна властивість обслуговуючих апаратів недостатня по відношенню до вхідного потоку вимог. Величина вхідного потоку має варіацію щодо математичного очікування.

Вихідний потік вимог в залежності від характеристики СМО складають в загальному випадку обслуговувані і необслуговувані вимоги. Для автомобільного транспорту обов’язковим є виконання необхідних робіт по обслуговуванню та ремонту, тобто вихідний потік, як правило, складається з обслуговуваних вимог, тобто працездатних автомобілів.

Системи масового обслуговування класифікуються наступним чином:

1. За обмеженням на довжину черги – з втратами, без втрат і з обмеженням по довжині черги. У системах з втратами вимога залишає її, якщо всі обслуговуючі апарати зайняті. У системах без втрат вимога «встає» в чергу, якщо всі апарати зайняті.

2. За кількістю каналів обслуговування – одноканальні і багатоканальні.

3. За типом обслуговуючих апаратів – однотипні (універсальні) і різнотипні (спеціалізовані).

4. По порядку обслуговування – однофазні і багатофазні. Однофазні це такі системи, в яких вимога обслуговується на одному посту. При багатофазному обслуговуванні вимога послідовно проходить кілька обслуговуючих апаратів, наприклад на потокової лінії ТО.

5. За кількістю обслуговуючих апаратів – обмежена і необмежена.

6. За пріоритетності обслуговування – з пріоритетом і без пріоритету.

7. За величиною вхідного потоку вимог – з обмеженим і необмеженим потоком.

8. За структурою системи – замкнені і відкриті. Замкнені – це такі системи, в яких вхідний потік вимог залежить від числа обслужених вимог. Відкриті, це вхідний потік вимог не залежить від числа обслужених вимог.

9. По взаємозв'язку обслуговуючих апаратів – з взаємодопомогою і без неї. У системах без взаємодопомоги параметри пропускної здатності її продуктивності обслуговуючих апаратів постійні і не залежать від завантаження або простою інших апаратів. У системах з взаємодопомогою пропускна здатність обслуговуючих апаратів буде залежати від зайнятості інших апаратів. Взаємодопомога між постами та виконавцями характерна при організації робіт зон та ділянок ТО, та ремонту і при колективних методах праці, при яких виконавці можуть переміщатися по постам.

Стосовно до технічної експлуатації автомобілів найбільшого поширення знаходять замкнуті і відкриті, одно- і багатоканальні СМО, з однотипними і спеціалізованими обслуговуючими апаратами, з одно- і багатофазним обслуговуванням, без втрат або з обмеженням на довжину черги або часу перебування на ній.

В якості показників ефективності роботи СМО використовують наступні параметри.

інтенсивність обслуговування

$$\mu=\frac{1}{t_т}, \tag{1}$$

де $t_т$ – тривалість обслуговування однієї вимоги.

Наведена потужність потоку вимог

$$p=\frac{\omega}{\mu}, \tag{2}$$

де ω= параметр потоку вимог.

Абсолютна пропускна здатність (А) показує кількість вимог, що надходять в одиницю часу .

$$A=\omega \cdot g, \tag{3}$$

Де g – відносна пропускна здатність.

Відносна пропускна здатність визначає частку обслужених вимог від загальної кількості вимог.

Імовірність того, що всі пости вільні P_0, характеризує такий стан системи, при якому всі об'єкти справні, та не вимагають проведення технічного впливу.

Імовірність відмови при обслуговуванні $P_{відм}$ має сенс для СМО з втратами і з обмеженням по довжині черги або часу перебування в ній, тобто $P_{відм}$ показує частку «втрачених» для системи вимог.

Ймовірність утворення черги П визначає такий стан системи, при якому всі обслуговуючі апарати зайняті, і слідуюча вимога «стає» в чергу з числом очікуючих вимог r. Для СМО з втратами ці залежності наведені в таблиці 1.

Середній час перебування в черзі

$$t_{оч} = \frac{r}{\omega} \tag{4}$$

Кількість вимог, пов'язаних з системою

$$к=r+n_{зан} \tag{5}$$

Таблиця 1 – *Показники ефективності систем масового обслуговування з втратами (r=0)*
Table 1 – Performance indicators of loss-making queuing systems (r = 0)

Тип СМО	Відносна пропускна здатність g	Ймовірність,що всі пости вільні P_0	Ймовірність відмови в обслуговуванні $P_{відм}$	Число занятих обслуговуючих апаратів $n_{зан}$
Одноканальні (n=1)	$g=\frac{\mu}{\omega+\mu}$	$P_0=\frac{\mu}{\omega+\mu}$	$P_{відм}=\frac{\mu}{\omega+\mu}$	$n_{зан}=\frac{\mu}{\omega+\mu}$
Багатоканальні (n>1)	$g=1-\frac{P^n}{n!}\cdot P_0$	$P_0=\frac{1}{1+\sum_{c=1}^{R}\cdot\frac{P^c}{к!}}$	$P_{відм}=\frac{P^n}{n!}\cdot P_0$	$n_{відм}=p\cdot g$
Багатоканальні із взаємодопомогою ($n>1;\mu_{\delta p}=n\cdot\mu$)	$g=\frac{\mu_{\delta p}}{\omega+\mu_{\delta p}}$	$P_0=\frac{\mu_{\delta p}}{\omega+\mu_{\delta p}}$	$P_{відм}=\frac{\mu_{\delta p}}{\omega+\mu_{\delta p}}$	$n_{відм}=\frac{\mu}{\omega+n\cdot\mu}$

Час зв'язку вимоги з системою:

СМО з втратами

$$t_{сист}=g\cdot t_T; \tag{6}$$

СМО без втрат

$$t_{сист}=t_T+t_{оч} \tag{7}$$

Витрати від функціонування системи

$$B=B_1\cdot r+B_2\cdot n_{св}+(B_1+B_2)p, \tag{8}$$

де B_1 −вартість простою автомобіля в черзі;

r −середня довжина черги;

B_2 −вартість простою обслуговуючого каналу.

$n_{св}$ −кількість каналів, які постоюють;

p −приведена щільність потоку вимог.

Приклад 1

Станція технічного обслуговування має один пост діагностування (n=1). Довжина черги обмежена двома автомобілями (r=m=2). Визначити параметри ефективності роботи діагностичного поста, якщо інтенсивність потоку вимог на діагностування в середньому ω =2 вимог / год, тривалість діагностування t_T =4 год.

Інтенсивність діагностування: $\mu=\frac{1}{0,4}=2,5.$ (9)

Наведена щільність потоку: $p=\frac{2}{2,5}=0,8.$ (10)

Імовірність того, що пост вільний:

$$p=\frac{1-p}{1-p^{m+2}}=\frac{1-0,8}{1-0,8^4}=0.339. \tag{11}$$

Ймовірність утворення черги:

$$П = p^2 \cdot P_0 = 0{,}8^2 \cdot 0339 = 0{,}217. \quad (12)$$

Імовірність відмови в обслуговуванні:

$$P_{\text{відм}} = \frac{P^{m+1} \cdot (1-p)}{1-p^{m+2}} = \frac{0{,}8^2 \cdot (1-0{,}80)}{1-0{,}8^4} = 0{,}173. \quad (13)$$

Відносна пропускна здатність:

$$g = 1\text{-}P_{\text{відм}} = 1\text{-}0.173 = 0.827. \quad (14)$$

Абсолютна пропускна здатність:

$$A = 2\ 0.827 = 1{,}654. \quad (15)$$

Середня кількість зайнятих постів:

$$n_{\text{сер}} = \frac{p-p^{m+2}}{1-p^{m+2}} = \frac{0{,}8-0{,}8^4}{1-0{,}8^4} = 0{,}661. \quad (16)$$

Середня кількість вимог, які знаходяться в черзі:

$$r = \frac{p^2[1-p^m(m+1-m\cdot\omega)]}{(1-p^{m+2})(1-p)} = \frac{(0{,}8)^2\left[1-0{,}8^2(2+1-2\cdot 0{,}8)\right]}{(1-0{,}8^4)(1-0{,}8)} = 0.5 \quad (17)$$

Середній час знаходження в черзі: $t_{\text{сер}} = \frac{r}{\omega} = \frac{0.564}{2} = 0.282.$ (18)

Витрати від функціонування системи складають:

$B = B_1 \cdot n_{\text{св}} + B_2 \cdot n_{\text{зан}}$=315 0,339 +315 0,661 = 315 грн / день. Проте ці витрати не враховують втрати від простою автомобілів в черзі, так як дані втрати несе власник, а не станція технічного обслуговування.

Приклад 2

На автотранспортному підприємстві один пост діагностування (n= 1). В даному випадку довжина черги практично необмежена. Визначити параметри ефективності роботи діагностичного поста. Решта вихідні дані ті ж, що і для попереднього прикладу. Інтенсивність діагностування і наведена щільність потоку залишаються ті ж: μ= 2.5; p= 0,8. Імовірність того, що пост вільний: P_0=1-p=1-0,8 = 0.2.

Ймовірність утворення черги:

$$П = p^2\ P_0 = 0{,}8^2\ 0.2 = 0.128. \quad (19)$$

Відносна пропускна здатність g=1,так як всі автомобілі пройдуть через діагностичний пост.

Абсолютна пропускна здатність: A=ω =2вим/год.

Середня кількість зайнятих постів: $n_{\text{сер}}$=p= 0.8.

Середня кількість вимог знаходяться в черзі:

$$r = \frac{p^2}{1-p} = \frac{0{,}8^2}{1-0{,}8} = 3{,}2. \quad (20)$$

Середній час знаходження в черзі:

$$t_{\text{сер}} = \frac{p}{\mu(1-p)} = \frac{0{,}8}{2{,}51-0{,}8} = 1{,}6. \quad (21)$$

Витрати від функціонування системи

$$B = B_1 \cdot r + B_2 \cdot n_{\text{св}} + (B_1 + B_2)p = 315 \cdot 3{,}2 + 315 \cdot 0{,}2 + (315+315)0{,}8 = 1551 \text{грн/день}$$

Фактори, що впливають на показники ефективності засобів обслуговування і методи інтенсифікації виробництва

Основними умовами функціонування СМО є співвідношення між вхідним потоком вимог і абсолютної пропускною спроможністю системи ω> А чи ω <А. Таким чином, показники ефективності засобів обслуговування, з одного боку, будуть залежати від величини вхідного потоку вимог і його варіації, а з іншого – від пропускної здібності і продуктивності засобів обслуговування.

На величину вхідного потоку вимог будуть вказувати вплив наступні фактори: прийнята система ТО і Р; розподіл робіт між окремими виробництвами і підприємствами в умовах спеціалізації, централізації і кооперації; характеристики надійності рухомого складу; якість капітально відремонтованих автомобілів і запасних частин; вікова структура і різномарочність парку; умови експлуатації, час року і ін.

Залежно від прийнятої системи ТО і ремонту, а також від організаційної структури ІТС та кооперації з іншими підприємствами вхідний потік вимог може розглядатися як загальний або який складається з окремих потоків на спеціалізовані виробництва.

Абсолютна пропускна здатність залежить від наступних чинників: прийнятої структури підприємств або спеціалізацій підрозділів, рівня організації та управління ТО і ПР; технологічного рівня проведення робіт; забезпеченості виробничою технічною базою; рівня механізації робіт; кваліфікації та забезпеченості ремонтниками, запасними частинами, матеріалами.

Абсолютна пропускна здатність

$$A=\sum_{i=1}^{k} \mu_i \cdot n_i, \tag{22}$$

Де $\mu_i = \frac{1}{t_д}$ −інтенсивність і-го технічного впливу;

n_i- кількість каналів обслуговування і-го виду;

k – кількість видів каналів обслуговування.

Тривалість технічного впливу є випадковою величиною, залежить від великої кількості факторів і визначається за виразом

$$t_д = \frac{t \cdot k_m \cdot k_д \cdot k_{вт}}{T_{зм} \cdot З \cdot P_n \cdot k_{кв}}, \tag{23}$$

де t – трудомісткість технічного впливу, в люд.-год;

k_m– коефіцієнт, що враховує зміну трудомісткості в залежності від рівня механізації робіт;

$k_д$– коефіцієнт, що враховує зміну трудомісткості при використанні діагностування;

$k_{вт}$– коефіцієнт, що враховує втрати робочого часу з організаційних причин;

$T_{зм}$– тривалість зміни, ч;

$З$ – число змін;

P_n– середня кількість одночасно працюючих на посту, чол .;

$k_{кв}$– коефіцієнт, що враховує кваліфікацію ремонтних робітників.

Трудомісткість (t) технічних впливів залежить від типу, марки, модифікації рухомого складу, пробігу з початку експлуатації, кваліфікації водіїв, умов експлуатації, прийнятої системи ТО і ремонту, організації та управління інженерно-технічною службою підприємства, стану виробничо-технічної бази, технології виконання і механізації робіт.

Коефіцієнт, що враховує зміну трудомісткості в залежно від рівня механізації робіт (k_m), залежить від рівня механізації робіт, спеціалізації постів і робочих місць за видами робіт.

Коефіцієнт, що враховує зміну трудомісткості при використанні діагностування ($k_д$), залежить від рівня впровадження в технологічний процес ТО і ремонту діагностики і достовірності інформації.

Коефіцієнт, що враховує втрати робочого часу з організаційних причин ($k_{пр}$), залежить від організації і керування виконанням робіт по ТО і ремонту, забезпеченності об'єктами праці, запасними частинами, обладнанням, персоналом.

Коефіцієнт, що враховує кваліфікацію ремонтних робітників ($k_{кв}$), враховує різну продуктивність праці ремонтників в залежності від їх кваліфікації (розряду) і ступеня складності виконуваних робіт.

Фактори, що впливають на пропускну здатність засобів обслуговування, можна розділити на екстенсивні і інтенсивні. До екстенсивних чинників можна віднести: зростання чисельності працюють без зміни їх якісного складу, забезпеченості запасними частинами, матеріалами та ін. До інтенсивних факторів належать: скорочення втрат робочого часу за рахунок удосконалення управління; підвищення кваліфікації виконавців; механізація процесів ТО і ПР та ін.

Механізація, автоматизація і роботизація як метод інтенсифікації виробничих процесів

Під *механізацією* розуміють часткову або повну заміну м'язової праці людини машинною зі збереженням безпосередньої участі людини в управлінні процесом і для контролю за його виконанням.

Під *автоматизацією* розуміють часткове або повне звільнення людини не тільки від м'язової праці, а й від участі в оперативному управлінні технологічним процесом.

Під *роботизацією* розуміють повне виключення праці людини і застосування можливостей комп'ютерів.

Оцінка механізації виробничих процесів виводиться за двома показниками: рівнем механізації виробничих процесів; ступеня механізації виробничих процесів.

Рівень механізації $P_m(\%)$ виробничих процесів визначає частку механізованої праці в загальних трудовитратах:

$$P_m = \frac{T_m}{T_o} 100, \quad (24)$$

де T_m- трудомісткість механізованих операцій, люд.-хв.;

T_o – загальна трудомісткість всіх операцій, люд.-хв.

Ступінь механізації виробничих процесів визначає заміщення робочих функцій людини реально обладнанням, яке застосовується в порівнянні з повністю автоматизованими технологічними процесами. Кількість обладнанням, які замінюють робочих функцій людини визначається ланками обладнання Z, яка характеризує його досконаліть (табл. 2).

Таблиця 2 – Класифікація обладнання по кількості ланок які містяться в ньому

Table 2 – Classification of equipment by the number of links contained in it

Обладнання	Ланки	Групи технологічних засобів	Примітка
Ручний інструмент	0	Ручні пристосування, гаєчні ключі	Комплект пристосувань для обробки пошкоджених шин
Машина ручної дії	1.0	Прес.таль,дрель	Мийна щітка М 906
Механізована ручна машина	2.0	Механізована з електричним. та гідроприводом	Маслороздаточна колонка 367 М4
Механізована машина	3.0	Обладнання без системи автоматичного управління	Верстак для балансування коліс К-П1
Мащина напівавтомат	3.5	Машина з пристроєм автоматичного управління	Установка для миття автомобілів М 121,130,132
Мащина автомат	4.0	Металорізальні верстати-автомати	Лінія мийки автомобілів М-133
Гнучкі автоматизовані виробництва	**5.0**		На автомобільному транспорті ще не застосовується

Ступінь механізації виробничих процесів $C_м$ (%):

$$C_м = \frac{M}{4 \cdot n} 100, \quad (25)$$

Де $M = Z_1 \cdot M_1 + Z_2 \cdot M_2 + Z_3 \cdot M_3 + Z_{3,5} \cdot M_{3,5} + Z_4 \cdot M_4$,

$Z_1, Z_2, Z_3, Z_{3,5}, Z_4$ – ланки обладнання яке застосовується,відповідно дорівнює 1;2;3;3,5;4;

M_1 -кількість механізованих операцій які виконуються із застосуванням обладнання по ланках Z=1 і т.д .; n – загальна кількість операцій.

Висновок. Через випадковості вхідного потоку на ТО і ремонт, та тривалості їх обслуговування завжди є якесь число автомобілів, які простоюють. Звичайно потрібно так розподілити число обслуговуючих апаратів (постів, робочих місць, виконавців) по різним підсистемам, щоб B= min.

Зроблено оцінку механізації виробничих процесів. яка виводиться за двома показниками: рівнем механізації виробничих процесів; ступеня механізації виробничих процесів.

В статті викладені системні аспекти, критерії та стратегії вдосконалення технічного обслуговування і ремонту автомобілів, на сучасному етапі. Показано, що ефективність технічного обслуговування і ремонту в значній мірі залежить від розробки та практичної реалізації критеріїв і моделей оптимізації виробничих процесів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Андрусенко С.І.. Бугайчук О.С.. Годованюк П.Д.,Ярусевич В.О. Процесна модель управління підприємством автосервісу для використання в системах управління якістю//' Управління проектами, системний аналіз і логістика Науковий журнал. – К.: НТУ.2009. Вип.. 6 Фахове видання

2. Андрусенко С.И. Что такое система качества / С.И.Андрусенко // Автосервис. – апрель. – 2003. – С. 70 – 71; июнь. – 2003. – С. 30 – 32.

3. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія: Підручник. – К.: Вища шк., 2007. – 527 с.

4. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Організація, планування і управління. Підручник: 2-ге вид., перероб. – К.: Логос, 2014. – 464 с.

5. Марков О.Д. Станции технического обслуживания автомобилей. – К.: Кондор, 2008. – 536 с.: 16 цветн. ил.

6. Марков О.Д. Обслуговування клієнтів автосервісу: Навчальний посібник / О.Д. Марков, Н.В. Веретельникова. – К.: Каравела, 2015.

7. Інтернет ресурси «Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів (ДТЗ) .

8. [Електронний ресурс]/ Режим доступу: http://autoshkola.net/articles/article-16/ Ринок послуг автосервісу України 2011 році/2011/україна/автосервіс.

9. Мирошников Л.В. и др. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях. М.,»Транспорт»,1977, 263с.

10.ДСТУ 2389-94 Технічне діагностування та контроль технічного стану. – Введено вперше – К.: Держстандарт України, 1994. – 24 с

11.Основы технической диагностики. В 2-х книгах. / В.В. Карибский, П.П. Пархоменко, Е.С. Согомонян, В.Ф. Халчев / Под ред. П.П. Пархоменко / Энергия. – М.: 1976. – Кн.1: Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза. – 464 с

12.Бедняк М.Н., Франчук Д.Н., Определение оптимальной производительности станции диагностики. Сб. «Основные направления автоматизации систем управления автомобильным транспортом» К., «Знание»,1972.

13. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник.- К:Знання.2003.-511 с.

14. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління: підручник.- К.: Знання ,2004. – 478 с.

15.Мирошников Л.В. и др. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях. М.,»Транспорт»,1977, 263с.

16.Напольский Г.М. Технологическое прозктирование автотранспортних предприятий и станций технического обслуживания-М.: Транспорт, 1993. – 272 с.

REFERENCES

1. Andrusenko SI. Bugaychuk OS. Godovanyuk PD, Yarusevich VO Process model of car service enterprise management for use in quality management systems // 'Project management, system analysis and logistics Scientific journal: -K; NTU.2009. Issue. 6 Professional edition

2. Andrusenko SI What is a quality system / SI Andrusenko // Car service. – April. – 2003. – P. 70 – 71; June. – 2003. – P. 30 – 32.

3. Ludchenko OA Technical operation and maintenance of cars: Technology: Textbook. – K .: Вища шк., 2007. – 527 с.

4. Ludchenko OA Maintenance and service of cars: Organization, planning and management. Textbook: 2nd ed., Revised. – K .: Логос, 2014. – 464 с.

5. Markov OD Car maintenance stations. – K .: Кондор, 2008. – 536 с .: 16 цветн. il.

6. Markov OD Car service customer service: Textbook / OD Markov, NV Веретельникова. – K .: Каравела, 2015.

7. Internet resources «Regulations on maintenance and repair of road vehicles (accidents).

8. [Electronic resource] / Access mode: http://autoshkola.net/articles/article-16/ Market of car service services of Ukraine 2011/2011 / ukraine / car service.

9. Miroshnikov LV etc. Diagnosis of a technical condition of cars at the motor transport enterprises. M., «Transport», 1977, 263p.

10.DSTU 2389-94 Technical diagnosis and control of technical condition. – Introduced for the first time – K .: State Standard of Ukraine, 1994. – 24 p

11.Basics of technical diagnostics. In 2 books. / B.B. Карибский, П.П. Parkhomenko, ES Sogomonyan, VF Halchev / Ed. P.P. Parkhomenko / Energy. – M .: 1976. – Book 1: Models of objects, methods and algorithms of diagnosis. – 464 p

12.Bednyak MN, Franchuk DN, Determination of the optimal performance of the diagnostic station. Sat. «The basic directions of automation of systems of management of motor transport» K., «Knowledge», 1972.

13.Ludchenko OA Maintenance and repair of cars: Textbook. – K: Knowledge.2003.-511 p.

14.Ludchenko OA Maintenance and repair of cars: organization and management: a textbook.- K .: Knowledge, 2004. – 478 p.

15.Miroshnikov LV etc. Diagnosis of a technical condition of cars at the motor transport enterprises. M., «Transport», 1977, 263p.

16.Napolsky GM Technological projection of motor transport enterprises and service stations-M .: Transport, 1993. – 272 p.

РЕФЕРАТ

Годованюк П.Д. Закономірності формування продуктивності і пропускної здатності засобів обслуговування/ П.Д. Годованюк. // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

В статті розглядаються системи, в яких змінними і випадковими являються моменти надходження вимоги на обслуговування і протяжності самих обслуговувань, які називаються системами масового обслуговування (СМО).

Прикладами СМО в області технічної експлуатації автомобільного транспорту є: пости, лінії, ділянки ремонтних майстерень, автотранспортні підприємства, склади запасних частин, паливо-і мастильнороздавальні колонки автозаправних станцій та ін.

Встановлено, що вихідний потік вимог в залежності від характеристики СМО складають в загальному випадку обслуговувані і необслуговувані вимоги. Для автомобільного транспорту обов'язковим є виконання необхідних робіт по обслуговуванню та ремонту, тобто вихідний потік, як правило, складається з обслуговуваних вимог, тобто працездатних автомобілів.

Описано класифікацію системи масового обслуговування за різними факторами, що впливають на показники ефективності засобів обслуговування і методи інтенсифікації виробництва. чинними показниками, та трудомісткість (t) технічних впливів їх залежність від типу, марки, модифікації рухомого складу, пробігу з початку експлуатації, кваліфікації водіїв, умов експлуатації, прийнятої системи ТО і ремонту, організації та управління інженерно-технічною службою підприємства, стану виробничо-технічної бази, технології виконання і механізації робіт..

Стосовно до технічної експлуатації автомобілів найбільшого поширення знаходять замкнуті і відкриті, одно- і багатоканальні СМО, з однотипними і спеціалізованими обслуговуючими апаратами, з одно- і багатофазним обслуговуванням, без втрат або з обмеженням на довжину черги або часу перебування на ній.

Абсолютна пропускна здатність залежить від наступних чинників: прийнятої структури підприємств або спеціалізацій підрозділів, рівня організації та управління ТО і ПР; технологічного рівня проведення робіт; забезпеченності виробничою технічною базою; рівня механізації робіт; кваліфікації та забезпеченості ремонтниками, запасними частинами, матеріалами.

Зроблено оцінку механізації виробничих процесів.яка виводиться за двома показниками: рівнем механізації виробничих процесів; ступеня механізації виробничих процесів.

В статті викладені системні аспекти, критерії та стратегії вдосконалення технічного обслуговування і ремонту автомобілів, на сучасному етапі. Показано, що ефективність технічного обслуговування і ремонту в значній мірі залежить від розробки та практичної реалізації критеріїв і моделей оптимізації виробничих процесів.

Результати статті можуть бути використані для моделювання роботи СТО як системи масового обслуговування в комп'ютерних програмних продуктах і дасть змогу виявляти низьку ефективність діагностування по основних системах автомобілів в конкретно взятому СТО.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДІАГНОСТИЧНИЙ ПАРАМЕТР, ЗАЯВКА, ЙМОВІРНІСТЬ, НЕСПРАВНІСТЬ, ОБЛАДНАННЯ, ПОСТ, ПРИБУТОК, ПРИЙМАННЯ-ДІАГНОСТУВАННЯ, СИСТЕМА МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ, ЦІЛЬОВА ФУНКЦІЯ, ЧЕРГА.

ABSTRACT

Godovanyuk P.D. Zakonomirnosti formuvannya produktivnosti i prospusnoi zmobnosti zasobiv obsluzhuvannia. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The article considers systems in which the moments of receipt of the service request and the length of the services themselves, which are called queuing systems (QMS), are variable and random.

Examples of QMS in the field of technical operation of road transport are: posts, lines, areas of repair shops, trucking companies, spare parts warehouses, fuel and lubrication dispensers of gas stations, etc.

It is established that the initial flow of requirements depending on the characteristics of the QMS are generally serviced and non-serviced requirements. For road transport, it is mandatory to perform the necessary maintenance and repair work, ie the output flow, as a rule, consists of serviced requirements, ie serviceable cars.

The classification of the queuing system according to various factors influencing the efficiency of the means of service and methods of intensification of production is described. current indicators, and the complexity (t) of technical impacts, their dependence on the type, brand, modification of rolling stock, mileage from the beginning of operation, driver qualifications, operating conditions, the adopted maintenance and repair system, organization and management of engineering and technical service of the enterprise technical base, technology of execution and mechanization of works ..

With regard to the technical operation of cars, the most common are closed and open, single- and multi-channel SMO, with the same type and specialized service devices, with single- and multi-phase service, without losses or with a limit on the length of the queue or time spent on it.

Absolute capacity depends on the following factors: the accepted structure of enterprises or specializations of divisions, the level of organization and management of maintenance and repair; technological level of works; provision of production technical base; level of mechanization of works; qualification and provision of repairmen, spare parts, materials.

The estimation of mechanization of production processes is made. Which is deduced on two indicators: level of mechanization of production processes; degree of mechanization of production processes.

The article outlines the system aspects, criteria and strategies for improving the maintenance and repair of cars at the present stage. It is shown that the efficiency of maintenance and repair largely depends on the development and practical implementation of criteria and models for optimizing production processes.

The results of the article can be used to model the operation of the service station as a queuing system in computer software products and will reveal the low efficiency of diagnosing the main systems of cars in a particular service station.

KEY WORDS: DIAGNOSTIC PARAMETER, APPLICATION, PROBABILITY, FAULT, EQUIPMENT, POST, PROFIT, ACCEPTANCE-DIAGNOSIS, SYSTEM.

АВТОР

Годованюк Петро Дмитрович, Національний транспортний університет, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: pgodovanuk04@gmail.com, тел.+380505492210, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к.410.

AUTHOR

Hodovaniuk Petro, National Transport University, associate professor to chair of technical operation of cars and autoservice, e-mail: khavruk@gmail.com, tel.+380505492210, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka str. 1, of. 410.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Жаров Констянтин Сергійович, кандидат технічних наук, начальник Центру оцінки Відповідності КТЗ та наукових досліджень системи технічного регулювання ДП «ДержавтотрансНДІпроект»,, e-mail: kzharov@insat.org.ua, тел.+38(044)201-08-98.Україна, 03113, м. Київ, вул. Перемоги 57, к.1308.

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.

REVIEWERS:

Zharov Konstantin Sergeevich, Candidate of Technical Sciences, Head of the Center for Conformity Assessment of Vehicles and Research of the Technical Regulation System of the State Enterprise «DerzhavtotransNDIproekt», e-mail: kzharov@insat.org.ua, tel. + 38 (044) 201-08-98. Ukraine, 03113, Kyiv, street Victory 57, room 1308.

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.

УДК 621.879.445 DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-112-120
UDC 621.879.445

ДИНАМІЧНИЙ СИНТЕЗ МОБІЛЬНОЇ ЗЕМЛЕРИЙНОЇ МАШИНИ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ З ЛАНЦЮГОВО-БАЛКОВИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ

Гончар М.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, gmo48@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5288-6486.

Ніколаєнко В.А., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, vanikolaienko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3983-0434.

THE DYNAMIC SYNTHESIS OF MOBILE CONTINUOUS EARTH-MOVING MACHINE WITH A CHAINE-TYPE TRENCHING EQUIPMENT

Honchar M., Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, gmo48@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5 bvC288-6486.

Nikolaienko V., Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine vanikolaienko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3983-0434.

Постановка проблеми та її актуальність. Модернізація чи створення нових землерийних машин безперервної дії з урахуванням сучасних вимог до їх технологічних можливостей, надійності та довговічності, ремонтопридатності та забезпечення необхідних швидкостей і умов транспортного переміщення з об'єкту на об'єкт передбачає створення цілої гами принципово нових машин на основі відомих технологій їх практичного застосування з використанням інших базових шасі.

Для землерийних машин мають бути розроблені в майбутньому пневмоколісні базові шасі з використанням вузлів та агрегатів, що випускаються серійно [1]. Прийнятним напрямом слід вважати переустановлення робочого обладнання землерийних машин на транспортно-тягові шасі, що випускаються серійно, наприклад, автомобільні шасі високої прохідності. В такому випадку має бути перевірена сумісність трансмісій базового шасі та встановленого на ньому навісного обладнання. При цьому слід мати на увазі, що робочі органи землерийних машин не потребують радикальних змін (як роторні, так і ланцюгові), оскільки інженерні рішення, що покладені в основу їх конструкції, відрізняються високою ефективністю та досконалістю на сьогоднішній день.

Питання сумісності базового шасі та грунторозробного робочого обладнання визначається, в тому числі, за динамічними характеристиками створеної машини. На сьогоднішній день, на жаль, питанню проектування машин з оптимальними динамічними характеристиками приділяється надзвичайно мало уваги. Трудомісткість динамічних розрахунків призводить до їх ігнорування і використання в розрахунках так званих коефіцієнтів динамічності на основі аналогів машин, що проектуються.

Аналіз результатів останніх досліджень і публікацій.

Основними задачами синтезу динамічних систем за визначенням [2] є:

1. Визначення жорсткостей пружніх елементів та мас динамічних систем за умови відомих амплітуд коливань при дії заданих навантажень;

2. Визначення жорсткостей пружніх елементів та мас динамічних систем за умови відомих частот власних коливань.

У відповідності до другої умови, параметри динамічної системи машини слід підібрати так, аби частота зміни зовнішнього навантаження машини в режимі її максимальної продуктивності не співпала з власною частотою динамічної системи.

Питання динамічного навантаження та надійності траншейних екскаваторів на прикладі роторних машин розглянуто в роботі [3]. В ній головну увагу приділено виявленню причин виникнення можливих резонансних частот вимушених коливань конструкції, що найчастіше є причиною руйнування металоконструкцій машин. Встановлено, що границі зміни інтервалу можливих резонансних частот вимушених коливань конструкцій визначаються найбільшою та найменшою частотами коливань гармонічних складових періодичних зовнішніх навантажень, в тому числі змінними силами опору ґрунту копанню та переміщенню екскаватора в режимі копання ґрунту.

Зміна параметрів системи – жорсткості пружних елементів чи маси приводить до відходу від резонансних режимів під час роботи машини.[4].

Мета дослідження. Провести дослідження динамічної моделі землерийної машини, встановити характеристики і закономірності формування динамічних навантажень та дати практичні рекомендації щодо вибору параметрів приводу робочого обладнання землерийної машини.

Основна частина. Базовим шасі мобільної землерийної машини є двовісний автомобіль підвищеної прохідності КрАЗ-5233НЕ [5, 6] з колісною формулою 4×4, оснащений дизельним двигуном та тримісною броньованою кабіною, розташованою за двигуном. Автомобіль КрАЗ-5233НЕ (шасі) призначений для використання під монтаж робочого обладнання та начіпних механізмів. До складу робочого обладнання, змонтованого на шасі, входять: ланцюговий робочий орган (РО), метальник та трансмісія, яка здійснює їх привод. Загальний вигляд машини з робочим обладнанням зображено на рисунку 1.

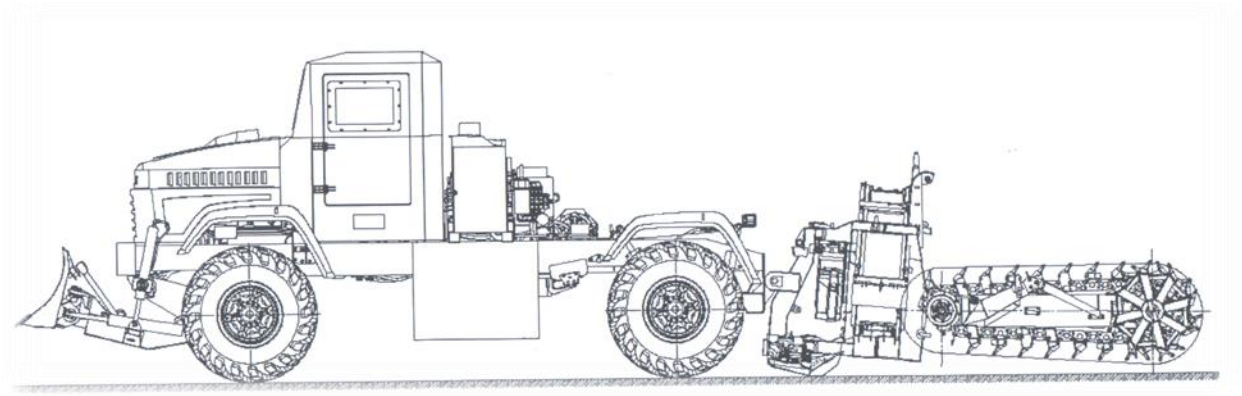


Рисунок 1 – Землерийна машина
Figure 1 – The earth-moving machine

Двигун – трансмісія базового шасі – грунторозробне робоче обладнання являє собою систему з розподілених елементів. Для врахування найбільш важливих ступенів вільності динамічної схеми елементи вказаної системи об'єднані навколо зубчастих коліс та муфт. Моменти інерції об'єднаних елементів визначено за тривимірними геометричними моделями деталей. Параметрами безмасових пружних елементів є еквівалентні крутильні піддатливості валів, з'єднань вал – ступиця, зубчастих передач та муфт.

Динамічні схеми ґрунторозробного робочого обладнання [7] та трансмісії базового тягача разом з динамічними схемами двигунів складають динамічну схему землерийної машини (див. рис. 2). Далі наводимо назви елементів динамічної схеми та моделі землерийної машини:

– зведені моменти інерції: J_{1M}, J_{2M}, J_{3M}, J_{4M} – моторних мас двигуна; J_{5M} – маховика та диску зчеплення; J_{1L} – веденої частини зчеплення; J_{2L} – мас КПП, головним чином первинний вал, проміжний вал з зубчастими колесами та зубчасті колеса вторинного валу, що входять з ним в зачеплення; J_{3L} – решти мас КПП, частина карданної передачі; J_{4L} – решта мас карданної передачі і ведуча частина роздавальної коробки; J_{1K} – ведучих мас редуктора ВВП; J_{2K} – ведених мас редуктора ВВП; J_{3K} – частини карданної передачі; J_{4K} – ведучих мас роздавальної коробки частини карданної передачі; J_{5K} – ведучих мас роздавальної коробки частини привода ланцюгового РО; J_{6K} – ведених мас роздавальної коробки частини привода ланцюгового РО; J_{7K} – частини карданної передачі; J_{8K} – ведучих мас редуктора та частини карданної передачі; J_{9K} – ведучих мас редуктора; J_{10K} – ведених мас редуктора та ланцюгового РО; J_{11K} – частини мас роздавальної коробки привода метальника; J_{12K} – ведених мас роздавальної коробки частини привода метальника разом з метальником;

– зведені жорсткості та коефіцієнти демпфірування: c_{12M}, c_{23M}, c_{34M}, c_{45M}, – колін колінчастого валу; коефіцієнти демпфірування d_{1M}, d_{2M}, d_{3M}, d_{4M} – зовнішнього тертя двигуна; d_{12}, d_{23}, d_{34}, d_{45}, – внутрішнього тертя двигуна; c_{1L}, d_{1L} – демпферу в веденому диску зчеплення та валів КПП, головним чином, первинного валу; c_{2L}, d_{2L} – шліцьових і шпонкових з'єднань та валів КПП; c_{3L}, d_{3L} – карданної передачі до роздавальної коробки; c_{4L}, d_{4L} – карданної передачі до редуктора ВВП; c_{1K}, d_{1K} – валів та з'єднань редуктора ВВП; c_{2K}, d_{2K}– валу карданного до роздавальної коробки; c_{3K}, d_{3K} – валів та з'єднань роздавальної коробки привода ланцюгового РО; c_{4K}, d_{4K} – валу карданного до редуктора ланцюгового РО; c_{5K}, d_{5K} – валів та з'єднань редуктора та приводного валу ланцюгового РО; c_{6K}, d_{6K} – валів та з'єднань роздавальної коробки привода метальника.

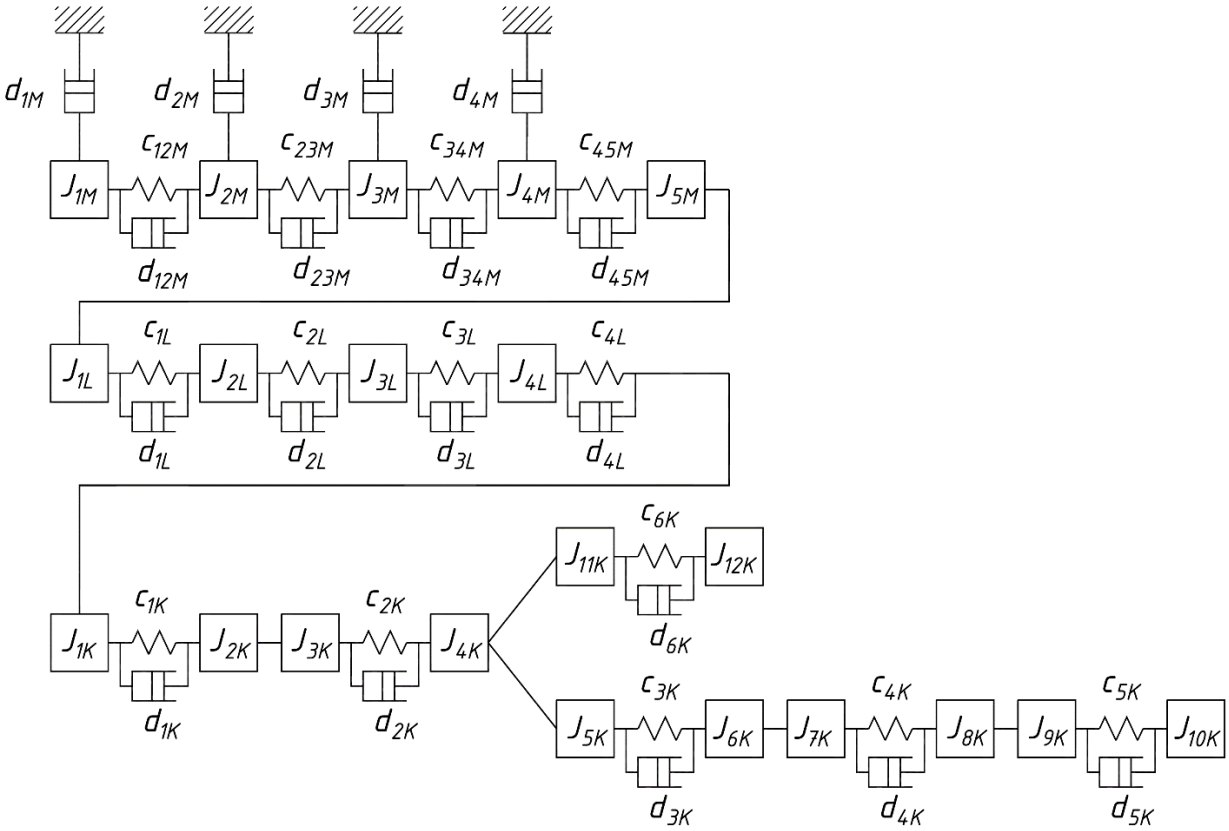
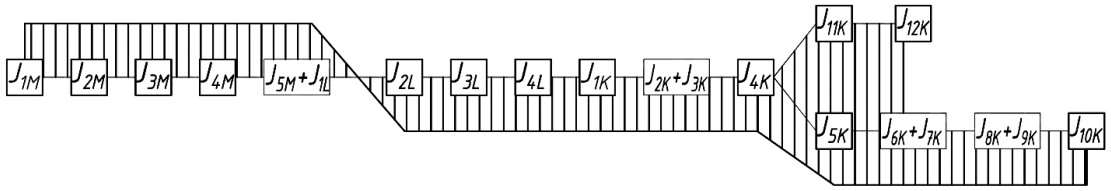
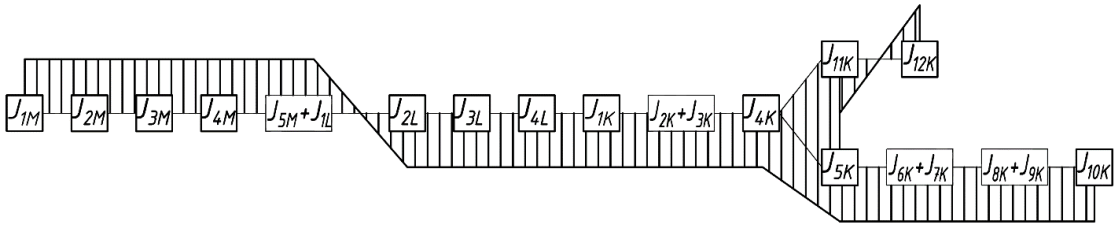


Рисунок 2 – Динамічна схема землерийної машини
Figure 2 – The earth-moving machine`s dynamic schematic

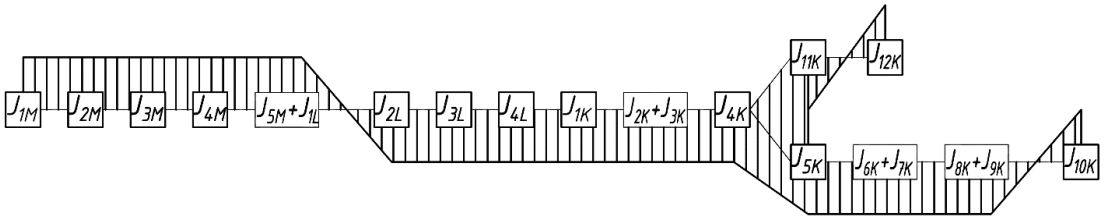
Математичну модель руху елементів динамічної схеми землерийної машини, розрахунок власних частот та амплітудних коефіцієнтів проводиться засобами мови програмування Modelica [8]. Амплітудні коефіцієнти коливної механічної системи визначають форми коливань. На рисунку 3 наведено перші чотири форм коливань. Задля наочності амплітудні коефіцієнти прийняті однаковими за модулем і враховано лише знак коефіцієнтів.



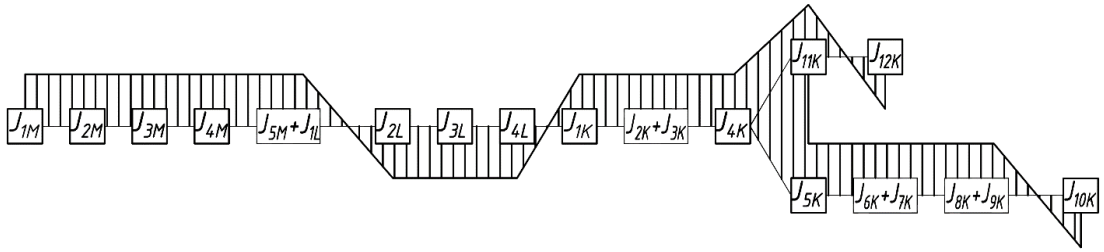
а) одновузлова з власною частотою f_1;



б) двовузлова з власною частотою f_2;



в) тривузлова з власною частотою f_3;



г) чотиривузлова з власною частотою f_4;

Рисунок 3 – Форми коливань елементів привода землерийної машини
Figure 3 – First four normal modes of vibration for the earth-moving machine drive

Форми коливань у випадку резонансу крутильних коливань в робочому діапазоні обертів колінчастого валу двигуна є небезпечними для привода машини. Для всіх форм коливань спостерігається наявність вузла коливань між масами коробки передач. В результаті резонансних коливань може виникнути втомне руйнування ділянки валу в самому вузлі коливань, розташованого між масами, а також в місцях з'єднань або зачеплень з найменшою крутильною піддатливістю.

Розв'язок математичної моделі руху елементів динамічної схеми землерийної машини, яку оснащено двигуном 8ЧН 13/14, у вигляді нижніх частот власних коливань подано у таблиці 1. Відмінність власних частот для передач приводу РО та метальника викликана різницею в наборі компонент моделі, а також різницею їх зведених параметрів моментів інерції та жорсткостей елементів за різних передаточних відношень.

Таблиця 1 – Власні частоти, *f*, Гц, землерийної машини з двигуном 8ЧН 13/14
Table 1 – Natural frequencies, *f*, Hz, for the earth-moving machine with V8 engine

Власна частота	I передача приводу РО та пряме обертання приводу метальника	I передача приводу РО та зворотне обертання приводу метальника	II передача приводу РО та пряме обертання приводу метальника	II передача приводу РО та зворотне обертання приводу метальника
f_1	9.42823	9.40178	8.52125	8.5059
f_2	26.4795	26.388	25.8136	25.6191
f_3	29.9817	29.8639	30.0595	29.9658
f_4	43.5729	43.1689	37.6982	37.4719

Порівняння даних таблиці 1 та висновків досліджень [7, 9] вказує на можливість виникнення резонансів з першою власною частотою. Поява сильної гармоніки з частотою близькою 9 Гц відбувається на всіх режимах роботи машини за різних швидкостей обертання приводного валу. При роботі на першій передачі ця гармоніка підсилюється за частоти обертання валу двигуна 1450 та 1650 хв $^{-1}$. Підсилення цієї гармоніки супроводжується також і збільшенням коефіцієнту динамічності до 1,5.

Можливим способом відходу від резонансу є вибір двигуна з подібною механічною характеристикою, але з меншими моментами інерції мас двигуна. Оснащення машини двигуном 6ЧН 12,6/13 призводить до зміни власних частот крутильних коливань приводу землерийної машини, що наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Власні частоти, *f*, Гц, землерийної машини з двигуном 6ЧН 12,6/13
Table 2 – Natural frequencies, *f*, Hz, for the earth-moving machine with straight 6 engine

Власна частота	I передача приводу РО та пряме обертання приводу метальника	I передача приводу РО та зворотне обертання приводу метальника	II передача приводу РО та пряме обертання приводу метальника	II передача приводу РО та зворотне обертання приводу метальника
f_1	10.2396	10.2128	9.53137	9.53137
f_2	25.9385	25.8464	25.5533	25.5533
f_3	30.0453	29.9238	30.2642	30.2642
f_4	43.2999	42.9101	37.6352	37.6352

Власні частоти динамічної системи змінюються за зміни пружних та інерційних параметрів інших елементів динамічної схеми. В таблицях 3, 4 наведено результати дослідження зміни власних частот системи при збільшенні та зменшенні вдвічі зведених моментів інерції та зведених жорсткостей елементів динамічної схеми землерийної машини з двигуном 8ЧН 13/14. Власні частоти, що змінилися більше ніж на 10%, виділені.

Таблиця 3 – Власні частоти, *f*, Гц, землерийної машини з двигуном 8ЧН 13/14 за зміни зведених моментів інерції

Table 3 – Natural frequencies, *f*, Hz, for the earth-moving machine with V8 engine during changes in the moment of inertia

Зведені моменти інерції елементів динамічної схеми землерийної машини	Власні частоти, Гц				
	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5
Оригінальна схема	9.25	25.93	29.75	43.28	93.04
$J_{1M}/2$, $J_{2M}/2$, $J_{3M}/2$, $J_{4M}/2$, $J_{5M}/2$	10.40	25.94	30.10	43.30	93.06
$2J_{1M}$, $2J_{2M}$, $2J_{3M}$, $2J_{4M}$, $2J_{5M}$	8.56	25.93	29.56	43.26	93.03
$J_{1L}/2$, $J_{2L}/2$, $J_{3L}/2$	9.33	25.97	36.34	48.05	97.01
$2J_{1L}$, $2J_{2L}$, $2J_{3L}$	9.09	22.67	26.06	42.14	70.12
$J_{1K}/2$, $J_{2K}/2$	9.28	25.94	29.88	43.37	95.78
$2J_{1K}$, $2J_{2R}$,	9.21	25.92	29.47	43.09	86.14
$J_{3K}/2$, $J_{4K}/2$, $J_{7K}/2$, $J_{8K}/2$	9.40	26.01	29.84	46.43	96.95
$2J_{3K}$, $2J_{4K}$, $2J_{7K}$, $2J_{8K}$	8.99	25.75	29.54	39.18	81.53
$J_{5K}/2$, $J_{6K}/2$, $J_{11K}/2$	9.47	26.03	29.83	48.32	96.67
$2J_{5K}$, $2J_{6K}$, $2J_{11K}$	8.87	25.70	29.54	37.82	80.30
$J_{8K}/2$, $J_{9K}/2$	9.33	26.00	29.77	45.55	94.68
$2J_{8K}$, $2J_{9K}$	9.11	25.77	29.69	39.78	90.47
$J_{10K}/2$	9.32	29.04	34.11	45.11	93.06
$2J_{10K}$	9.11	19.59	29.47	42.75	93.03
$J_{12K}/2$	10.17	26.63	30.76	44.51	93.18
$2J_{12K}$	8.10	24.97	29.12	42.46	92.94

Результати дослідження по зміні моментів інерції мас та жорсткостей зв'язку свідчать про те, що вплив на першу власну частоту системи мають масові параметри двигуна і розвантажувального пристрою машини та пружні параметри демпферу двигуна і карданних передач базового шасі. Зміна цих параметрів машини з двигуном 6ЧН 12,6/13 призводить до зміни першої власної частоти на 5 – 20% (таблиця 5).

Висновки.

1.Форми коливань у випадку резонансу крутильних коливань в робочому діапазоні обертів колінчастого валу двигуна є небезпечними для привода машини. Найбільш небезпечною слід вважати першу форму коливань з частотою, яка є близькою до частоти гармонічних складових сил опору. Вузол коливань першої форми розташовано між масами коробки передач, що може призвести до втомного руйнування валів, з'єднань або зачеплень деталей коробки передач базового тягача.

2. Результати дослідження по зміні моментів інерції мас та жорсткостей зв'язку свідчать про те, що відхід від першої власної частоти системи можливий за рахунок зміни:

- моменту інерції двигуна;
- моменту інерції двигуна розвантажувального пристрою (метальника);
- жорсткості демпферу двигуна;
- жорсткості карданних передач базового шасі.

Зміна цих параметрів машини призводить до зміни першої власної частоти на 5 – 20%.

Таблиця 4 – Власні частоти, *f*, Гц, землерийної машини землерийної машини з двигуном 8ЧН 13/14 за зміни зведених жорсткостей

Table 4 – Natural frequencies, *f*, Hz, for the earth-moving machine with V8 engine during changes in the stiffness

Зведені жорсткості елементів динамічної схеми землерийної машини	Власні частоти, Гц				
	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5
Оригінальна схема	9.25	25.93	29.75	43.28	93.04
$c_{1L}/2$	7.69	25.59	26.72	42.86	91.46
$2c_{1L}$	10.41	25.98	34.18	44.40	95.04
$c_{2L}/2$	8.79	25.92	29.39	43.28	76.22
$2c_{2L}$	9.51	25.94	29.94	43.28	95.70
$c_{3L}/2$, $c_{4L}/2$	8.32	25.91	27.95	41.23	87.93
$2c_{3L}$, $2c_{4L}$	9.84	25.94	30.94	45.51	96.66
$c_{1K}/2$	8.87	25.92	28.68	42.28	93.04
$2c_{1K}$	9.46	25.93	30.36	43.99	93.04
$c_{2K}/2$	9.01	25.92	28.91	42.81	90.69
$2c_{2K}$	9.38	25.93	30.20	43.56	94.11
$c_{3K}/2$	9.24	24.87	29.74	39.39	79.50
$2c_{3K}$	9.26	26.39	29.75	45.65	98.36
$c_{4K}/2$	9.25	25.82	29.74	43.25	92.63
$2c_{4K}$	9.26	25.99	29.75	43.29	93.21
$c_{5K}/2$	9.24	19.27	29.38	41.89	92.93
$2c_{5K}$	9.24	19.27	29.38	41.89	92.93
$c_{6K}/2$	8.90	22.95	28.33	39.62	90.73
$2c_{6K}$	9.43	26.76	31.55	49.88	96.01

Таблиця 5 – Власні частоти, *f*, Гц, землерийної машини землерийної машини з двигуном 6ЧН 12,6/13 за зміни зведених моментів інерції та зведених жорсткостей

Table 5 – Natural frequencies, *f*, Hz, for the earth-moving machine with straight 6 engine during changes in the moment of inertia and the stiffness

Зведені моменти інерції та зведені жорсткості елементів динамічної схеми землерийної машини	Власні частоти *f*, Гц
Оригінальна схема	10,24
$J_{1M}/2$, $J_{2M}/2$, $J_{3M}/2$, $J_{4M}/2$, $J_{5M}/2$	12,02
$2J_{1M}$, $2J_{2M}$, $2J_{3M}$, $2J_{4M}$, $2J_{5M}$	9,36
$J_{12K}/2$	11,41
$2J_{12K}$	9,24
$c_{1L}/2$	8,71
$2c_{1L}$	11,68
$c_{3L}/2$, $c_{4L}/2$	9,34
$2c_{3L}$, $2c_{4L}$	11,12

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мусійко В.Д. Теорія та створення іноваційних землерийних машин безперервної дії : монографія. Видання друге, доповнене / В.Д. Мусійко, А.Б. Коваль. – Київ : Видавництво Людмила, 2018. – 280 с.

2. Панкратов С.А. Динамика машин для открытых горных и земляных работ. – М.: Машиностроение, 1967. – 446 с.

3. Волков Д. П. Надежность роторных траншейных экскаваторов / Д. П. Волков, С. Н. Николаев, И. А. Марченко. – Москва: Машиностроение, 1972. – 208 с.

4. Василенко М. В., Алексейчук О. М. Теорія коливань і стійкість руху: Підручник. – Київ : Вища школа, 2004. – 525 с.

5. Автомобили КрАЗ-5233ВЕ, КрАЗ-5233НЕ. Руководство по эксплуатации 5233ВЕ-016-3902010РЭ. Кременчуг-2010. 260 с.

6. Машина землеройная ПЗМ-3-01. Руководство по эксплуатации. ПЗМ3-01.00.00.000.РЭ. Кременчуг: КВРЗ, 2017. – 172 с.

7. Ніколаєнко В. А. Динамічна модель землерийної машини безперервної дії з ланцюгово-балковим робочим органом / В. А. Ніколаєнко, М. О. Гончар, Є. В. Високович. // Вісник Національного транспортного університету. – 2019. – №3. – С. 25–34.

8. Режим доступу: https://www.modelica.org/.

9. Ніколаєнко В. А., Хорошев К. Г. Дослідження динамічної навантаженості трансмісії базового шасі мобільної землерийної машини безперервної дії // Systemy i srodki transport samochodowego. Seria: Transport. / Politechnika Rzeszowska. Rzeszow, 2019. №16. С. 27–32.

REFERENCES

1. Musiiko V. D., Koval A.B. Teoriia ta stvorennia innovatsiinykh zemleryinykh mashyn bezperervnoi dii [Theory and creation of innovative earthmoving machines of continuous action]. Kyiv, Vydavnytstvo Ludmyla Publ., 2018 .282 p. [in Ukrainian]

2. Pankratov S.A. (1967) Dinamika mashin dlya otkryityih gornyih i zemlyanyih rabot [Dynamics of machines for opencast mining and earthworks]. Moskva; Mashinostroenie [in Russian].

3. Volkov D.P., Nikolaev S.N., & Marchenko I.A. (1972). Nadezhnost rotornykh transheynykh ekskavatorov [Dependability of wheel trenchers]. Moskva: Mashinostroyeniye [in Russian].

4. Vasylenko M.V., Alekseichuk O.M. (2004) *Teoriia kolyvan i stiikist rukhu* [Theory of vibrations and stability of motion] Pidruchnyk, Kyiv: Vyshcha shkola [in Ukranian].

5. Avtomobili KrAZ-5233VE, KrAZ-5233NE. (2010) Rukovodstvo po ekspluatatsii 5233VE-016-3902010RE. [Vehicles KrAZ-5233VE, KrAZ-5233NE. Operation manual. 5233VE-016-3902010RE] Kremenchug. [in Russian].

6. Mashyna zemleroynaya PZM-3-01. Rukovodstvo po ekspluatatsii. PZM3-01.00.00.000.RE. [Earthmoving machine PZM-3-01. Operation manual. PZM3-01.00.00.000.RE]. Kiremenchug, KVRZ Publ., 2017. – 171 p.

7. Honchar M.O, Vysokovych Y.V., Nikolaienko V.A. (2019) The dynamic model of mobile continuous earth-moving machine with a chain-type trenching equipment. Visnyk National Transport University. Scientific and Technical Collection: In Part 2. Part 1: Series «Technical sciences». – Kyiv: National Transport University, Issue 43, 25–34 pp. [in Ukrainian].

8. Retrieved from https://www.modelica.org/

9. Nikolaienko V, Khoroshev K. (2019). Doslidzhennia dynamichnoi navantazhenosti transmisii bazovoho shasi mobilnoi zemleryinoi mashyny bezperervnoi dii [Dynamic load study in the mobile continuous earth-moving machine base chassis transmission]. Systemy i srodki transport samochodowego. Seria: Transport. / Politechnika Rzeszowska. Rzeszow, Issue 16, 27–32 pp. [in Ukranian].

РЕФЕРАТ

Гончар М.О. Динамічний синтез мобільної землерийної машини безперервної дії з ланцюгово-балковим робочим органом / М.О. Гончар, В.А. Ніколаєнко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

В статті досліджено динамічну модель мобільної землерийної машини безперервної дії з ланцюгово-балковим робочим органом на предмет визначення впливу зміни пружньо-інерційних параметрів системи на її власні резонансні частоти.

Об'єкт дослідження: власні резонансні частоти трансмісії приводу ґрунторозробного робочого обладнання мобільної землерийної машини безперервної дії з ланцюгово-балковим робочим органом.

Мета роботи: Визначити елементи системи, пружньо-інерційні параметри яких впливають на нижні власні резонансні частоти. Дати практичні рекомендації щодо вибору параметрів таких елементів з метою відходу від резонансної частоти.

Створення міцних, надійних та довговічних машин залежить від точності врахування динамічних навантажень та способів по їх зниженню. При цьому формування конструкцій сучасних землерийних машин може бути реалізовано з використанням модульного принципу, але обов'язково з урахуванням повної картини можливих навантажень машин та їх приводів в процесі роботи, величини цих навантажень та їх динамічних характеристик.

У відповідності до умов динамічного синтезу параметри динамічної системи машини слід підібрати так, аби частота зміни зовнішнього навантаження машини в режимі її максимальної продуктивності не співпала з власною частотою динамічної системи.

За результатами теоретичних досліджень та тензометричних досліджень встановлено, що частота першої форми крутильних коливань приводу землерийної машини є близькою 9 Гц. Форма коливань першої частоти має вузол між масами коробки передач, що може призвести до втомного руйнування валів, з'єднань або зачеплень деталей коробки передач базового тягача. Частота першої форми власних коливань системи є близькою до частоти зачеплень ланок тягового ланцюга із зубцями зірочки в режимі максимальної продуктивності землерийної машини.

Результати дослідження по зміні моментів інерції мас та жорсткостей зв'язку свідчать про те, що вплив на першу власну частоту системи мають масові параметри двигуна і розвантажувального пристрою машини та пружні параметри демпферу двигуна і карданних передач базового шасі. Зміна цих параметрів машини призводить до зміни першої власної частоти на 5 – 20%.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ, ЗЕМЛЕРИЙНА МАШИНА, КРУТИЛЬНІ КОЛИВАННЯ

ABSTRACT

Honchar M.O, Nikolaienko V.A. The dynamic synthesis of mobile continuous earth-moving machine with a chain-type trenching equipment. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

This article depics the mobile continuous earth-moving machine dynamic model with a chain-type trenching equipment in order to determine the effect of changes in the elastic-inertial system parameters on its own resonant frequencies.

The object of the research: natural resonant transmission frequencies of the soil-working working equipment drive in the mobile earth-moving continuous action machine with a chain-beam working body.

The purpose of the work: to determine the system elements, in which the elastic-inertial parameters affect the lower natural resonant frequencies. To give practical recommendations on the parameter choice of such elements in order to deviate from the resonant frequency.

Creation of strong, reliable and durable machines depends on the dynamic load accuracy and ways to reduce it. Modern earthmoving machine structure formation can be realized using the modular principle, but always with taking into account the full picture of possible machine loads and their drives in the process, these load magnitude and their dynamic characteristics.

In accordance with the dynamic synthesis conditions, the dynamic system machine parameters should be selected so that the external load machine change frequency in its maximum productivity mode doesn't coincide with the dynamic system natural frequency.

According to the theoretical and strain gauge research results, it is established that the frequency of the first form of earth-moving machine drive torsional oscillations is close to 9 Hz. The first frequency oscillation shape has a node between the gearbox masses, which can lead to fatigue shaft destruction, joints or gears of the base tractor transmission part destruction. The frequency of the natural oscillation system is close to the traction chain link engagement frequency with the sprocket teeth in the earth-moving machine maximum productivity mode.

The study results of the inertia mass change moments and the connection stiffness indicate that the system first natural frequency is influenced by the engine mass parameters, the machine unloading device and

the engine damper elastic parameters, base chassis cardan gears. The machine parameter change leads to the first natural frequency change by 5 – 20%.

KEYWORDS: DYNAMIC MODEL, CHAIN TRENCHER, TORSIONAL VIBRATION.

АВТОРИ:

Гончар Михайло Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри теоретичної та прикладної механіки, e-mail: gmo48@ukr.net, тел: +380672342879, Україна, 01103, м. Київ, вул. Михайла Бойчука, 42, к. 601. orcid.org/0000-0002-5288-6486.

Ніколаєнко Володимир Анатолійович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожніх машин, e-mail: vanikolaienko@ukr.net, тел: +380679786117, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к.226. orcid.org/0000-0003-3983-0434.

Николаенко Владимир Анатольевич, кандидат технических наук, Национальный транспортный университет, доцент кафедры дорожных машин, e-mail: vanikolaienko@ukr.net, тел: +380679786117, Украина, 01103, г. Киев, ул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к.226. orcid.org/0000-0003-3983-0434.

AUTHORS:

Honchar Mykhailo Oleksandrovych, Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Professor of Theoretical and Applied Mechanics e-mail: gmo48@ukr.net, tel: +380672342879, Ukraine, 01103, Kyiv, street Mykhaila Boichuka, 42, of. 601. orcid.org/0000-0002-5288-6486.

Nikolaienko Volodymyr Anatoliiovych, National Transport University, Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Associate Professor of Road Machines, e-mail: vanikolaienko@ukr.net, tel: +380679786117, Ukraine, 01103, Kyiv, street. M. Omelanovich-Pavlenko, 1, of. 226. orcid.org/0000-0003-3983-0434.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Сахно В. П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

Іткін О. Ф., доктор технічних наук, генеральний директор ПрАТ «Промислово-виробничий інститут зварювально-ізоляційних технологій при будівництві трубопроводів «Нафтогазбудізоляція», Київ, Україна.

REVIEWERS:

Sakhno V. P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of Department of Automobiles, Kyiv, Ukraine.

Itkin O. F., Doctor of Technical Sciences, General Director «Neftegazstroyizoliatsiya» Industrial Production Institute of welding-insulation technologies to a piping building, Kyiv, Ukraine.

УДК 539.3 DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-121-126
UDC 539.3

БІФУРКАЦІЙНІ СТАНИ НАДДОВГИХ ОБЕРТОВИХ СТРИЖНІВ З ЦЕНТРУВАЧАМИ

Горбунович І.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна**,** irina.gorbunovich@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6859-0663

Соловйов І.Л., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна**,** i.soloviov@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0001-5203-4139

BIFURCATION STATES OF SUPER LONG ROTATING RODS WITH CENTRALIZERS

Gorbunovich I.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, irina.gorbunovich@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6859-0663

Solov'ev I.L., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, i.soloviov@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0001-5203-4139

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими й практичними завданнями.

У гірництві, вцілому, і в нафтогазовій галузі, зокрема, широкого застосування набув роторний спосіб буріння вертикальних надглибоких свердловин. Під час буріння роторним способом бурильна колона піддається дії розтягувальних, стискальних, крутних, згинальних навантажень. Наявні також додаткові інерційні навантаження. Для стабілізації бурильної колони в її конструкцію вводять допоміжні елементи. До них відносять, зокрема, центрувачі. Центрувач є опорно-центрувальним елементом, який створює проміжну опору бурильної колони для зменшення прогинання компоновки низу бурильної колони.

Інтенсифікація видобутку підземних енергетичних ресурсів 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. Режими 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 біфуркаційних станів наддовгих обертових стрижнів з центрувачами є досить актуальною.

Аналіз публікацій, в яких розпочато дослідження даної проблеми і на які спираються автори.

Об'єктом дослідження в роботах [1-4] є бурильні колони у вертикальних надглибоких свердловинах. Досліджуються біфуркаційні рівноважні стани обертових надглибоких колон, критичні сполучення їхніх характерних параметрів і форми початкового випинання.

Побудовано сингулярно збурені диференціальні рівняння квазістатичної й динамічної поведінки бурильної колони в пружній постановці. Двоточкові крайові задачі для цих рівнянь зведено до крайових задач для нормальних систем лінійних диференціальних рівнянь зі змінними коефіцієнтами.

Показано, що важливим фактором, який впливає на квазістатичну й динамічну поведінку бурильної колони, є її обертання. А внутрішні потоки промивної рідини породжують в бурильних колонах дуже складні ефекти.

У статті [5] розглядаються біфуркаційні випинання обертових гіпердовгих стрижнів з урахуванням внутрішнього потоку рідини. Виконано теоретичні дослідження біфуркаційних станів стрижнів за різних значень характерних геометричних параметрів і параметрів навантаження.

Постановка завдання. Виклад основного матеріалу дослідження.

Розглядається пружний наддовгий обертовий вертикальний трубчастий стрижень з внутрішнім потоком рідини (рис.1). У верхній точці $z = 0$ (точці підвісу) стрижень шарнірно закріплено. В нижній найменш стабільній зоні стрижень має центрувачі, що відіграють роль проміжних шарнірних опор. На нижній кінець $z = L$ стрижня діє вертикальна стискувальна сила R. Під час обертання стрижня з кутовою швидкістю ω на нього діють поздовжня сила T, крутний момент M_z, відцентрові сили

інерції $(\rho F + \rho_p F_p)\omega^2 u$ й сили $V^2 \rho_p F_p \, d^2u/dz^2$ інерції від руху зі швидкістю V внутрішнього потоку рідини.

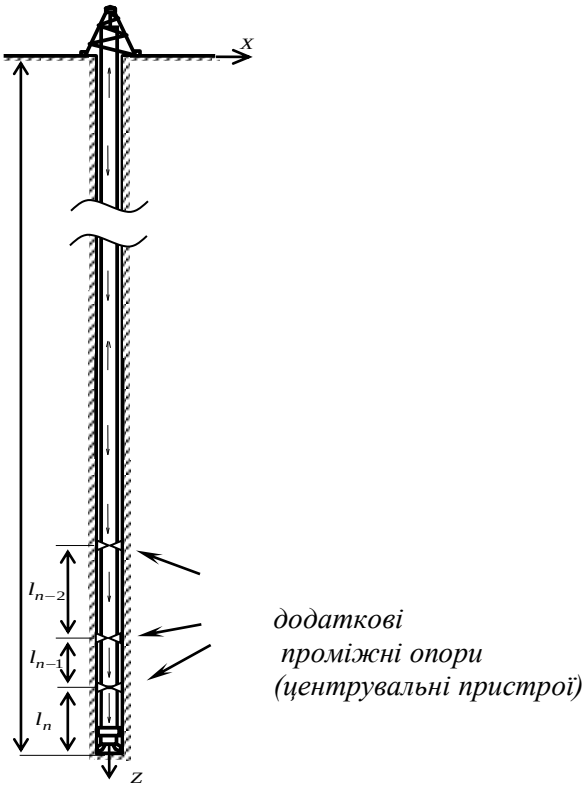


Рисунок 1 – Геометрична схема стрижня з центрувачами
Figure 1 – Geometric scheme of a rod with centralizers

Досліджується багатоточкова крайова задача про стійкість прямолінійної форми стрижня з урахуванням стабілізувального чинника додаткових центрувачів в обертовій системі координат $Oxyz$:

$$\begin{aligned} EI\frac{d^4u}{dz^4} - \frac{d}{dz}\left(T\frac{du}{dz}\right) - M_z\frac{d^3v}{dz^3} - (\rho F + \rho_p F_p)\omega^2 u + V^2\rho_p F_p\frac{d^2u}{dz^2} = 0, \\ EI\frac{d^4v}{dz^4} - \frac{d}{dz}\left(T\frac{dv}{dz}\right) + M_z\frac{d^3u}{dz^3} - (\rho F + \rho_p F_p)\omega^2 v + V^2\rho_p F_p\frac{d^2v}{dz^2} = 0, \end{aligned} \qquad (1)$$

де u, v – пружні переміщення елемента труби уздовж осей Ox, Oy відповідно; z – поздовжня координата; EI – згинна жорсткість стрижня; ρ, ρ_p – щільності матеріалу труби стрижня і рідини; F, F_p – площі поперечного перерізу труби і її внутрішнього круга; V – швидкість руху внутрішнього потоку рідини.

Під час інтегрування цих рівнянь на кінцях $z = 0$, $z = L$ використовуються крайові умови шарнірного спирання

$$\begin{aligned} &u(0) = v(0) = 0, \qquad u(L) = v(L) = 0, \\ &\frac{d^2u}{dz^2}\Big|_{z=0} = \frac{d^2v}{dz^2}\Big|_{z=0} = 0, \qquad \frac{d^2u}{dz^2}\Big|_{z=L} = \frac{d^2v}{dz^2}\Big|_{z=L} = 0. \end{aligned} \qquad (2)$$

До них додаються умови зрощування розв'язків на додаткових опорах (умови взаємодії стрижня з центрувачами). Нехай, наприклад, i-тий опорний пристрій встановлено в перерізі $z = z_i$. Тоді в цій точці стрижень умовно поділяють на лівий і правий сегменти, і розв'язки зрощують за допомогою умов

$$u(z_i^-) = u(z_i^+) = 0, \qquad v(z_i^-) = v(z_i^+) = 0,$$

$$\frac{du}{dz}\Big|_{z=z_i^-} = \frac{du}{dz}\Big|_{z=z_i^+}, \qquad \frac{dv}{dz}\Big|_{z=z_i^-} = \frac{dv}{dz}\Big|_{z=z_i^+},$$

$$\frac{d^2u}{dz^2}\Big|_{z=z_i^-} = \frac{d^2u}{dz^2}\Big|_{z=z_i^+}, \qquad \frac{d^2v}{dz^2}\Big|_{z=z_i^-} = \frac{d^2v}{dz^2}\Big|_{z=z_i^+}, \tag{3}$$

де $z_i^- = z_i -$, $z_i^+ = z_i +$.

Сукупність значень параметрів T, M_z, ω, V, L, за яких однорідна система (1) – (3) має нетривіальні розв'язки, є біфуркаційною. Вона визначає критичні квазістатичні стани прямолінійної форми стрижня.

Система (1) двох рівнянь четвертого порядку зводиться до системи восьми рівнянь першого порядку:

$$\frac{d\vec{y}}{dz} = Q_1\vec{y} + T(z)Q_2\vec{y} + \frac{dT(z)}{dz}Q_3\vec{y} + M_zQ_4\vec{y} + \omega^2Q_5\vec{y} + V^2Q_6\vec{y}. \tag{4}$$

Вектор-функція $\vec{y}(z)$ повинна задовольняти граничним умовам (2), (3), які можна представити у вигляді

$$A_1\vec{y}(0) = 0, \quad A_2\vec{y}(z_2) = 0, \ \dots\ , A_{n-1}\vec{y}(z_{n-1}) = 0, \quad A_n\vec{y}(L) = 0, \tag{5}$$

де A_1, A_n – сталі матриці розміру 4×8; $A_2, \dots, A_{n-1}$ – матриці розміру 8×8; n – число всіх опор стрижня

Загальний розв'язок системи (4), (5) за заданих $T(z)$, M_z, ω, V подається у формі Коші:

$$\vec{y}(z) = Y(z)\vec{C}. \tag{6}$$

Далі будується однорідна система лінійних алгебричних рівнянь:

$$D\vec{C} = 0. \tag{7}$$

Реалізація описаного алгоритму пов'язана з деякими додатковими особливостями, що викликані наявністю в конструкціїї стрижня центрирувальних елементів на його нижньому кінці. В результаті чого фундаментальні розв'язки $Y(z)$ рівняння (6) стають розривними, а процедура їх ортогоналізації важко здійснюється. Тому для розв'язування системи (4), (5) пропонується метод декомпозиції: опорними перерізами стрижень поділяють на окремі частини, будують частинні розв'язки для кожної з них і зрощують їх.

Нехай в нижній частині стрижень має п'ять центрувальних пристроїв B, C, D, E, F і стає шестипролітним (рис.2). На кожній із введених опор виконуються умови рівності нулю переміщень u, v та неперервності кутів повороту і згинних моментів. Ці умови використовуються для зррощення частинних розв'язків. Проілюструємо застосування цієї методики на прикладі опори D між прольотами 3 і 4. Умовно виділимо балочні підконструкції в цих прольотах та приймемо, що вони жорстко закріплені на кінцях C, D і E (рис. 2).

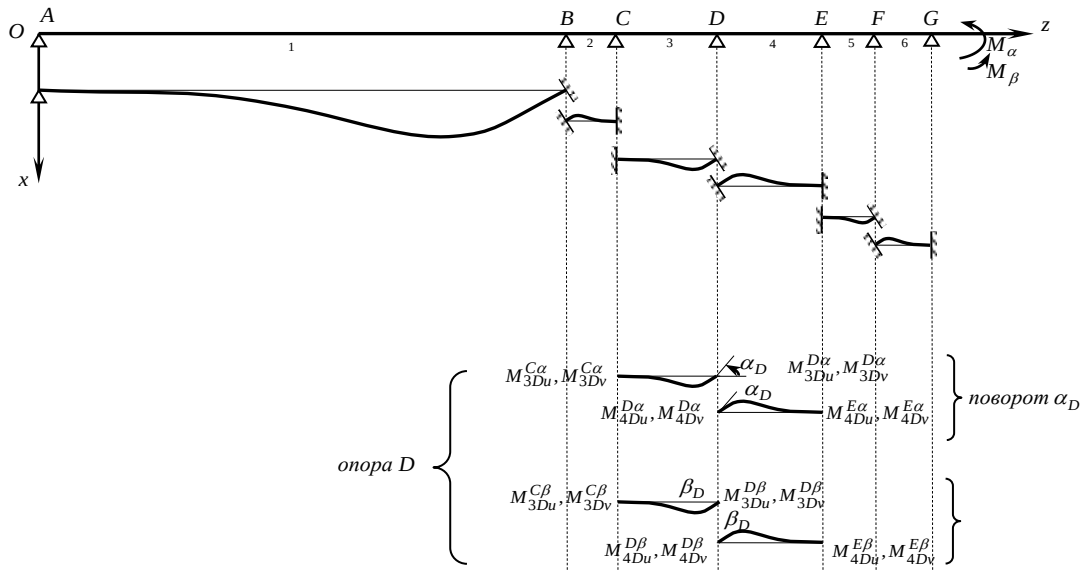


Рисунок 2 – Схема зрощення згинних моментів на проміжній опорі D
Figure 2 –The scheme of splice of bending moments over interim support D

Під час деформування системи в площині xOz опора D повертається на кут α_D. Для його визначення повернемо опору D на одиничний кут та знайдемо викликані ним момент $M^{D\alpha}_{3Dx}$ на опорі D третього прольоту і момент $M^{D\alpha}_{4Dx}$ на опорі D четвертого прольоту. Під час повороту опор C та E на одиничні кути в площині xOz на опорі D виникнуть відповідні моменти $M^{D\alpha}_{3Cx}$ та $M^{D\alpha}_{4Ex}$. Аналогічно знаходимо моменти $M^{D\beta}_{3Cx}$, $M^{D\beta}_{3Dx}$, $M^{D\beta}_{4Dx}$, $M^{D\beta}_{4Ex}$ від повороту опор C, D, E на одиничні кути β в площині yOz.

Такі повороти кінців виділених балок на одиничні кути α і β викличуть також відповідні згинні моменти на опорі D в площині yOz. Оскільки згинні моменти неперервні в конструкції, суми всіх цих моментів зліва і справа на опорі D в кожній з площин xOz, yOz рівні. Виходячи з цього, отримуємо два рівняння зрощення згинних моментів на цій опорі

$$\begin{aligned} &-M^{D\alpha}_{3Cx}\alpha_C - M^{D\beta}_{3Cx}\beta_C + \left(-M^{D\alpha}_{3Dx} + M^{D\alpha}_{4Dx}\right)\alpha_D + \left(-M^{D\beta}_{3Dx} + M^{D\beta}_{4Dx}\right)\beta_D + \\ &\qquad + M^{D\alpha}_{4Ex}\alpha_E + M^{D\beta}_{4Ex}\beta_E = 0, \\ &-M^{D\alpha}_{3Cy}\alpha_C - M^{D\beta}_{3Cy}\beta_C + \left(-M^{D\alpha}_{3Dy} + M^{D\alpha}_{4Dy}\right)\alpha_D + \left(-M^{D\beta}_{3Dy} + M^{D\beta}_{4Dy}\right)\beta_D + \\ &\qquad + M^{D\alpha}_{4Ey}\alpha_E + M^{D\beta}_{4Ey}\beta_E = 0. \end{aligned} \tag{8}$$

Аналогічно будуються рівняння зрощення розв'язків на проміжних опорах B, C, E, F.

Метод декомпозиції дозволяє знайти незалежні частинні розв'язки задач про згин окремих, не пов'язаних між собою шести балок під дією одиничних кутів повороту їхніх кінців і далі за допомогою системи десяти лінійних алгебричних рівнянь виду (8) знайти по п'ять значень α_i, β_i кутів повороту стрижня на відповідних проміжних опорах. Випадок, коли ця система алгебричних рівнянь виявляється виродженою, пов'язаний з виродженням матриці D системи (7) і відповідає біфуркаційному стану стрижня з центрувачами, а власний вектор цієї матриці визначає форму втрати стійкості такого стрижня.

Висновки з даного дослідження.

У статті вивчається актуальна задача про біфуркаційні стани пружних наддовгих вертикальних трубчастих стрижнів з внутрішнім потоком рідини. Досліджується вплив центрувальних елементів, геометричних і силових параметрів на стабілізацію нижньої зони стрижня.

Запропоновані багатоточкові крайові задачі розв'язуються методом декомпозиції, який дозволяє знайти незалежні частинні розв'язки задач про згин не пов'язаних між собою балок. А це, в свою чергу, дає можливість визначити біфуркаційні квазістатичні стани прямолінійної форми стрижня з центрувачами.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гуляев В.И. Квавзистатические критические состояния колонн глубокого бурения / В.И. Гуляев, В.В. Гайдайчук, И.Л. Соловьев, И.В. Горбунович // Проблемы прочности.– 2006. – № 5. – С. 109-119.

2. Gulyayev V.I. Analysis of rotating drill column length influence on stability of its quasistatic equilibrium / V.I. Gulyayev, P.Z. Lugovoy, V.V. Gaydaychuk, I.L. Solovjov, I.V.Gorbunovich // Int. Appl.Mech. – 2007. – 43. - № 9 (12). – P. 83-92.

3. 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.

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. Горбунович І.В. Біфуркаційні випинання обертових гіпердовгих стрижнів з внутрішнім потоком рідини / І.В. Горбунович // Вісник Національного транспортного університету. – 2010. – №21. – С.310 –314.

REFERENCES

1. Gulyayev V.I. Gaydaychuk V.V., Solov'ev I.L., Gorbunovich I.V. (2006). Kvavzistaticheskie kriticheskie sostoyaniya kolonn glubokogo bureniya [Quasistatic and critical states of deep driiling columns]. Problemy prochnosti –Journal Strength of Materials, 5, 109-119 [in Russian].

2. Gulyayev V.I. Analysis of rotating drill column length influence on stability of its quasistatic equilibrium / V.I. Gulyayev, P.Z. Lugovoy, V.V. Gaydaychuk, I.L. Solov'ev, I.V.Gorbunovich // Int. Appl.Mech. – 2007. – 43. - № 9 (12). – P. 83-92.

3. Gulyayev V.I. The buckling of elongated rotating drill strings / V.I. Gulyayev, V.V. Gaidaichuk, I.L. Solov'ev, I.V. Gorbunovich // J. Petr. Sci. Eng. –2009. No 67. – P. 140 – 148.

4. Gorbunovich I.V., Levkovskaia L.V. [2018]. Izuchenie problemyi vyiyavleniya kriticheskih rezhimov funktsionirovaniya burilnyih kolonn v vertikalnyih i krivolineynyih skvazhinah [Investigation of the problem of detection of critical parameters of operation of drill columns in vertical and curvilinear wells]. Visnyk Natsionalnoho Transportnoho Universytetu. Seriia «Tekhnichni nauky». Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk – Visnyk of National Transport University. «Technical sciences» series. Scientific and Technical collection, 1(40), 90–97 [in Russian].

5. Gorbunovich I.V. (2010). Bifurkatsiini vypynannia obertovykh hiperdovhykh stryzhniv z vnutrishnim potokom ridyny [Bifurcation projections of rotating super long strings with internal fluid flow]. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu – Visnyk National Transport University, 21, 310 – 314 [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Горбунович І.В. Біфуркаційні стани наддовгих обертових стрижнів з центрувачами / І.В. Горбунович, І.Л. Соловйов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

У статті розглянуто наддовгий пружний трубчастий прямолінійний вертикальний стрижень з внутрішнім потоком рідини з центрувачами у його нижній частині.

Зазначено причини, що сприяють виникненню біфуркаційного випинання стрижня. Поміж цих причин, як основні, виділяються і описуються внутрішня поздовжна сила, крутний момент, сили інерції обертання стрижня, сили інерції внутрішнього потоку рідини.

Мета дослідження – виявити зародження біфуркаційних станів стрижнів з центрувальними елементами.

Методи дослідження полягають у побудові сингулярно збурених багатоточкових крайових задач, які визначають напружено-деформований стан і стійкість стрижня. Розв'язуючи їх методом декомпозиції, можна виявити зародження біфуркаційних станів наддовгих обертових стрижнів з центрувачами.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: НАДДОВГИЙ СТРИЖЕНЬ, ОБЕРТОВИЙ РУХ, ВНУТРІШНІЙ ПОТІК РІДИНИ, ЦЕНТРУВАЧІ, ПОЗДОВЖНЯ СИЛА, КРУТНИЙ МОМЕНТ, БАГАТОТОЧКОВА КРАЙОВА ЗАДАЧА, БІФУРКАЦІЙНІ СТАНИ, МЕТОД ДЕКОМПОЗИЦІЇ.

ABSTRACT

Gorbunovich I.V., Solov'ev I.L. Bifurcation states of super long rotating rods with centralizers. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue. 1 (51).

The article deals with a super long elastic tubular vertical rod with centralizers embeded in its lower part and an internal fluid flow.

The reasons of appearance of bifurcation protrusion of the rod are stated. Among these reasons, an internal longitudinal force, torque, inertia forces rotating rods, inertia forces of internal fluid flow are identified and described as main ones.

The purpose of the study is to detect the beginning of bifurcation states of rods with centralizers.

Research methods are based on the construction of singularity perturbed multy-point boundary-value problems determining the stress-strain state and stability of the rod. Applying decomposing approach, the beginning of bifurcation states of rods with centralizers are detected.

KEY WORDS: SUPER LONG ROD, ROTATIONAL MOTION, INTERNAL FLUID FLOW, CENTRALIZERS, LONGITUDINAL FORCE, TORQUE, MULTI-POINT BOUNDARY PROBLEM, BIFURCATION STATES, METHOD OF DECOMPOSITION.

АВТОРИ:

Горбунович Ірина Валентинівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортный університет, доцент кафедри вищої математики, e-mail: irina.gorbunovich@gmail.com**,** тел. +380676001177, Україна, 01103, м. Київ, вул Бойчука, буд. 42, к.514, orcid.org/0000-0002-6859-0663.

Соловйов Ігор Леонідович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортный університет, доцент кафедри вищої математики, e-mail: i.soloviov@ntu.edu.ua**,** тел. +380991693545, Украина, 01103, м. Київ, вул Бойчука, буд. 42, к.514, orcid.org/0000-0001-5203-4139.

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.

Solov'ev Igor Leonidovych, Ph.D., National Transport University, associate professor department of high mathematics, e-mail: i.soloviov@ntu.edu.ua **,** тел. +380991693545,, Ukraine, 01103**,** Kyiv, Boychuka str.,42, of. 514, orcid.org/0000-0001-5203-4139.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Луговий П.З., доктор технічних наук, професор, Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, завідувач відділу будівельної механіки тонкостінних конструкцій, Київ, Україна.

Мейш Ю.А., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри вищої математики, Київ, Україна.

REVIEWER:

Lugovoy P.Z., Engineering (Dr.), 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.

Meish Y.A., Engineering (Dr.), Professor, National Transport University, Higher mathematics department professor, Kyiv, Ukraine.

УДК 539.3
UDC 539.3
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-127-133

ОПТИМАЛЬНЕ ТРАСУВАННЯ ТРАЄКТОРІЙ ГЛИБОКИХ СВЕРДЛОВИН МЕТОДАМИ НЕЛІНІЙНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

Гуляєв В.І., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, valery@gulyayev.com.ua, orcid.org/0000-0002-5388-006X

Шлюнь Н.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, nataliyashlyun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1040-8870

OPTIMAL TRACING OF DEEP BOREHOLE TRAJECTORIES BY NONLINEAR PROGRAMMING METHODS

Gulyayev V.I., Dr. Sci., National Transport University, Kyiv, Ukraine, valery@gulyayev.com.ua, orcid.org/0000-0002-5388-006X

Shlyun N.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, nataliyashlyun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1040-8870

Вступ.

Останнім часом суттєві перепади цін на нафту та газ призводять до нових вимог щодо питань забезпечення ефективності нафтогазової галузі. Це послужило рушійним мотивом в розвитку проривів оптимізації технологій буріння глибоких свердловин. Крім того стає все важче та важче знаходити нові перспективні нафтові та газові резервуари й навіть пошук нових репозитаріїв пов'язаний з складнішими факторами, що містять велику віддаленість нафтогазових провінцій, їх морське розташування та суворі кліматичні умови, більш глибоке пролягання шарів, високі тиски та температури, більш тверді та міцні породи та ін. Все це призводить до необхідності розробки наукових інновацій по підвищенню ефективності проектування глибоких свердловин, їх буріння та завершення.

У сучасній нафтовій та газовій індустрії бурять 2D та 3D скеровані (криволінійні) та багатостовбурні (розгалужені) свердловини. Їх вартість та продуктивність визначається їхньою довжиною, гладкістю та конфігурацією їх траєкторій. Щоб підвищити ефективність свердловини та зменшити вартість її проходки, збільшити обсяг та швидкість видобутку вуглецевого продукту, запропоновано використовувати методи прикладної математики для оптимального трасування її траєкторії.

Є багато думок щодо цієї складної та актуальної теми оптимізації свердловин. Ці міркування змінюються від проектувальника до проектувальника в залежності від цілі, яку ставить компанія в пошуках оптимального профілю та траєкторії: чи мають вони бути максимально простими, щоб гарантувати мінімальний час її проходки або забезпечить її стійкість? Можливо необхідно забезпечить відпрацювання секцій зі зламами типу dogleg (собача нога) або ресурс керуючої системи буріння? Чи ця проблема ширше всіх розглянутих – знайти комплексний оптимум?

Для бурильних спеціалістів протягом довгого часу головною мірою для оцінки якості свердловини був час її проходки. Однак в даний час багато компаній вважають, що оцінка оптимальності свердловини на основі фактору швидкості її проходки пішло в минуле. Щоб допомогти операторам отримати максимальну віддачу свердловини, необхідно збалансувати економіку та інші драйвери, також як конфігурацію колодязя, гладкість траєкторії, точність розташування її нижнього кінця в цільовій зоні, а також вдалу установку її гирла на земній поверхні чи дні моря.

Ці проблеми можуть бути поставлені та вирішені шляхом використання методів теорії оптимального управління чи нелінійного програмування, що складають розділ прикладної математики. Для здійснення цього необхідно сформулювати математичну модель та вибрати методи оптимізації для її аналізу. Зазвичай математична модель формулюється на основі диференціальних (в простіших випадках – алгебраїчних) рівнянь, цільової функції та обмежень, що встановлюють границі змін шуканих (варіаційних) змінних []. Враховуючи наведені міркування, можна зробити висновок, що при оптимізації геометрії свердловини найбільш доцільно в якості функції цілі вибирати кривизну її траєкторії. Після її мінімізації можна конструювати оптимальну траєкторію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В практиці буріння перші спроби мінімізувати глобальну кривизну виконувались на базі так званого «методу мінімальної кривизни», що виходить із представлення траєкторії у вигляді комбінації

прямолінійних відрізків та дуг кола. Огляди цих робіт наведені у статтях [Amerin R., Broni Begiako E. (September, 2010) Application of minimum curvature method to well path calculations. Research journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 2(7), 679-686; Sawaryn, S.J., Thorogood J.L. A compendium of directional calculations based on the minimum curvature method // SPE Drilling & Completion, 2005, March, – pp. 24 – 36.]

Пізніше Samuel R. [] та Gulyayev et al [] показали, що в місцях з'єднання прямолінійних відрізків та дуг кіл виникає концентрація великих контактних та фрикційних сил та за цією обставиною цей метод неможна вважати оптимальним. Тим не менш підхід, пов'язаний з мінімізацією глобальної кривизни траєкторії свердловини може бути визнаний доволі раціональним, оскільки згладжування траєкторії дозволяє:

– скоротити довжину траєкторії;

– зменшити її звивистість та за рахунок цього подавити сили контактної та фрикційної взаємодії між поверхнями свердловини та труби;

– за допомогою цього зменшити сили опору, що діють на бурильну колону при виконання спуско-підйомних операцій та завершень свердловини;

– скоротити затрати енергії привідного механізму на виконання цих операцій;

– уникнути ефекти випинання бурильної колони та її прихвату.

Крім того в більш коротких та гладких свердловинах реалізуються більш сприятливі умови для аеро- та гідродинамічних процесів. В них сили аеро- та гідродинамічної природи зменшуються як при бурінні, так і в процесі експлуатації. На додачу, зменшуються швидкості утворення тромбів та закупорки осадження високомолекулярними парафінами, піробітуленами, нафто-газовими дьогтями та піском. В кінці, в оптимізованих свердловинах легше забезпечити більш просту та якісну очистку.

Математична модель ітераційної оптимізації траєкторії свердловини

Проблема оптимізації криволінійних траєкторій для геометричних та механічних систем представляє найбільш розвинений розділ теорії оптимального управління. Вона складається з класичних методів диференціального та варіаційного числення, розроблених Л. Ейлером і Дж. Лагранжем та розвинених в роботах Р. Белмана, Л. Понтрягіна та їх учнів [1-8]. З її використанням в статті [В.І. Гуляєв, С.М. Глазунов, О.М. Андрусенко] була поставлена та розв'язана проблема оптимізації траєкторії свердловини. Її математична модель включає інтегральну функцію цілі, що базується на диференціальній рівності для функції кривизни, та систему обмежень, поданих у формі диференціальних та алгебраїчних рівнянь. Для побудови оптимальної траєкторії свердловини був використаний покроковий метод проекції градієнту цільової функції на лінеаризовані обмеження [Гуляев Киси]. Цей підхід є ефективним, але він пов'язаний з важкою та об'ємною процедурою обчислення функціональної матриці розв'язків на кожному кроці.

Поставлена задача може бути спрощена, якщо диференціальні рівняння та обмеження попередньо дискретизовані та проблема сформульована в рамках теорії нелінійного програмування. Нижче цей підхід використаний для постановки та розв'язання цієї проблеми.

Нехай в системі координат Oxy задана вихідна траєкторія $S^{(0)}$ свердловини (Рис.1). Вона проходить через початкову $(i=0)$ та кінцеву $(i=N)$ точки траєкторії під заданими кутами та описується рівняннями

$$x^{(0)} = x^{(0)}(l), \qquad y^{(0)} = y^{(0)}(l), \tag{1}$$

де l – натуральний параметр, який вимірюється довжиною ділянки траєкторії від початкової $i=0$.

Нехай L – повна довжина траєкторії

$$L = \int\limits_{(S)} dl = \int\limits_{(S)} \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} \tag{2}$$

Необхідно оптимізувати траєкторію шляхом мінімізації її повної кривизни

$$K = \int\limits_0^L k^2(l)\,dl, \tag{3}$$

де $k(l)$ – функція локальної кривизни [Korn, Korn]

$$k(l) = \sqrt{(x'')^2 + (y'')^2}. \tag{4}$$

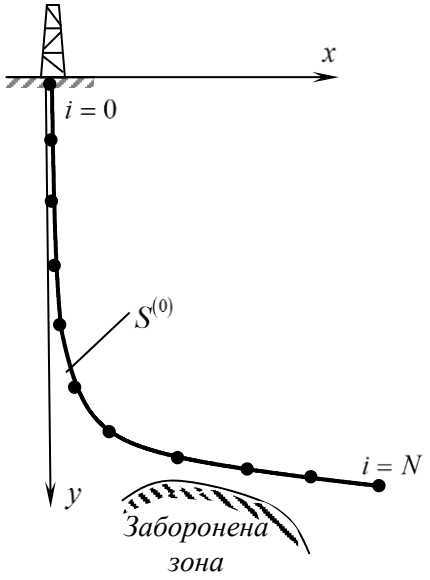


Рисунок 1 – Геометрична схема вихідної траєкторії свердловини
Figure 1 – Geometric scheme of the initial trajectory of the borehole

В процесі покрокової оптимізації відрізків кривої S змінюється параметр l перестає бути натуральним. Тому формула (4) має бути замінена рівністю

$$k(s)=\frac{|\ddot{y}\dot{x}-\ddot{x}\dot{y}|}{\left(\dot{x}^2+\dot{y}^2\right)^{3/2}}. \tag{5}$$

Тут точкою над символом позначено диференціювання по натуральному параметру s.

Дискретизуємо неперервну задачу мінімізацію функції (3) з використанням скінченно-різницевого методу, поділивши довжину L на N скінченно-різницевих відрізків Δl за допомогою вузлових точок x_i, y_i $\left(i=\overline{0,N}\right)$ (рис.1). Відстані між цими точками визначаються рівностями

$$\Delta l_i=\sqrt{\left(x_i-x_{i-1}\right)^2+\left(y_i-y_{i-1}\right)^2}. \tag{6}$$

Тоді функція цілі Φ набуває вигляду

$$\Phi\approx\sum_{i=1}^{N}\frac{\left(\ddot{y}_i\dot{x}_i-\ddot{x}_i\dot{y}_i\right)^2}{\left(\dot{x}_i^2+\dot{y}_i^2\right)^3}\ \Delta l_i\to\min. \tag{7}$$

Зручно переписати вираз (7) у вигляді

$$\Phi\approx\sum_{i=1}^{N}\frac{A_i}{B_i^3}\ \Delta l_i\to\min \tag{8}$$

$$\text{де } A_i=\left(\ddot{y}\dot{x}-\ddot{x}\dot{y}\right),\qquad B_i=\dot{x}_i^2+\dot{y}_i^2. \tag{9}$$

Напрям найшвидшого зменшення функції Φ в просторі змінних $x_0,y_0,...,x_N,y_N$ вектором її антиградієнта.

$$-\nabla\Phi=-\left[\frac{\partial\Phi}{\partial x_0},\frac{\partial\Phi}{\partial y_0},\frac{\partial\Phi}{\partial x_1},\frac{\partial\Phi}{\partial y_1},...,\frac{\partial\Phi}{\partial x_N},\frac{\partial\Phi}{\partial y_N}\right]^T. \tag{10}$$

Тут індекс T позначає операцію транспонування.

Похідні, включені у рівність (10), обчислюються за допомогою стандартних правил диференціювання з використанням замін (6) – (9).

Після обчислення компонент вектора антиградієнта (10) організовується ітераційний процес оптимального антиградієнтного спуску. Припустимо, що на *k*-му кроці цього процесу відомі значення $x_i^{(k)}$, $y_i^{(k)}$ $\left(i=\overline{0,N}\right)$ вузлових координат траєкторної кривої. За їх використанням обчислюються цільова функція $\Phi^{(k)}$ та вектор $-\nabla\Phi^{(k)}$ із застосуванням рівностей (8) та (10). Потім, обчислюються нові (покращені) значення $x_i^{(k+1)}$, $y_i^{(k+1)}$ $\left(i=\overline{0,N}\right)$ за формулами

$$x_i^{(k+1)}=x_i^{(k)}-\alpha\frac{\partial\Phi^{(k)}}{\partial x_i},\quad y_i^{(k+1)}=y_i^{(k)}-\alpha\frac{\partial\Phi^{(k)}}{yx_i} \tag{11}$$

В цих рівностях використовується масштабуючий множник α, значення якого вибирається з умови збіжності ітераційного процесу. Обчислення закінчуються коли компоненти вектора $-\nabla\Phi$ стають достатньо малими.

Аналіз комп'ютерних розрахунків

Розроблений підхід був використаний для оптимізації траєкторії 1 свердловини, що представлена на рис. 2 системи координат *Oxy* . Вона складається з прямолінійних ділянок, які з'єднані дугами арок, кривизни яких показані на рис. 3 ломаними кривими 1.

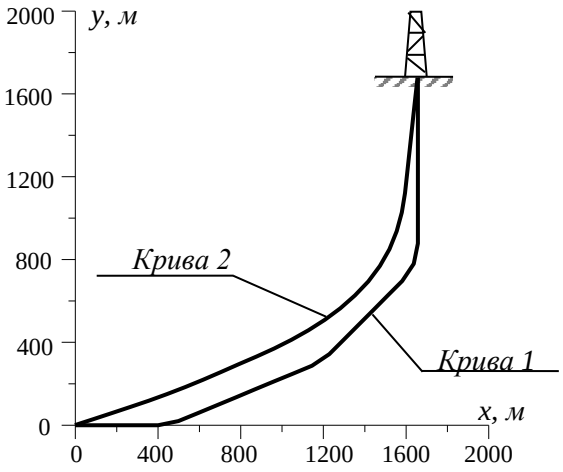


Рисунок 2 – Обрис траєкторії свердловини в вихідному (1) та кінцевому (2) станах

Figure 2 – Outline of the borehole trajectory in the initial (1) and final (2) states

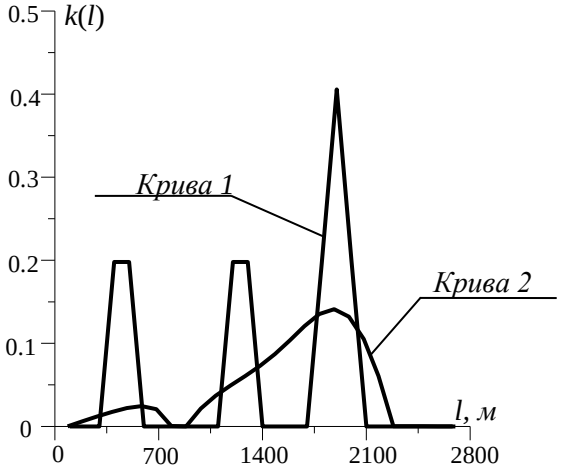


Рисунок 3 – Діаграми функції кривизни траєкторії в вихідному (1) та кінцевому (2) станах

Figure 3 – Diagrams of the trajectory curvature function in the initial (1) and final (2) states

Повна вихідна довжина траєкторії складає 2800 м. Для оптимізації траєкторія L була поділена на 27 скінченно-різницевих ділянок довжинами $\Delta L=100$ м, потім був створений процес оптимізаційного пошуку. Для цього на кожному кроці ітераційної процедури в кожній точці траєкторії підраховувались компоненти вектора (10) антиградієнта цільової функції та здійснювався спуск вздовж цього напряму за формулами (11) з масштабуючим множником $1/200$. Всього було виконано 5000 кроків зменшення цільової функції Φ в формі (8). В результаті вдалося зменшити її значення від $\Phi^{(0)}=0,0039960$ м$^{-1}$ до $\Phi^{(5000)}=0,0011098$ м$^{-1}$ (рис. 4). Остаточна траєкторія свердловини показана на рис. 2 (крива 2). Функція кривизни $k(l)$ в цьому стані представлена рис. 3 (крива 2). Цікаво відмітити, що в результаті оптимізації траєкторії зменшилась не тільки її кривизна $k(l)$, але також і її довжина віл значення $L^{(0)}=2800$ м до $L^{(0)}=2625,1$ м.

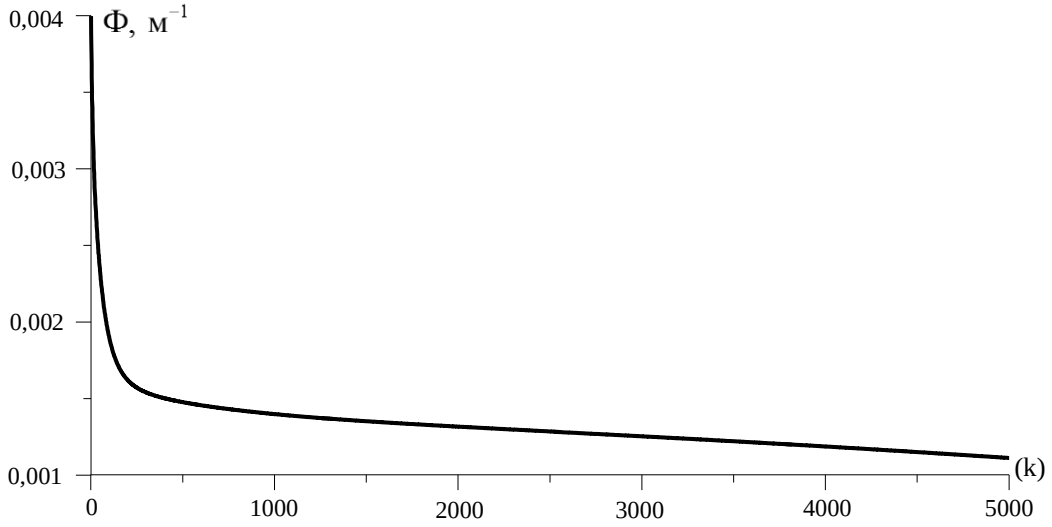


Рисунок 4 – Графік покрокового спадання цільової функції $\Phi^{(k)}$

Figure 4 – Graph of stepwise decline of the objective function $\Phi^{(k)}$

Висновки

1. На базі методів нелінійного програмування поставлена задача про оптимізацію трасування траєкторії нафтових та газових свердловин. Для розв'язання задачі використовується метод антиградієнтного спуску. На кожному кроці перевіряється збіжність обчислювального процесу.
2. Показано, що в якості цільової функції задачі може бути використана функція її інтегральної викривленості, довжина траєкторії та вартість її проходки.
3. Наведені результати комп'ютерного моделювання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гуляев В.И. Оптимальное управление движением механических систем Control of Mechanical Systems Motion. /В.И. Гуляев, В.А. Баженов, В.Л. Кошкин. – Киев : УМК ВО.– 1988 (in Russian).− 234с.

2. Bazaraa Mokhtar S. Nonlinear Programming: Theory and Algorithms. (3 ed) / Mokhtar S. Bazaraa. Wiley Publishing, 2013.− 872 p.

3. Bertsekas Dimitri P. Nonlinear Programming (Third ed.). / Dimitri P. Bertsekas. − Cambridge, Massachussets. Athena Scientific, 2016. − 861 p.

4. Betts J.T. Practical Methods for Optimal Control Using Nonlinear Programming (2nd ed.). / J.T. Betts. − Philadelphia, Pennsylvania: SIAM Press, 2016.− 448 p.

5. Gulyayev V. Modelling Emergency Situations in the Drilling of Deep Boreholes. / Gulyayev, V., Glazunov, S., Shlyun, N., et. al. − Cambridge Scholars Publishing, 2019.− 500 p.

6. Himmelblau David M. Applied Nonlinear Programming. / David M. Himmelblau. − The University of Texas, Austin, Texas: Mc Graw-Hill Book Company, 1972.− 498 p.

7. Korn G.A. Mathematical Handbook for Scientists and Engineers: Definitions, Theorems, and Formulars for Reference and Reviews. / G.A. Korn, T.M. Korn. − General Publishing Company, 2000. − 1151 p.

8. Mordecai Avriel. Nonlinear Programming: Analysis and Methods. / Avriel Mordecai. − Dover Publishing, 2003.− 1183 p.

9. Ross I.M. A Primer on Pontryagin's Principle in Optimal Control. / Ross I.M. − Collegiate Publisher, 2009.− 102 p.

10. Ruszczynski A. Nonlinear Optimization. / A. Ruszczynski. − Princeton, NJ: Princeton University Press, 2006.− 448 p.

11. Shlyun N.V., Gulyayev, V.I. (2020).Buckling of a drill-string in two-sectional bore-holes. / N.V. Shlyun, V.I. Gulyayev // International Journal of Mechanical Sciences, − 172. − 105427.

12. Stengel, R.F. Optimal Control and Estimation. New York: Dover (Courier), 1994.− 639 p.

REFERENCES

1.Gulyayev, V.I., Bazhenov, V.A., Koshkin, V.L., (1988). *Optimal`noe upravlenie dvizheniem mekhanicheskikh sistem* [Optimal Control of Mechanical Systems Motion]. Kyiv : UMK VO [in Russian].

2.Bazaraa, Mokhtar S. (2013). *Nonlinear Programming: Theory and Algorithms*. (3 ed): Wiley Publishing.

3.Bertsekas, Dimitri P. (2016). *Nonlinear Programming* (Third ed.). Cambridge, Massachussets. Athena Scientific.

4.Betts, J.T. (2016). *Practical Methods for Optimal Control Using Nonlinear Programming* (2nd ed.). Philadelphia, Pennsylvania: SIAM Press.

5.Gulyayev, V., Glazunov, S., Shlyun, N., et. al. (2019). *Modelling Emergency Situations in the Drilling of Deep Boreholes*. Cambridge Scholars Publishing.

6.Himmelblau, David M. (1972). *Applied Nonlinear Programming*. The University of Texas, Austin, Texas: Mc Graw-Hill Book Company.

7.Korn, G.A., Korn, T.M. (2000). *Mathematical Handbook for Scientists and Engineers: Definitions, Theorems, and Formulars for Reference and Reviews*. General Publishing Company.

8.Mordecai, A. (2003). *Nonlinear Programming: Analysis and Methods*. Dover Publishing.

9.Ross, I.M. (2009). *A Primer on Pontryagin's Principle in Optimal Control*. Collegiate Publisher.

10.Ruszczynski Andrze (2006). *Nonlinear Optimization. Princeton*, NJ: Princeton University Press.

11.Shlyun, N.V., Gulyayev, V.I. (2020). Buckling of a drill-string in two-sectional bore-holes. International. *Journal of Mechanical Sciences*, 172, 105427.

12.Stengel, R.F. (1994). *Optimal Control and Estimation*. New York: Dover (Courier) ISBN 0-486-68200-5.

РЕФЕРАТ

Гуляєв В.І. Оптимальне трасування траєкторій глибоких свердловин методами нелінійного програмування / В.І. Гуляєв, Н.В. Шлюнь // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

Питання раціонального (оптимального) трасування траєкторії нафтових і газових свердловин, мабуть, є одним з небагатьох напрямків нафтогазової галузі, в якому досі не використовуються методи оптимального управління та нелінійного програмування. При цьому застосування цих методів дозволяє спроектувати більш гладкі та короткі траєкторії з меншими ризиками виникнення в них позаштатних ситуацій, що призводять до резонансних коливань системи, випинання бурильної колони та її прихватів. Крім того в таких колонах покращуються умови гідродинамічного та аеродинамічного перебігу робочого тіла, і зменшується ймовірність утворення тромбів та пробок.

У цій роботі запропоновано новий підхід для оптимального проектування траєкторій криволінійних свердловин заснований на застосуванні методу антиградієнтного спуску, сформульовані розв'язувальні рівняння, розроблені алгоритми їх вирішення, розглянуто практичний приклад, показано, що розв'язання цієї задачі призводить до зменшення загальної кривизни свердловини та її довжини.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ГЛИБОКІ СВЕРДЛОВИНИ, ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАЄКТОРІЇ СВЕРДЛОВИН, МЕТОД АНТИГРАДІЄНТНОГО СПУСКУ, ЦІЛЬОВІ ФУНКЦІЇ, НЕЛІНІЙНЕ ПРОГРАМУВАННЯ.

ABSTRACT

Gulyayev V.I., Shlyun N.V. Optimal tracing of deep borehole trajectories by nonlinear programming methods. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The issues of rational (optimal) trajectory trajectory of oil and gas wells are apparently one of the few areas of the oil and gas industry that still does not use optimal control and nonlinear programming methods.

At the same time, the use of these methods makes it possible to design smoother and shorter trajectories with less risk of emergency situations occurring in them, leading to resonant vibrations of the system, buckling of the drill string and its sticking. In addition, in such columns, the conditions for the hydrodynamic and aerodynamic flow of the working fluid are improved, and the likelihood of the formation of blood clots and plugs is reduced.

In this paper, a new approach for the optimal design of curved well trajectories based on the application of the anti-gradient descent method is proposed, resolving equations are formulated, algorithms for their solution are developed, a practical example is considered, and it is shown that solving this problem leads to a decrease in the total curvature of the well and its length.

KEYWORDS: DEEP BOREHOLE, BOREHOLE TRAJECTORY OPTIMIZATION, ANTI-GRADIENT RUNING METHOD, OBJECTIVE FUNCTIONS, NONLINEAR PROGRAMMING.

АВТОРИ:

Гуляєв Валерій Іванович, доктор технічних наук, Національний транспортний університет, професор, e-mail: valery@gulyayev.com.ua, тел. +38(044) 280-71-09, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, orcid.org/0000-0002-5388-006X.

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.

AUTHORS:

Gulyayev V.I., Dr. Sci., National Transport University, tel. +38(044) 280-71-09, Ukraine, 01103, Kyiv, Boichuk str., 42, e-mail: valery@gulyayev.com.ua, orcid.org/0000-0002-5388-006X

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

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гайдайчук В.В., доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури, завідувач кафедри теоретичної механіки, Київ, Україна.

Мозговий В. В., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, 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.

Mozgovyy V.V., Dr. Sci., (Engineering), Professor, National Transport University, Head of Department of Road Construction Materials and Chemistry, Kyiv, Ukraine.

УДК 303.519.8 DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-134-140
UDC 303.519.8

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ПРОБЛЕМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

Гульчак О.Д., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, hulchakoksana@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8186-4529

Ткаченко І.О., кандидат технічних наук, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, Україна, iryna.tkachenko2017@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5350-0776

Шапенко Є.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, yevheniia.shapenko@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0937-9400

USE OF METHODS OF SYSTEM ANALYSIS IN THE STUDY OF PROBLEMS OF INTELLECTUAL TRANSPORT SYSTEMS

Gulchak O., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, hulchakoksana@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8186-4529

Tkachenko I., Ph.D., Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine, iryna.tkachenko2017@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5350-0776

Shapenko Y., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, yevheniia.shapenko@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0937-9400

Постановка проблеми. Постійне зростання рівня автомобілізації у містах спричинило ряд проблем функціонування транспортних систем – зниження швидкості руху автомобілів та регулярним заторам. Неможливість задовольнити заданий рівень попиту на перевезення негативно відображається на різних сферах економки як окремого міста, так і країни загалом.

Застосування інтелектуальних транспортних систем (ІТС) є одним з актуальних способів вирішення наявних транспортних проблем. Використання ІТС підвищить якість транспортного обслуговування, забезпечить безпеку дорожнього руху та розширить можливості задоволення зростаючого попиту на пасажирські та вантажні перевезення.

Успішний перехід до сталої мобільності пов'язаний із впровадженням нових підходів у розвитку існуючих транспортних систем. Прийняття одних лише традиційних заходів щодо поліпшення транспортних систем вже недостатньо для вирішення системних і взаємопов'язаних проблем, що накопичилися. Інтелектуальні транспортні системи сприятимуть зменшенню негативних аспектів існуючих транспортних систем, а також гарантують їх перехід на той рівень, де забезпечуватимуться загальний доступ і прийнятну за ціною мобільність для кожної людини окремо і суспільства в цілому.

Також слід відмітити, що удосконалення транспортних систем повинно забезпечувати більш високий рівень безпеки та надійності транспортного процесу та мінімізувати шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Впровадження ІТС покликано активно впливати на сталу мобільність та максимально забезпечувати ефективність транспортних послуг.

Аналіз останніх досліджень. Проблематикою інтелектуальних транспортних систем приділяється велика увага з боку вітчизняних та зарубіжних вчених таких, як Поліщук В.П., Єресов В.І., Комаров В.В., Меренков А.О., Маркелов В.М., Франке С., та інших

Недостатність досліджень саме в сфері використання ІТС, реалізованого за допомогою методів та засобів системного аналізу вказує на актуальність даного дослідження.

Формулювання цілей статті. Метою статті є проведення аналізу доцільності використання методів системного аналізу при дослідженні проблем інтелектуальних транспортних систем.

Виклад основного матеріалу. Стрімкий розвиток міст та збільшення кількості автомобілів є глобальною причиною існуючих проблем транспортних систем. Розвиток техніки та технології, а також активне впровадження цифрової інформації в життя суспільства має на меті підвищення якості життя в містах. Активне інтегрування цифрових технологій в транспортній галузі має назву «Інтелектуальні транспортні системи» [1].

Різновид використання інтелектуальних транспортних систем варіюється від засобів транспортної телематики, систем супутникового моніторингу, до безпосереднього застосування засобів інтелектуального забезпечення на автомобільних дорогах, серед яких – габаритний та ваговий контроль, дорожні метеорологічні станції і таке інше.

Головною задачею використання інтелектуальних транспортних систем є реалізація та використання автоматизованих та автоматичних систем взаємодії на всіх рівнях транспортних систем. Функція інтелектуальності ІТС забезпечується за рахунок максимально можливої автоматизації процесів управління транспортною системою, вироблення прогнозних керуючих рішень на основі високоефективних апаратно-програмних реалізацій [2, 3].

Аналіз сучасного стану проблем транспортних систем (рисунок 1) виявив, що серед головних причин цих проблем можна відмітити недостатню потужність транспортної інфраструктури, а також в значній мірі недостатній рівень організації дорожнього руху та управління транспортними потоками. Інтелектуальні транспортні системи можна розглядати як дієвий засіб вирішення найбільш актуальних проблем транспорту.

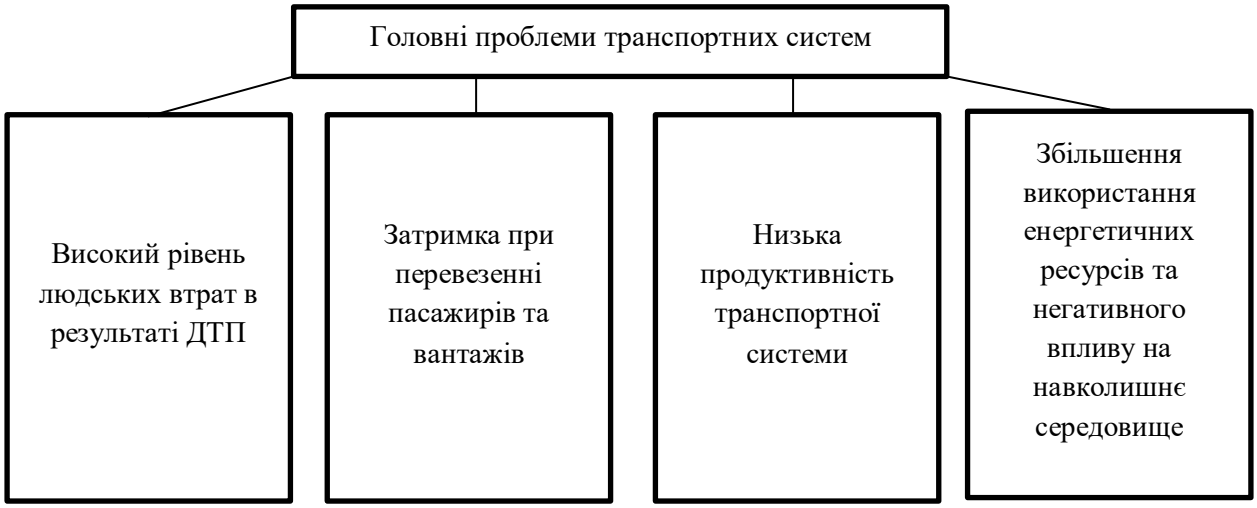


Рисунок 1 – Головні проблеми транспортної галузі
Figure 1 – The main problems of the transport industry

В свою чергу, розробка та застосування ІТС є стимулом для розвитку наступних інновацій в транспортних системах:

- технології створення інтелектуальних систем моніторингу та управління;
- створення нових транспортних систем та технологій управління;
- зниження ризиків виникнення техногенних катастроф та зменшення їх наслідків [1, 2].

Аналіз проблем функціонування транспортної системи передбачає використання системного підходу [3, 4].

Під системним аналізом слід розуміти метод наукового дослідження цілого об’єкту шляхом розчленування його на складові частини. Процеси дослідження в системному аналізі, виконані у взаємозв'язку з його складовими частинами, що мають суттєві відмінності від інших видів аналізу, наприклад, математичного. Можна вважати, що системний аналіз – основний інструментарій дослідження складних систем та їх частин, призначений для ухвалення комплексних обґрунтованих рішень.

У системному аналізі проводяться всебічні цілісні дослідження, як усієї системи, так і її складових елементів та зв'язків. Ці дослідження дозволяють виявити властивості, кількісні характеристики, стани системи, її можливості функціонування та ін. параметри характеристик, показники станів, її складових, зв'язків системи та ін., та дозволяють отримати систему з найкращими показниками та властивостями [5].

Управління у технологічній системі – організуюча функція, що забезпечує збереження структури, підтримка режиму функціонування, реалізацію програм та цілей системи.

Управління може бути простим (управління відправкою автомобіля) та складним (управління процесом перевезень на автомобільному транспорті). З позицій керованості технологічні системи можуть бути керованими та некерованими. Наприклад, якщо технологічний процес реалізується за суворим розпорядженням, тоді його алгоритм дій не передбачає управління.

Особливості інтелектуальних транспортних систем наведено на рисунку 2:

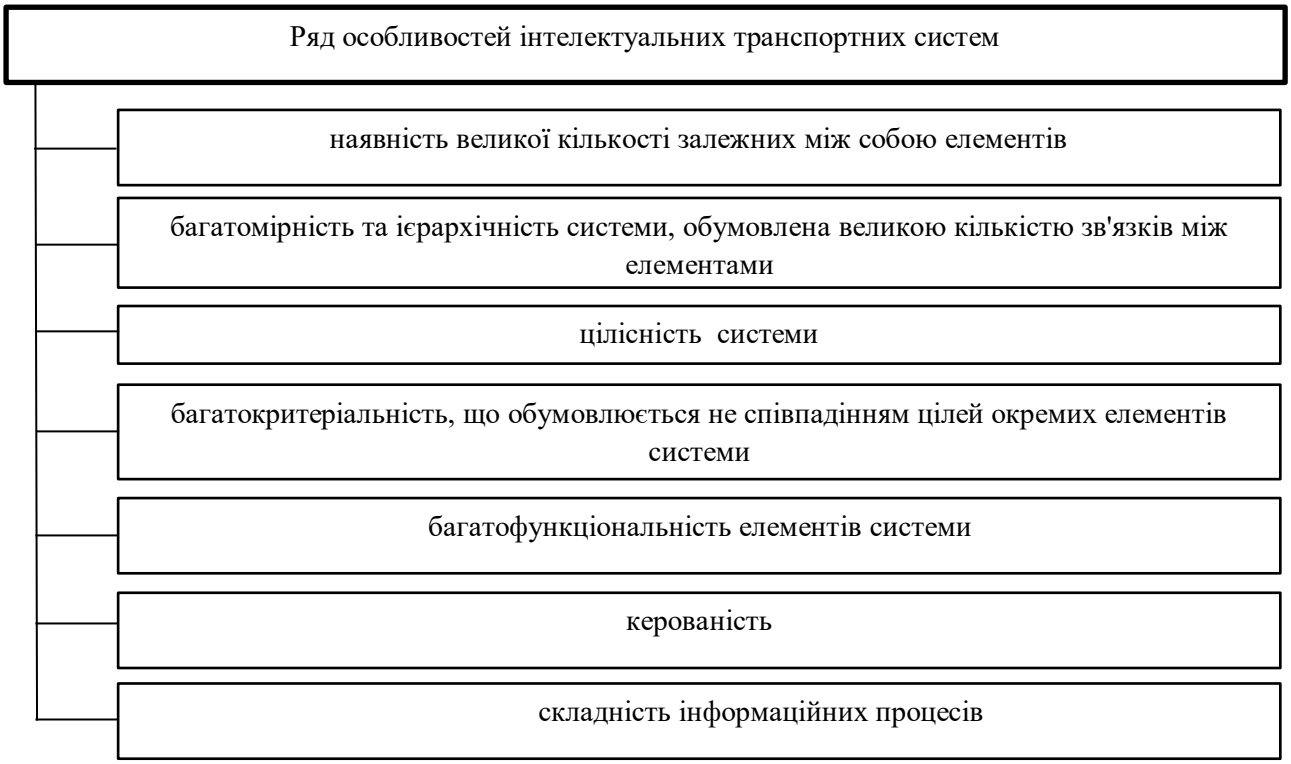


Рисунок 2 – Особливості інтелектуальних транспортних систем
Figure 2 – Features of intelligent transport systems

Функції інтелектуальних транспортних систем представлено на рисунку 3:

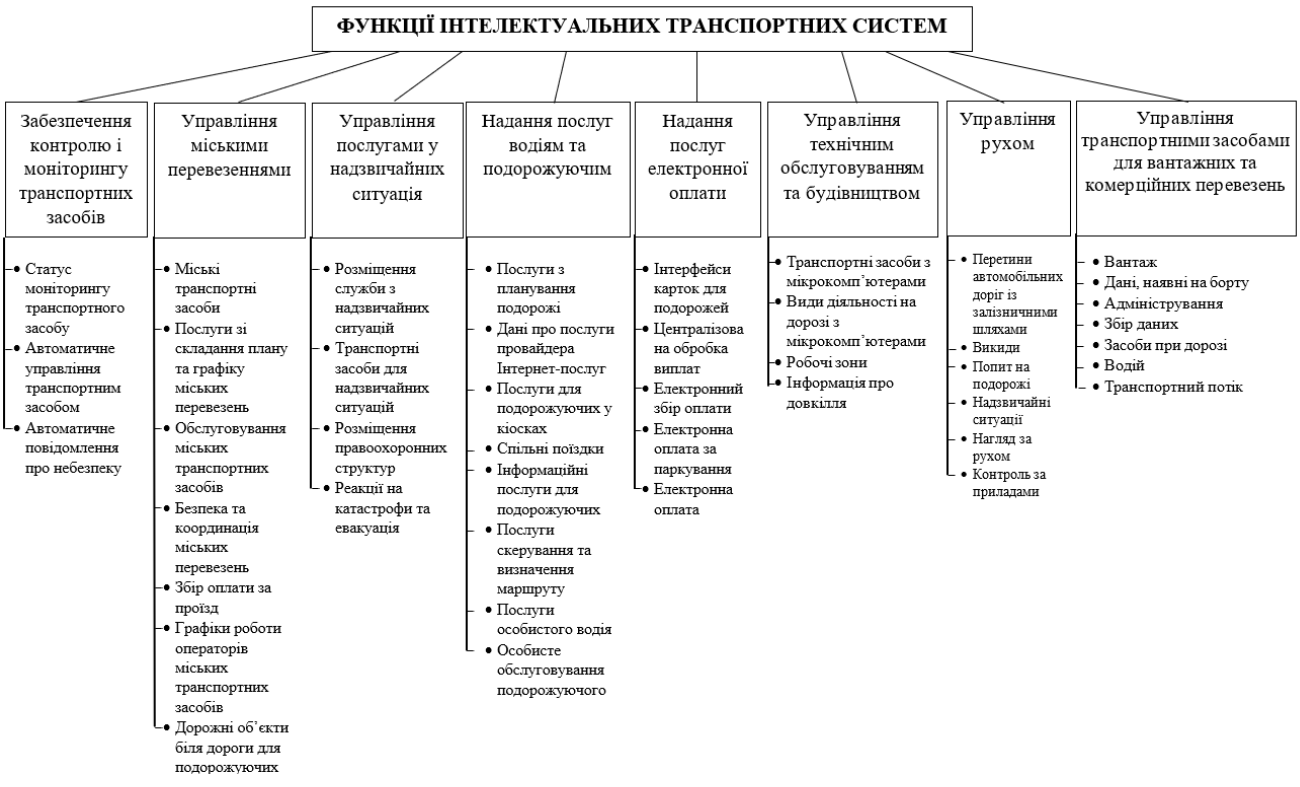


Рисунок 3 – Функції інтелектуальних транспортних систем
Figure 3 – Functions of intelligent transport systems

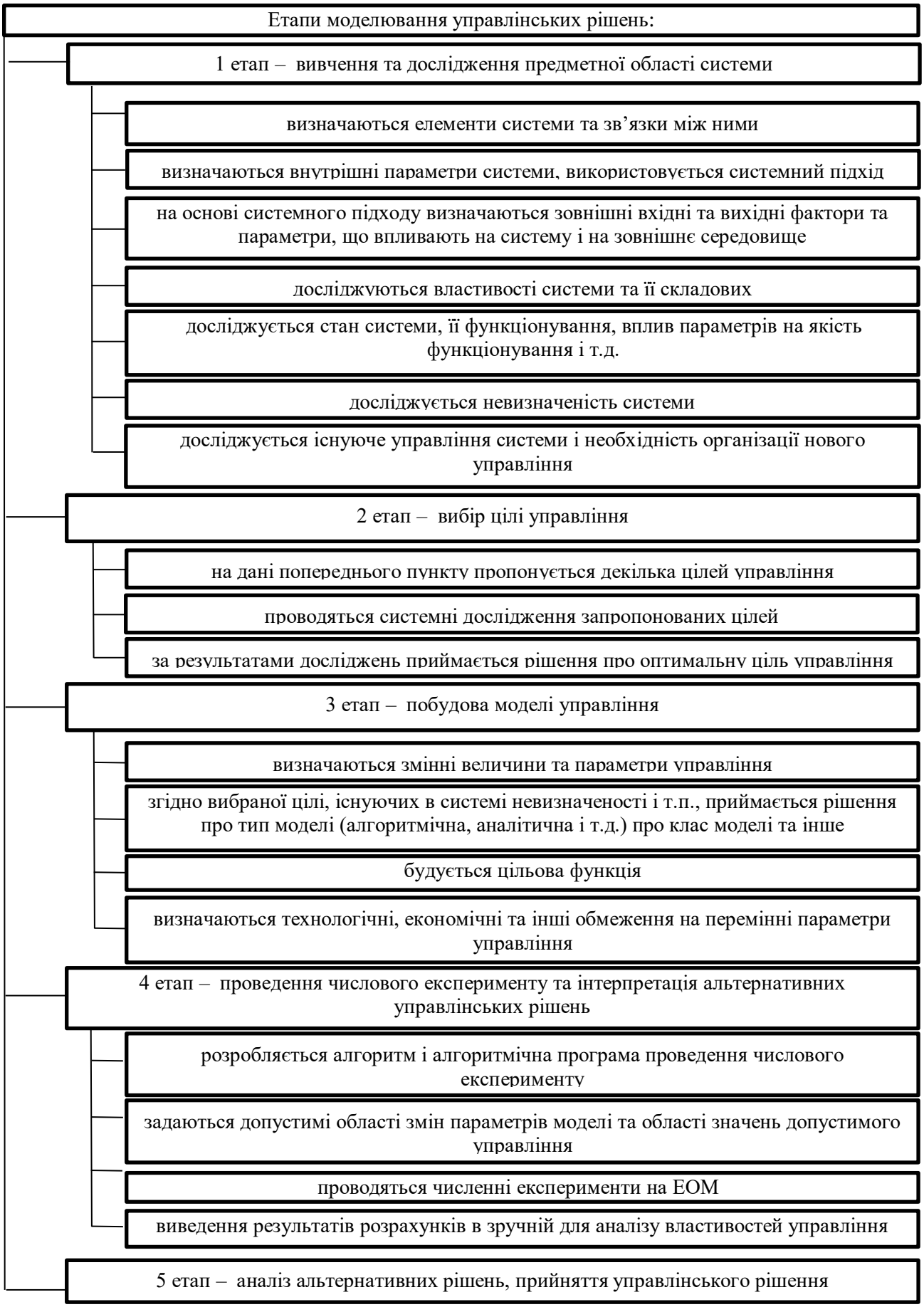


Рисунок 4 – Етапи моделювання управлінських рішень
Figure 4 – Stages of modeling management decisions

Модель управління у системному аналізі також піддається дослідженням щодо складу структури, складності зв'язків, кількості керуючих факторів та параметрів, їх взаємозв'язку, організації управління системами та підсистемами . [5].

Система управління, у структурі якої дотримується відношення підпорядкування на зв'язках за заданою ознакою, називається ієрархічної. Під гнучкістю розуміють здатність системи до адаптації (пристосовуваності) станів, поведінки та ін. при зміни її параметрів. Наприклад, усуваючи зв'язок або декілька зв'язків у ієрархії управління інтелектуальної транспортної системи при її централізації, знижується початкова гнучкість управління, що може призвести до порушення оперативності збору та обробки інформації та ін.

Процес управління технологічною системою може бути послідовний, синхронний, паралельний та інший, при цьому управлінські дії може виконувати людина або механізм програмі керування. Розробка програми управління поведінкою системи – одне з сутностей управління.

Як видно з рисунку 3, ІТС є складною динамічною ієрархічною та стохастичною системою, що складається з численних взаємодіючих та взаємопов'язаних розподілених компонент. Також, ІТС є синергією транспортних, матеріальних, інформаційних, фінансових та інших потоків і процесів, що утворюють адаптивну систему, що включає об'єкт і суб'єкт управління. При формуванні транспортної інфраструктури необхідно використовувати логістичні концепції, що реалізують загальну стратегічну чи оперативну мету функціонування компонент системи за оптимального використання у системі транспортних, матеріальних, фінансових, інформаційних та трудових ресурсів, а також узгодження локальних критеріїв функціонування компонентів ІТС з глобальною метою оптимізації [6, 7].

Апарат наукових та прикладних досліджень систем є їх інтелектуальним ядром. Для інтелектуальних транспортних систем ядро утворюють: системний підхід до вирішення складних багатозначних транспортних питань та системний аналіз, що дозволяє всебічно аналізувати транспортні системи для прийняття прийнятних рішень.

Як відомо, рішення дослідницьких та технологічних завдань вимагає знання предмета, методики проведення технологічних досліджень та ін. Вище (рис. 4) наведені етапи моделювання управлінських досліджень.

Для технологічних систем основною метою використання системного аналізу є модернізація виробництва, технологічних процесів, надійності обладнання, підвищення конкурентних можливостей, розробка оптимальних управлінських рішень та іншого. Інструментарієм вирішення цих завдань є складові частини системного аналізу: дослідження операцій, стратегій ієрархій прийняття рішень на основі логістики, ігор вибору з різними інтересами та ін.

Штучні транспортні системи повинні адаптувати системні ресурси до природних систем, таким чином, як надзвичайна ситуація, самоорганізація, ієрархія, інформативність тощо. Тому такі та інші категорії також є об'єктами вивчення системних аналіз.

Отже, ІТС є синтезом суб’єктів і об’єктів логістичного управління, які є економічно та функціонально відособленими, мають свої організаційно функціональні структури і критерії функціонування, але характеристики підсистем в загальному випадку можуть не співпадати з глобальної ціллю функціонування цієї складної системи.

Висновки: Інтелектуальні транспортні системи можна розглядати як важливу складову системного підходу до підвищення якості функціонування транспортних систем. За допомогою використання ІТС стає можливим моделювання різних подій та прогнозування небезпечних ситуацій. Інтелектуальні транспортні системи є дієвим інструментом моделювання функціонування транспортних систем, а також дають можливість для вирішення складних соціальних та економічних проблем.

ІТС є дієвим інструментом ухвалення рішень в умовах великих масивів даних. Це важлива складова комплексного підходу до підвищення ефективності функціонування транспортної системи із значним розширенням інформаційної інфраструктури: збір, передачу, обробку та зберігання інформації про стан транспортної системи в режимі реального часу та оперативне диспетчерське координування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Телематичне управління дорожнім рухом: навч.посібн./Єресов В.І., Григор’єва О.В. – К.: НТУ,2017. – 120 с.

2. Аникин Б. А. Логистика : учебн. пособ. / под ред. Б. А. Аникина. – М. : ИНФРА-М, 2014. – 218 с

3. Транспортні технології в системах логістики / [М. Ф. Дмитриченко, П. Р. Левковець, О. С. Ігнатенко та ін.]. – Київ: ІНФОРМАВТОДОР, 2007. – 676 с.

4. Крикавський Є. В. Логістика. Для економістів: Підручник / Є. В. Крикавський. — Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2004. — 448 с.

5. Сток Дж. Р., Ламберт Д. М. Стратегическое управление логистикой : Пер. с 4-го англ. изд. — М.: ИНФРА-М, 2005, — 797 с.

6. Основи теорії систем і системного аналізу / Б. М.Четверухін, П. Р. Левковець, О. І. Мельниченко, О. Б. Четверухіна. – Київ: НТУ, 2004. – 272 с.

7. Хрустальова В.В. Транспортна сфера України: аналіз стану та шляхи підвищення конкурентоспроможності [Електронний ресурс]/ В.В. Хрустальова // Економіка. Управління. Інновації. – 2013. – № 1. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/eui/2013/1/64.pdf

REFERENCES

1. Telematichne upravlinnya dorozhnim ruhom: navch.posibn./Єresov V.I., Grigor’єva O.V. – K.: NTU,2017. – 120 s.

2. Anikin B. A. Logistika : uchebn. posob. / pod red. B. A. Anikina. – M. : INFRA-M, 2014. – 218 s

3. Transportni tekhnologiї v sistemah logistiki / [M. F. Dmitrichenko, P. R. Levkovec', O. S. Ignatenko ta in.]. – Kiїv: INFORMAVTODOR, 2007. – 676 s.

4. Krikavs'kij Є. V. Logistika. Dlya ekonomistiv: Pidruchnik / Є. V. Krikavs'kij. — L'viv: Vid-vo Nac. un-tu «L'vivs'ka politekhnika», 2004. — 448 s.

5. Stok Dzh. R., Lambert D. M. Strategicheskoe upravlenie logistikoj : Per. s 4-go angl. izd. — M.: INFRA-M, 2005, — 797 s.

6. Osnovi teoriї sistem i sistemnogo analizu / B. M.CHetveruhin, P. R. Levkovec', O. I. Mel'nichenko, O. B. CHetveruhina. – Kiїv: NTU, 2004. – 272 s.

7. Hrustal'ova V.V. Transportna sfera Ukraïni: analiz stanu ta shlyahi pidvishchennya konkurentospromozhnosti [Elektronnij resurs]/ V.V. Hrustal'ova // Ekonomika. Upravlinnya. Innovaciї. – 2013. – № 1. – Rezhim dostupu: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/eui/2013/1/64.pdf

РЕФЕРАТ

Гульчак О.Д. Використання методів системного аналізу при дослідженні проблем інтелектуальних транспортних систем / О.Д. Гульчак, І.О. Ткаченко, Є.М. Шапенко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

В цій статті розглянуто використання системного аналізу для вивчення проблем інтелектуальних транспортних систем. Визначено основні проблеми транспортних систем та наведено основні функції інтелектуальних транспортних систем.

Об’єкт дослідження – інтелектуальні транспортні системи.

Мета дослідження – проаналізувати доцільність використання методів системного аналізу при дослідженні проблем інтелектуальних транспортних систем..

Основною перевагою інтелектуальних транспортних систем є моделювання різноманітних подій і прогнозування небезпечних ситуацій. Ці системи є важливою складовою системного підходу до підвищення ефективності транспортної системи країни. Відсутність досліджень у сфері ІТС, реалізованих за допомогою методів та інструментів системного аналізу, свідчить про актуальність даного дослідження.

Встановлено, що інтелектуальні транспортні системи – це важлива складова комплексного підходу до підвищення ефективності функціонування транспортної системи із значним розширенням інформаційної інфраструктури: збір, передачу, обробку та зберігання інформації про стан транспортної системи в режимі реального часу та оперативне диспетчерське координування.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТРАНСПОРТ, ТРАНСПОРТНІ ПРОБЛЕМИ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ, СИСТЕМНИЙ ПІДХІД, ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА.

ABSTRACT

Gulchak O., Tkachenko O., Shapenko Y. The use of methods of system analysis in the study of problems of intelligent transport systems. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

This article discusses the use of systems analysis to study the problems of intelligent transport systems. The main problems of transport systems are identified and the main functions of intelligent transport systems are given.

The object of research is intelligent transport systems.

The purpose of the study – to analyze the feasibility of using methods of systems analysis in the study of problems of intelligent transport systems.

The main advantage of intelligent transport systems is the simulation of various events and forecasting of dangerous situations. These systems are an important component of a systematic approach to improving the efficiency of the country's transport system. The lack of research in the field of ITS, implemented using methods and tools of systems analysis, indicates the relevance of this study.

It is established that intelligent transport systems are an important component of an integrated approach to improving the efficiency of the transport system with a significant expansion of information infrastructure: collection, transmission, processing and storage of information about the transport system in real time and operational dispatch coordination.

KEY WORDS: TRANSPORT, TRANSPORT PROBLEMS, SYSTEM ANALYSIS, SYSTEM APPROACH, TRANSPORT SYSTEMS, INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM.

АВТОРИ:

Гульчак О.Д., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, hulchakoksana@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8186-4529

Ткаченко І.О., кандидат технічних наук, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, Харків, Україна, iryna.tkachenko2017@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5350-0776

Шапенко Є.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, yevheniia.shapenko@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0937-9400

AUTOR:

Gulchak O., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, hulchakoksana@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8186-4529

Tkachenko I., Ph.D., Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine, iryna.tkachenko2017@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5350-0776

Shapenko Y., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, yevheniia.shapenko@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0937-9400

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Іванченко В.І., доктор економічних наук, завідувач відділу Обгрунтування інвестицій ДП «ДерждорНДІ».

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

REVIEWER:

Ivanchenko V.I Ph.D., Economics (Dr.), Head of the Investment Rationale Department of the State Research Institute.

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

УДК 656.338.12 DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-141-148
UDC 656.338.12

ПРОЕКТУВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

Гурч Л.М., кандидат економічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, lyudmila.gurch@ukr.net, orcid.org/ 0000-0003-3199-0695

DESIGN OF LOGISTICS TRANSPORT SYSTEMS

Gurch L.M., Ph.D., National Transport University, Kiev, Ukraine, lyudmila.gurch@ukr.net, orcid.org/ 0000-0003-3199-0695

Постановка проблеми.

Після переходу України до ринкової економіки є актуальним дослідження ринку транспортних послуг, аналіз закономірностей, особливостей і проблем становлення цього ринку, визначення пріоритетних напрямків розвитку. Актуальність теми полягає в тому, що зовнішнє середовище логістичних транспортних систем, в якому відбуваються логістичні операції, неперервно змінюється під впливом зміни ринків та умов конкуренції, зміни постачальників і розвитку транспортно-технологічних технологій. Для того щоб господарча стратегія не відставала від цих змін зовнішнього середовища, будь-якій логістичній транспортній системі необхідна методологія систематичного планування і проектування логістичної транспортної системи, яка дозволяє враховувати різні ринкові ситуації, а також оцінювати альтернативи майбутнього розвитку обставин. Якість та ефективність перевезень залежать від оптимізації процесів координації роботи різних видів транспорту, розподілу обсягів перевезення, проектування логістичних транспортних систем та чітке формування необхідних управлінських рішень.

Проблема проектування логістичних транспортних систем є актуальною в транспортній галузі, тому потребує розгляду.

Аналіз останніх публікацій. Дослідженню проблем та питанням розвитку, теоретико-методичним засадам транспортних логістичних систем України займається досить велика кількість вітчизняних вчених. Вагомий внесок у теорію і практику зробили: М.Ф. Дмитриченко [5], Г.С. Прокудін [1], Є.В. Крикавський, М.Ю. Григорак, М. П. Денисенко [7] та інші.

Мета статті: Розгляд і оглядовий аналіз теоретичних аспектів організації і проектування логістичних транспортних систем.

Основна частина.

У ринкових умовах господарювання практично всі підприємства потребують професійного підходу до управління перевізними процесами в організаційному розвитку для забезпечення конкурентоздатності ринку транспортних послуг України.

Аналіз наявних у вітчизняній і світовій практиці підходів до оптимізації перевезень пасажирів і вантажів у логістичних транспортних системах виявив низку недоліків:

– неспроможність планувати перевезення пасажирів і вантажів із довільно орієнтованою матрицею транспортних кореспонденцій;

– наявність істотних обмежень на розмірність розв'язуваних транспортних завдань;

– недостатнє використання в перевізному процесі технологій спільної взаємодії різних видів транспорту;

– неможливість чіткої математичної формалізації більшості методів оптимізації перевезень на транспортних мережах , що у свою чергу приводить до неможливості використання сучасних засобів інформаційних технологій.[1, 25].

Особливості проектування логістичних транспортних систем звертають увагу на дотримання вимог законодавства України, на вивчення необхідних документів, які пов’язані з перевезення вантажів та пасажирів.

Транспорт є однією з найважливіших галузей суспільного виробництва і покликаний задовольняти потреби населення та суспільного виробництва в перевезеннях. Розвиток і вдосконалення транспорту здійснюється відповідно до державних цільових програм з урахуванням його пріоритету та на основі досягнень науково-технічного прогресу і забезпечується державою. Державне управління в галузі транспорту має забезпечувати: своєчасне, повне та якісне задоволення потреб населення і суспільного виробництва в перевезеннях та потреб оборони України; захист прав громадян під час їх транспортного обслуговування; безпечне функціонування транспорту;

додержання необхідних темпів і пропорцій розвитку національної транспортної системи;захист економічних інтересів України та законних інтересів підприємств і організацій транспорту та споживачів транспортних послуг; створення рівних умов для розвитку господарської діяльності підприємств транспорту; обмеження монополізму та розвиток конкуренції; координацію роботи різних видів транспорту; ліцензування окремих видів діяльності в галузі транспорту;охорону навколишнього природного середовища від шкідливого впливу транспорту. Державне управління діяльністю транспорту здійснюється шляхом проведення та реалізації економічної (податкової, фінансово-кредитної, тарифної, інвестиційної) та соціальної політики, включаючи надання дотацій на пасажирські перевезення.

Єдина транспортна система повинна відповідати вимогам суспільного виробництва та національної безпеки, мати розгалужену інфраструктуру для надання всього комплексу транспортних послуг, у тому числі для складування і технологічної підготовки вантажів до транспортування, забезпечувати зовнішньоекономічні зв'язки України. [3]

Поняття логістичної системи є одним із базових понять логістики. Існують різні системи, які забезпечують функціонування економічного механізму. В цій множині необхідно розрізняти саме логістичні системи з метою їх аналізу та удосконалення. Сукупність ланцюгів різних каналів утворює загальну систему – логістичну мережу. Зазначимо, що ключовим тут є слово «логістичну», процес доведення матеріального потоку – це не лише фізичний розподіл (фізична наявність продукції в певному місці), а й управління вартісними складовими цього процесу (яку суму грошових коштів необхідно акумулювати для здійснення транспортування, складування), інформаційними тощо. Отже, у процесі трансформації матеріального потоку беруть участь одразу кілька підрозділів підприємства: фінансовий відділ, бухгалтерія, відділ аналітики – інформаційний, збутовий, відділ постачання, маркетинговий і виробництво (якщо це виробниче підприємство). Усі вони разом з логістичною мережею утворюють логістичну систему.

Отже, логістична система – це сукупність операцій фізичного та адміністративного (вартісного, інформаційного) обслуговування процесу трансформації матеріального потоку в межах логістичної мережі, спрямованих на досягнення поставленої мети підприємства. Подібне визначення знову ж таки розширює компетенції виключно «логістики», оскільки враховує вже ряд не лише логістичних операцій (обмін інформацією, грошовими зобов'язаннями тощо). Але це одна з ключових рис поняття «система». Окреслення меж логістичної системи необхідне не для теоретизації, а для віднайдення оптимальної концепції управління як у середині кожного окремого підприємства мережі, так і у взаємозв'язку з іншими її представниками.

Є багато класифікацій логістичних систем, одна з яких наведена на рис. 1. [4, 43-44].

Логістичні системи класифікуються за такими ознаками.

1. За ознакою просторового обмеження логістичні системи поділяються на два типи: макрологістичні, мікрологістичні. Виділяють такі макрологістичні системи:регіональні;національні (міжрегіональні); міжнаціональні. Створення макрологістичних систем зумовлене необхідністю забезпечити чітку взаємодію різногалузевих структур з метою поліпшення економічного стану на глобальному рівні. Під час створення макрологістичних систем особливу увагу приділяють взаємопогодженню інтересів кожного учасника незалежно від його ролі у створеній системі. Цілі створення макрологістичних систем можуть значно відрізнятися від цілей і критеріїв синтезу мікрологістичних систем. У більшості випадків критерій мінімуму загальних логістичних витрат використовується і під час синтезу макрологістичних систем. Таким чином, макрологістична система є високоінтегрованою інфраструктурою економіки регіону, країни або групи країн.

2. Залежно від виду логістичних ланцюгів у каналах розподілу, логістичні системи поділяються: на логістичні системи з прямими зв'язками – системи, в яких матеріальний потік доводиться до споживача без посередників, на основі прямих господарських зв'язків; ешелоновані (багаторівневі) логістичні системи – системи, в яких матеріальний потік доводиться до споживача за участю як мінімум одного посередника;гнучкі логістичні системи – системи, в яких доведення матеріального потоку до споживача здійснюється як за прямими зв'язками, так і за участю посередників. Відповідно, від логістичної системи певного підприємства, її місця в загальній макрологістичній системі буде залежати як щільність співпраці окремих її ланок, так і взаємодія із зовнішнім середовищем, а як наслідок – формування конкретного стандарту менеджменту, вибір певної концепції управління та інформаційної технологи для здійснення цього управління.

Щоб визначити найбільш оптимальну логістичну транспортну систему, необхідно розробити її проект. Для цього слід означити три стани: виявлення проблем, планування шляхів їх вирішення і розробка пропозицій щодо створення проекту.

Проектування та планування логістичної транспортної системи необхідно починати зі всебічної оцінки поточної ситуації. Мета полягає в тому, щоб зрозуміти зовнішнє середовище, процес і характерні характеристики існуючої системи, а також визначити, які зміни необхідні. Це можна зробити, провівши ситуаційний аналіз, котрий дає змогу вивчати внутрішній устрій логістичної системи, оцінювати ринкове та конкурентне середовище. Вивченню підлягає увесь логістичний процес і кожна логістична функція окремо. Зміст дослідження залежить від потрібної глибини аналізу.



Рисунок 1 – Класифікація логістичних систем [4, 43-44]
Figure 1 – Classification of logistics systems

Принципи формування логістичної системи: а) забезпечення прийнятних для клієнтів строків і вартості доставки вантажів; б) забезпечення високої точності виконання встановлених строків доставки вантажів, розширення сфери застосування технології just in time; в) використання при перевезеннях вантажів логістичних технологій, що забезпечують оптимізацію руху товаропотоків, узгодження процесів перевезення й складського зберігання вантажів; г) більш раціональне використання наявної транспортної інфраструктури за рахунок підвищення продуктивності транспортних засобів; д) забезпечення економії витрат енергії за рахунок переключення перевезень на менш енергоємні види транспорту; є) поліпшення екологічної обстановки за рахунок зменшення екологічно шкідливих викидів і вихлопних газів, а також зниження рівня шуму; є) зниження кількості дорожньо-транспортних випадків, запобігання перевантаженості автомобільних доріг за рахунок переключення перевезень автопотягів на інші види транспорту; ж) загального впорядкування процесів керування, структури й потоків інформації, обов'язків посадових осіб. [5, 167-168]

Мета проектування логістичних транспортних систем – це бажаний стан логістичної транспортної системи загалом. Цілі зумовлюють формування критеріїв для оцінки результативності дій, встановлюють стандарти, порівняно з якими оцінюється досягнута ефективність і визначається загальний орієнтир майбутньої діяльності підприємства. Базуються цілі на гіпотезах розвитку системи в майбутньому і їх обґрунтованість залежить від точності цих гіпотез. Якщо мету не визначено, проблему сформулювати неможливо, а без неї відпадає потреба в пошуку розв'язку проблеми [6,75-76].

Для аналізу і проектування логістичних транспортних систем були розроблені і апробовані багато методологічних принципів. основними з яких в даний час [7, 51-52] є:

– системний підхід, який виявляється в розгляді всіх елементів логістичної системи як взаємопов'язаних і таких, що взаємодіють для досягнення єдиної мети управління. Відмінною особливістю системного підходу є оптимізація функціонування не окремих елементів, а всієї логістичної системи в цілому;

– принцип загальних витрат, тобто облік всієї сукупності витрат управління матеріальними і пов'язаними з ними інформаційними і фінансовими потоками в логістичному ланцюзі. Як правило, критерій мінімуму загальних логістичних витрат є однією з основних при оптимізації логістичних систем;

– принцип глобальної оптимізації. При оптимізації структури або управління в проектованій логістичній системі необхідне узгодження локальних цілей функціонування елементів (ланок) системи для досягнення глобального оптимуму;

– принцип логістичної координації і інтеграції. В процесі логістичного менеджменту необхідне досягнення узгодженої, інтегральної участі всіх ланок логістичної системи (ланцюги) в управлінні матеріальними (інформаційними, фінансовими) потоками при реалізації цільової функції;

– принцип моделювання і інформаційно–комп'ютерної підтримки. При аналізі, проектуванні і оптимізації об'єктів і процесів в логістичних транспортних системах і ланцюгах широко використовуються різні моделі: математичні, економіко–математичні, графічні, фізичні, імітаційні (на ЕОМ) і ін.

Реалізація проектування логістичних транспортних систем в даний час практично неможлива без відповідної інформаційно–комп'ютерної підтримки;

– принцип розробки необхідного комплексу підсистем, що забезпечують процес проектування логістичних транспортних систем: технічна, економічна, організаційна, правова, кадрова, екологічна підсистеми тощо;

– принцип загального управління якістю – забезпечення надійності функціонування і високої якості роботи кожного елементу логістичної транспортної системи для забезпечення загальної якості товарів і послуг, що поставляються кінцевим споживачам;

– принцип гуманізації всіх функцій і технологічних рішень в логістичних системах, що означає відповідність екологічним вимогам з охорони довкілля, ергономічним, соціальним, етичним вимогам роботи персоналу тощо;

– принцип стійкості і адаптивності. Логістична транспортна система повинна стійко працювати при допустимих відхиленнях параметрів і чинників зовнішнього середовища (наприклад, при коливаннях ринкового попиту на транспортні послуги, змінах умов постачання або закупівлі матеріальних ресурсів, транспортних тарифів тощо). При значних коливаннях стохастичних чинників зовнішнього середовища логістична транспортна система повинна пристосовуватися до нових умов, замінюючи програму функціонування, параметри і критерії оптимізації. Для використання методології і результатів теоретичних досліджень щодо проектування проектування логістичних транспортних систем,координації роботи вчених і фахівців на Заході створено і успішно функціонує безліч логістичних співтовариств, організацій, асоціацій, інституті.

В США є Американське товариство проблем управління виробництвом і запасами, Американська рада з проблем менеджменту і ряд інших. У Європі найбільш відомими логістичними організаціями є: Британське товариство виробництва і управління запасами, Інститут логістики і управління дистриб'юцією (Великобританія), Центр логістики (Іспанія), Французька асоціація логістики у виробництві, асоціації логістики в Італії, Німеччині, Швейцарії тощо. перераховані логістичні співтовариства входять в Європейську логістичну асоціацію (ЄЛА), штаб-квартира якої знаходиться в Брюсселі.

Розглянемо умови створення і ефективності функціонування логістичних систем:

– логістичні транспортні системи загалом не становлять сукупність взаємодіючих елементів, а тільки виборчо задіяних, що сприймаються навколишнім середовищем як ціле;

– взаємодія і взаємовідносини елементів у логістичних транспортних системах набирають характеру особливої взаємодії. Окремі елементи системи повинні втрачати частину ступенів свободи і вступати в конкретні взаємовідносини, створюючи цілісність;

– технологічні та економічні можливості всіх учасників логістичної транспортної системи повинні бути взаємопов'язані;

– елементи включаються в логістичну транспортну систему і відносини взаємодії задля досягнення сфокусованого (загального) результату;

– ефективне функціонування логістичних транспортних систем припускає їх орієнтацію на ринкову стратегію загалом, а не на мінімізацію витрат в окремих їх ланках.

– ефективність функціонування логістичних транспортних систем зумовлюється також чіткістю постановки цілей;

– логістичні транспортні системи повинні бути здатні до адаптації в умовах непевності зовнішнього середовища;

– у логістичній транспортній системі керуюча ланка повинна мати вищий рівень організації, якщо об’єкт керований;

– якщо резерви саморозвитку всередині логістичної транспортної системи вичерпано,то подальше підвищення рівня і організації можливе лише тоді, коли система увійде у відносини із зовнішньою системою вищого рівня;

– для забезпечення ефективності функціонування логістичної транспортної системи необхідно застосовувати сучасну техніку і технологію, а також інформаційно керуючі системи.

Етапи аналізу логістичної транспортної системи ілюструє рис. 2.

Етапи аналізу логістичної транспортної системи
1. Аналіз логістичної проблеми
2. Визначення логістичної транспортної системи
3. Аналіз структури логістичної транспортної системи
4. Формулювання загальної мети логістичної транспортної системи і критерію оцінювання ефективності
5. Декомпозиція мети, виявлення потреб у ресурсах і процесах
6. Виявлення ресурсів і процесів, композиція цілей
7. Прогноз і аналіз майбутніх умов
8. Оцінка цілей і засобів
9. Добір варіантів
10. Аналіз існуючої логістичної транспортної системи
11. Побудова комплексної програми розвитку логістичної транспортної системи
12. Проектування організації для досягнення цілей

Рисунок 2 – Етапи аналізу логістичної транспортної системи
Figure 2 – Stages of analysis of the logistics transport system

Вимоги до локальних критеріїв ефективності проектованої логістичної системи – підвищення схоронності перевезених вантажів; прискорення доставки вантажів; прискорення обробки контейнерів і вагонів на станціях та у портах; поліпшення використання автотранспорту; скорочення простою перевантажувальних механізмів; зміна рівня маршрутизації на транспорті;поліпшення використання автотранспорту; скорочення простою перевантажувальних механізмів; зміна рівня маршрутизації на транспорті. [5, 156-157]

Одним з показників реальної ефективності обраної логістичної транспортної системи може бути її стійкість, тобто дотримування прийнятих стандартів обслуговування. До них належать параметри, пороговий рівень сервісу транспортних послуг в системі логістичної транспортної системи з мінімальними витратами.

Аналізуючи проект транспортної логістичної системи, визначають, по-перше, достатні або недостатні резерви удосконалення транспортної логістики, котрі виправдали б проведення детальних досліджень та аналізу. По-друге, створення концептуальних схем проекту логістичної транспортної системи потребує всебічного вивчення фактичних даних, що допомагає об’єктивно та критично поглянути на існуючі методи роботи. По-третє, в процесі створення концептуальної схеми проекту слід чітко визначити можливі варіанти перебудови логістичної транспортної системи.

Процес планування логістичного проекту передбачає визначення мети та обмежень, розробку стандартів оцінки результатів, вибір техніки аналізу, складання проектного завдання. Визначення мети означає фіксування можливих при перетворенні логістичної транспортної системи витрат і рівня сервісу. При цьому необхідно окреслити сегменти ринку транспортних послуг або транспортної галузі, часові межі досягнення результатів, конкретні параметри діяльності, котрі, як правило, являють собою характеристики рівня сервісу.

Аналізують такі питання, як структура замовлень і її зміна, організація отримання замовлень, види інформаційних потоків, види матеріальних та транспортних потоків, переробка та зберігання вантажів та ін. Головне у внутрішньому аналізі – вияв сфер, в котрих можливе значне удосконалення.

Аналіз зовнішніх факторів спрямований на визначення тенденцій ринкового попиту і сервісних потреб споживачів. Основне завдання оцінки ринку – відтворити сприйняття та передбачити коло споживачів. Для цього можна провести опитування клієнтів чи детальне дослідження думки споживачів.

Важливою частиною аналізу є транспортно-технологічні дослідження, котрі допомагають оцінити наявні та потенційні можливості технології, що використовуються у всіх сферах логістики, включаючи транспортування, складування, вантажопереробку, планування та інформаційну підтримку. Наприклад, як вплине використана посередниками нова технологія вантажопереробки на ефективність логістики? Завдання технологічних досліджень – вияв перспективних напрямів з удосконалення технологічного процесу логістики.

У процесі оптимізації та прогнозування потужності логістичної транспортної системи традиційними залишаються завдання, що пов'язані з управлінням матеріальними, фінансовими, інформаційними потоками. Оптимізація потужності логістичної системи базується на методах моделювання і передбачає розв'язання чотирьох основних завдань: оптимізації запасів, оптимізації часу руху матеріальних потоків, оптимізації виробничих програм, оптимізації логістичних витрат. Найбільшого розповсюдження набула модель економічно обґрунтованого розміру замовлення (Economik Orderinq Quantity model, EOQ model).

В її основі лежить визначення оптимальної величини замовлення, яка характеризується найменшими витратами на обслуговування запасів (на їх збереження та доставку). Дана модель передбачає застосування двох способів визначення оптимальної величини замовлення: графічного та аналітичного.

Високої ефективності й стабільності логістичних систем можна досягти лише за умови застосування сучасних технічних засобів. Впровадження логістичних транспортних систем інформаційними технологіями є невід'ємною частиною розвитку проектування логістичних транспортних систем. Технічною базою для оптимального управління інформаційними потоками логістичних систем є багаторівнева АСУ. Тому необхідною умовою високої ефективності логістичних систем є органічне поєднання логістики з кібернетикою та інше.

Висновки та перспективи подальших досліджень. При проектуванні логістичної транспортної системи необхідно підтримувати крихку рівновагу між витратами транспортування і якістю транспортних послуг. У деяких умовах цілком достатньою виявляється низьковитратне і повільне транспортування. У інших ситуаціях для досягнення господарських цілей потрібно високу швидкість транспортних послуг. Три міркування, що мають відношення до транспортування, повинні обов'язково враховувати при формуванні логістичної інфраструктури. По-перше, конкретний вибір місця розташування інфраструктурних об'єктів диктує комплекс транспортних потреб і одночасно обмежує можливості використання альтернативних способів транспортування. По-друге, транспортні витрати не зводяться лише до ціни перевезень. По-третє, усі зусилля, спрямовані на інтеграцію транспортних потужностей в логістичну транспортну систему, можуть виявитися абсолютно безплідними, якщо доставка вантажів та перевезення пасажирів здійснюється нерівномірно і з перебоями.

Ефективність транспортних послуг визначається значною мірою правильно побудованою базою даних щодо логістичних операцій. Під час проектування логістичних транспортних систем кожна операція має відображати витрати щодо фінансів, часу, праці, тобто бути базою для нормування та контролю транспортних витрат. При проектуванні логістичної транспортної системи необхідно підтримувати рівновагу між витратами транспортування і якістю транспортних послуг. У деяких умовах цілком достатньою виявляється низьковитратне і повільне транспортування. Для досягнення цілей логістичної транспортної системи потрібно мати високу швидкість транспортних послуг.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Прокудін Г.С. Моделі та методи оптимізації вантажних перевезень в транспортних системах: дис.. д-ра техн. наук : 05.22.01 / Прокудін Георгій Семенович ; Транспортні системи. – 2009. – 280 с.
2. Гурч, Л. М. Організація логістичної системи вантажних перевезень / Л. М. Гурч, Г. В. Соломенко, Л. Ю. Корінна // Збірник статей Автоекспо: «Ринок послуг комплесних транспортних систем та прикладні проблеми логістики». – 2011. – Вип. 3 – С. 57 – 65.
3. Про транспорт : [закон України : офіц. текст : за станом на 01.01.2022 р.]. К. : Верховна Рада України, 1994. – 446 с. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/232/94-%D0%B2%D1%80#Text. – Назва з екрану.
4. Горбенко, О. В. Логістика : навчальний посібник / О. В. Горбенко. – К. : Знання, 2014. – 315 с.
5. Транспортні технології в системах логістики : навч. пос. / М. Ф. Дмитриченко, П. Р. Левковець, А. М. Ткаченко, О. С. Ігнатенко. – К. : Інформавтодор, 2007. – 676 с.

6. Гурч, Л. М. Логістика: навч. пос. для студ. вищ. навч. закл. / Л. М. Гурч. – 2-е вид. – К. : НТУ, 2020. – 506с.

7. Організація та проектування логістичних систем : підручник / М. П. Денисенко, Л. Г. Шморгун, В. С. Марунич, В. С. Харута. – К. : Міленіум, 2016. – 387 с.

8. Гурч Л. М. Особливості проектування логістичних систем вантажних перевезень / Л. М. Гурч, О. В. Школьна // Вісник Національного університету «Львівська політехніка» – 2012. – Вип. 749. – С. 388 – 392. – Режим доступа: https://vlp.com.ua/files/1_2_zmist_749.pdf. – Назва з екрану.

REFERENCES

1. Prokydin H. S. Modeli ta metody optymizatsii vantazhnykh perevezen v transportnykh systemakh Dokt, Diss [Models and methods of optimization of freight transportation in transport systems. Dokt, Diss]. Kyiv, 2009, 280 p.

2. Hurch L. M., Solomenko H. V., Korinna L.Y. Orhanizatsiia lohistychnoi systemy vantazhnykh perevezen [Organization of logistics system of freight transportation]. Zbirnyk statei Avtoekspo: «Rynok posluh komplesnykh transportnykh system ta prykladni problemy lohistyky» – Collection of articles of Autoexpo: "Market of services of complex transport systems and applied problems of logistics", 2011, issue 3, pp 57 – 65.

3. Pro transport : zakon Ukainu [On Transport: Ukrainian law]. Kyiv, Verkhovna Rada Ukrainy Publ., 1994. 446 p. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/232/94-%D0%B2%D1%80#Text

4. Horbenko O. V. *Lohistyka* [Logistics]. Kyiv, Znannia Publ., 2014. 315 p.

5. Dmytrychenko M. F., Levkovets P. R., Tkachenko A. M., Ihnatenko O. S. Transportni tekhnolohii v systemakh lohistyky [Transport technologies in logistics systems]. Kyiv, Informavtodor Publ., 2007. 676 p.

6. Hurch L. M., Lohistyka [Logistics]. Kyiv, NTU Publ., 2020. 506 p.

7. Denysenko M. P., Shmorhun L. H., Marunych V. S., Kharuta V. S. Orhanizatsiia ta proektuvannia lohistychykh system [Organization and design of logistics systems]. Kyiv, Milenium Publ., 2016. 387 p.

8. Hurch L. M., Shkolna O. V. Osoblyvosti proektuvannia lohistychnykh system vantazhnykh perevezen [Features of design of logistics systems of freight transportation]. Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lviv Polytechnic" – Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic", 2012, issue 749, pp 388 -392. Available at: https://vlp.com.ua/files/1_2_zmist_749.pdf.

РЕФЕРАТ

Гурч Л.М. Проектування логістичних транспортних систем / Л.М. Гурч // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

У статті наведено розгляд і оглядовий аналіз теоретичних аспектів організації і проектування – логістичних транспортних систем.

У ринкових умовах проблеми якості транспортного обслуговування, як найважливішого інструмента підвищення конкурентоздатності транспортно-логістичних послуг на ринку України, вимагають рішення на принципово новому науковому та практичному рівні. Основною метою є максимальне задоволення попиту на перевезення по обсягу і якості, стимулювання росту об’єму перевезень. Усе більшого значення набуває використання логістичних підходів в організації перевезень.

Стан сучасного ринку транспортно-логістичних послуг України, вимагає в галузі логістики перевезень все більшого вдосконалення, зростання уваги, якості та ефективності. Все це залежить від оптимізації процесів координації роботи різних видів транспорту, розподілу обсягів перевезення, проектування логістичних систем вантажних перевезень та чітке формування необхідних управлінських рішень. При проектуванні логістичної системи необхідно підтримувати рівновагу між витратами транспортування і якістю транспортних послуг.

Стрімка урбанізація та автомобілізація, яка проходить в Україні вимагає використання сучасних транспортно-логістичних технологій для ефективного функціонування транспортної галузі в цілому. Тому, проектування логістичних транспортних систем є доцільним та виправданим в умовах конкуренції між різними видами транспорту та транспортно-логістичними підприємствами.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЛОГІСТИЧНА СИСТЕМА, ЛОГІСТИЧНА ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА, РИНОК ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ПОСЛУГ, ЕФЕКТИВНІСТЬ НАДАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ, ПРОЕКТУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ.

ABSTRACT

Gourch L.M. Design of logistics transport systems. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The article presents consideration and review analysis of theoretical aspects of organization and design of logistics transport systems.

In market conditions, the problems of the quality of transport services, as the most important tool for increasing the competitiveness of transport and logistics services in the Ukrainian market, require a solution at a fundamentally new scientific and practical level. The main goal is to maximize the satisfaction of the demand for transportation in volume and quality, to stimulate the growth of the volume of transportation. The use of logistics approaches in the organization of transportation is becoming increasingly important.

In market conditions, the problems of the quality of transport services, as the most important tool for increasing the competitiveness of transport and logistics services in the Ukrainian market, require a solution at a fundamentally new scientific and practical level. The main goal is to maximize the satisfaction of the demand for transportation in volume and quality, to stimulate the growth of the volume of transportation. The use of logistics approaches in the organization of transportation is becoming increasingly important.

In market conditions, the problems of the quality of transport services, as the most important tool for increasing the competitiveness of transport and logistics services in the Ukrainian market, require a solution at a fundamentally new scientific and practical level. The main goal is to maximize the satisfaction of the demand for transportation in volume and quality, to stimulate the growth of the volume of transportation. The use of logistics approaches in the organization of transportation is becoming increasingly important.

KEYWORDS: LOGISTICS SYSTEM, LOGISTICS TRANSPORT SYSTEM, MARKET OF TRANSPORT AND LOGISTICS SERVICES, EFFICIENCY OF PROVISION OF TRANSPORT SERVICES, DESIGN OF TRANSPORT LOGISTICS SYSTEMS.

АВТОРИ:

Гурч Людмила Миколаївна, кандидат економічних наук, доцент, Національний транспортний університет, Київ, Україна, доцент кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, e-mail: lyudmila.gurch@ukr.net, тел. +380442804885, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к.435. orcid.org/0000-0003-3199-0695

AUTHOR:

Gourch L.N., Ph.D., associate professor, National Transport University, associate professor, department of Transport systems and traffic safety, e-mail: lyudmila.gurch@ukr.net tel. +380442804885, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovicha-Pavlenko str. 1, of. 432. orcid.org/0000-0003-3199-0695

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Прокудін Г.С., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Міжнародних перевезень та митного контролю» Національного транспортного університету, Київ, Україна.

Кисельов В.Б., доктор технічних наук, професор, директор навчально-наукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету ім. В.І.Вернадського, 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.

Kiselev V.B., Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Educational and Scientific Institute of Municipal Management and Urban Economics of Tavrida National University V.I.Vernadsky, Kyiv, Ukraine.

УДК 621.43
UDC 621.43
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-149-158

ВПЛИВ СПОСОБУ РЕАЛІЗАЦІЇ КОМБІНОВАНОГО МЕТОДУ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ НА МЕХАНІЧНІ ВТРАТИ ТА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ

Гутаревич Ю.Ф., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, Київ, Україна, yugutarevich@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4939-4384

Ричок С.О., ДП «ДержавтотрансНДІпроект», Київ, Україна, srychok@insat.org.ua, orcid.org/0000-0002-7003-5116

INFLUENCE OF THE COMBINED METHOD OF POWER REGULATION IMPLEMENTATION WAY ON SPARK IGNITION ENGINE'S MECHANICAL LOSSES AND FUEL ECONOMY

Gutarevych Y.F., Doctor of Technical Sciences, professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, yugutarevich@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4939-4384

Rychok S.O., State Entreprise «State Road Transport Research Institute», Kyiv, Ukraine, srychok@insat.org.ua, orcid.org/0000-0002-7003-5116

В статті наведені результати експериментальних і розрахункових досліджень величини механічних втрат шестициліндрового бензинового двигуна з іскровим запалюванням при регулюванні потужності комбінованим методом: дроселювання всіх циліндрів за роботи з великим навантаженням і відключенням групи циліндрів і дроселюванням працюючих циліндрів в режимах малих навантажень і холостого ходу. Цей метод широко використовують на двигунах з іскровим запалюванням і дизелях та отримують вагому економію палива. Ефективність методу залежить від способу його реалізації. Порівняння способів проводять розрахунковими та експериментальними методами. В даній статті наведені результати експериментальних досліджень механічних втрат, які впливають на ефективність методу, при прокручуванні прогрітого двигуна з різними способами відключення групи циліндрів та запропонована методика оцінки впливу механічних втрат на паливну економічність двигуна у широкому діапазоні навантажувальних режимів.

Вступ. В умовах експлуатації основними режимами роботи двигунів автомобілів є часткові швидкісні, навантажувальні та режими холостого ходу. Це в першу чергу характерно для руху автомобілів в населених пунктах. Відомо, що паливна економічність поршневих двигунів внутрішнього згорання, якщо оцінювати її питомою витратою палива на одиницю отриманої механічної енергії, в названих режимах значно погіршується. Особливо це характерно для двигунів з іскровим запалюванням, в яких погіршення паливної економічності, крім характерних для всіх поршневих двигунів причин, є наслідком зростання механічних втрат, зокрема насосних втрат. Одним з напрямів поліпшення паливної економічності двигунів із іскровим запалюванням в названих режимах є застосування комбінованого методу регулювання потужності, суть якого полягає в поєднанні дроселювання всіх циліндрів в режимах середніх і високих навантажень та відключення групи циліндрів в режимах малих навантажень і холостого ходу і дроселювання лише працюючих циліндрів. Ефективність такого методу доведена чисельними дослідженнями і використанням цього методу в багатьох двигунах. Встановлено, що ефективність методу залежить від способу реалізації процесу відключення групи циліндрів. Оцінювати способи експериментальним шляхом досить складно, тому часто, попередньо, оцінку виконують розрахунками з використанням експериментальних даних обраних показників, які впливають на ефективність комбінованого методу. В статті наведені результати експериментальних і розрахункових досліджень впливу способу відключення групи циліндрів на механічні втрати, зокрема на насосні втрати, які в значній мірі визначають ефективність комбінованого методу з точки зору економії палива.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження комбінованого методу регулювання потужності двигунів з іскровим запалюванням, більше відомого як відключення групи циліндрів багатоциліндрового двигуна, були розпочаті в середині 20-го століття. Аналіз основних результатів чисельних досліджень цього напряму наведені в статті [1].

Особливо широко дослідження цього напряму проводили в різних науково-дослідних організаціях, підприємствах і наукових закладах в 70-х – 90-х роках 20-го століття [2, 3]. Переважну кількість досліджень проводили на багатоциліндрових двигунах з карбюраторними системами живлення. В цілому, в результаті досліджень встановили, що комбінований метод регулювання потужності карбюраторних двигунів дозволяє поліпшити паливну економічність в режимах малих навантажень і холостого ходу.

Перехід до системи впорскування дозволив більш ефективно використовувати комбінований метод регулювання потужності, зокрема в перехідних режимах. Системи відключення групи циліндрів широко використовують на сучасних бензинових двигунах з іскровим запалюванням. Відключення групи циліндрів в цих системах здійснюють зміною системи газообміну. Такі системи розробляють в процесі створення або модернізації двигуна, вони найбільш ефективні, але встановити їх на двигунах, що знаходяться в експлуатації, досить складно. Хоча з'являються публікації про створення універсальної системи відключення циліндрів.

Реалізацію комбінованого методу, зокрема відключення групи циліндрів, можна здійснювати різними способами. Найбільш просто його реалізувати припиненням подачі бензину у групу відключених циліндрів без зміни системи газообміну. Детальні дослідження цього способу наведені в роботі [4]. Одним з основних висновків роботи є те, що при відключенні трьох циліндрів шести-циліндрового двигуна припиненням подачі бензину в межах потужності, які можна отримати за роботи на трьох і шести циліндрах, середня економія бензину складає 13,6%, в режимі холостого ходу близько 19 %.

В процесі виконання роботи [5] розроблена система відключення трьох циліндрів шести-циліндрового двигуна без зміни системи газообміну і проведення експериментальних досліджень роботи двигуна в несталих режимах. Встановлено поліпшення паливної економічності в режимах холостого ходу за роботи на трьох циліндрах на 20,3 %. Отримано безударний процес відключення і включення циліндрів.

В дослідженні [6] показано, що при застосуванні рециркуляції відпрацьованих газів при комбінованому методі регулювання потужності можливо поліпшити паливну економічність і екологічні показники двигуна, зокрема зменшити викиди оксидів азоту.

В роботі [7] шляхом моделювання руху автомобілів в різних режимах показано, що відключення циліндрів поліпшує паливну економічність автомобілів різних моделей.

Одним з напрямів удосконалення комбінованого методу регулювання потужності двигунів із іскровим запалюванням є зменшення механічних, зокрема насосних втрат, за роботи на частині циліндрів. В роботі [8] проведені експериментальні дослідження показників роботи шестициліндрового двигуна при відключенні трьох циліндрів з вільним впуском повітря у відключені циліндри. За визначеними експериментально навантажувальними характеристиками встановлено зниження питомої витрати бензину в порівнянні з дроселюванням при незмінній системі газообміну 3,6%, при вільному впуску повітря у відключені циліндри 7,25%, в режимі холостого ходу ці величини відповідно становлять 7,94% та 15,87%.

Таким чином, останні розрахункові та експериментальні дослідження показують, що ефективність комбінованого методу залежить від способу його реалізації. Проте відсутні дослідження визначення ефективності методу в широкому інтервалі навантажувальних режимів. Експериментально отримати такі дані складно. Тому необхідно використовувати розрахункові дослідження з використанням експериментальних даних, які впливають на ефективність комбінованого методу.

Виклад основного матеріалу. Як зазначено вище, паливну економічність оцінюють питомою ефективною витратою палива. Для порівняння способів реалізації комбінованого методу регулювання потужності двигунів з іскровим запалюванням використаємо цей показник. Залежність для його визначення при відключенні групи циліндрів отримана в роботі [1]

$$g_e = \frac{3600 \cdot \frac{i-k}{i} \cdot p_i}{\left(\frac{i-k}{i} p_i - p_m - \frac{i-k}{i} p_r' - \frac{k}{i} p_r'' - p_д - \frac{k}{i} p_q\right) \cdot \eta_i \cdot H_u} \qquad (1)$$

де p_i – середній ефективний тиск у працюючих циліндрах; p_m – середній тиск втрат на тертя в двигуні при регулюванні потужності відключенням групи циліндрів; $p_г^{`}$ – тиск втрат на газообмін в $(i-k)$ працюючих циліндрах; $p_г^{``}$ – тиск втрат на газообмін у відключених циліндрах; $p_д$ – тиск на привід розподільчого вала та допоміжного обладнання; p_q – середній тиск теплових втрат у (k) відключених циліндрах; η_i – індикаторний ккд; H_u – нижча теплота згорання палива, МДж/кг.

В процесі визначення механічних втрат прокручуванням прогрітого двигуна визначають не лише втрати на тертя, а також втрати на привід розподільчого валу, допоміжного обладнання та теплові. Тому доцільно ці втрати об'єднати під загальною назвою механічні.

Тоді питому ефективну витрату палива розраховують за залежністю

$$g_e = \frac{3600 \cdot \frac{i-k}{i} \cdot p_i}{\left(\frac{i-k}{i} p_i - p_m - \frac{i-k}{i} p_г^{`} - \frac{k}{i} p_г^{``}\right) \cdot \eta_i \cdot H_u} \qquad (2)$$

де $p_m = p_г + p_д + \frac{k}{i} p_q$.

При прокручуванні прогрітого двигуна крім механічних втрат вимірюють втрати на газообмін, тобто заміряють суму

$$p_{\Sigma m} = p_m + \frac{i-k}{i} p_г^{`} + \frac{k}{i} p_г^{`} \qquad (3)$$

Тоді

$$g_e = \frac{3600 \cdot \frac{i-k}{i} \cdot p_i}{\left(\frac{i-k}{i} p_i - p_{\Sigma m}\right) \cdot \eta_i \cdot H_u} \qquad (4)$$

Вираз (2) можливо використовувати для порівняння способів реалізації комбінованого методу, коли спосіб не впливає на показники роботи працюючих циліндрів. До таких способів відносять відключення групи циліндрів з незмінною системою газообміну і спосіб з вільним впуском повітря у відключені циліндрі, в тому числі з підігрівом повітря.

Спосіб відключення групи циліндрів з незмінною системою газообміну досліджували в багатьох роботах. У всіх дослідженнях отримали поліпшення паливної економічності двигунів в порівнянні з дроселюванням всіх циліндрів. Тому ефективність інших способів відключення групи циліндрів доцільно порівнювати з цим способом.

Цей спосіб, як зазначалося вище, був детально досліджений в роботі [4]. Результати цього дослідження, зокрема навантажувальні характеристики двигуна за роботи на трьох циліндрах, були використані для оцінки способу відключення циліндрів при незмінній системі газообміну.

Для порівняння був обраний спосіб відключення циліндрів припиненням подачі палива в групу циліндрів і вільним наповненням цієї групи циліндрів повітрям. Цей спосіб один з найбільш простих для реалізації комбінованого методу регулювання потужності двигуна з іскровим запалюванням.

Дослідження проводили на рядному шестициліндровому двигуні Opel з робочим об'ємом 3 л. моделі C30NE. Двигун обладнаний системою електронного розподіленого впорскування палива M4.1 – Motronic. Впорскування бензину здійснюється в надклапанний простір двох груп циліндрів по 3 циліндри почергово, в циліндри 1-2-3 та 4-5-6. Оскільки порядок роботи циліндрів двигуна 1-5-3-6-2-4, відключення однієї групи циліндрів не призведе до значної зміни рівномірності роботи двигуна, лише збільшиться кут між робочими ходами з 120 градусів до 240 градусів. Двигун встановлено на гальмівному стенді СГЕУ-100 з гальмівною машиною АКБ-92-4 потужністю 100 кВт (Рис. 1), який використовували в гальмівному режимі і режимі електричного двигуна.

Для відтворення різних способів реалізації комбінованого методу регулювання потужності двигуна в систему газообміну внесено ряд конструктивних змін (Рис. 2). Для роз'єднання групи

робочих циліндрів А (1-2-3) від групи В (4-5-6), які відключають, використано заслінку 4, яку використовують на ряді моделей двигунів Opel, для припинення подачі паливо-повітряної суміші у групу циліндрів В встановили заслінку 3, для вільного впуску повітря у групу циліндрів В, яку відключили, встановили заслінку 7.

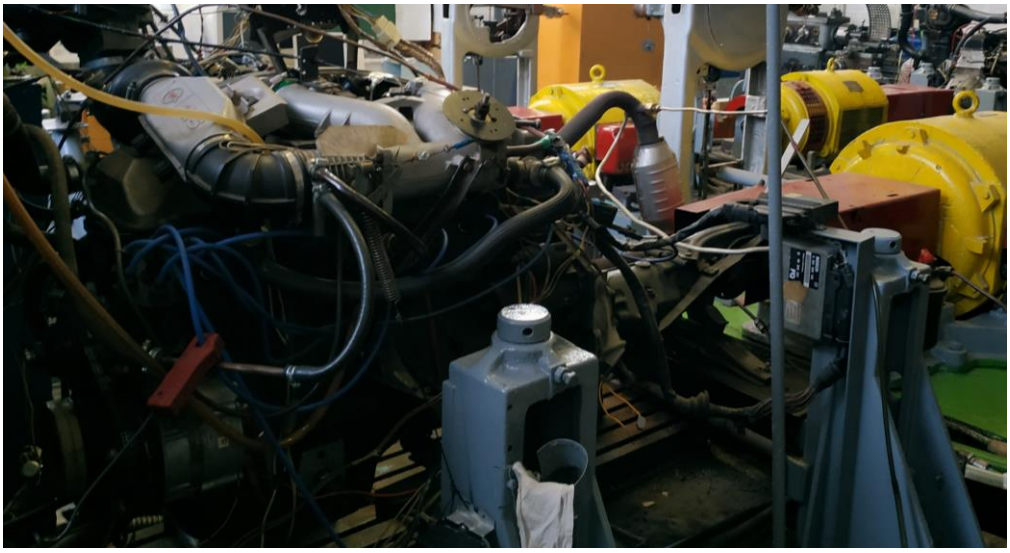


Рисунок 1 – Двигун Opel C30NE 3.0л встановлений на стапелі гальмівного стенду
Figure 1 – Opel C30NE 3.0l engine mounted on the test bench

Змінюючи положення цих заслінок визначали показники двигуна за роботи на шести циліндрах при дроселюванні та роботі на трьох циліндрах з незмінною системою газообміну (заслінка 3 відкрита, заслінка 7 закрита). Механічні втрати визначали при прокручуванні прогрітого двигуна електро-гальмівною машиною при різних кутах відкриття дросельної заслінки при незмінній системі газообміну (заслінка 3 відкрита, заслінка 7 закрита) і при вільному впуску повітря у відключену групу циліндрів В (заслінка 3 закрита, заслінка 7 відкрита)

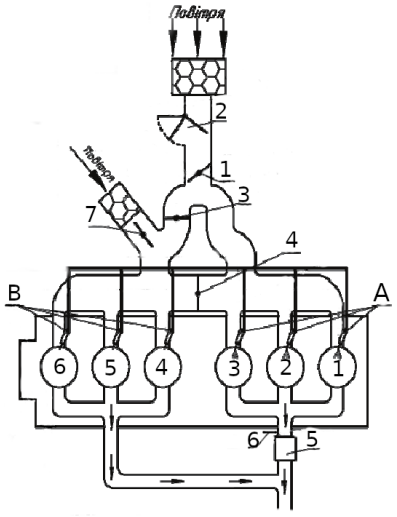


Рисунок 2 – Схема системи газообміну двигуна з внесеними змінами: 1 – дросельна заслінка; 2 – витратомір повітря; 3, 4, 7 – заслінки; 5 – нейтралізатор; 6 – лямбда-зонд; А група робочих циліндрів 1-2-3; В група циліндрів, які відключають 4-5-6
Figure 2 – Scheme of the engine gas exchange system with changes: 1 – throttle; 2 – air flow meter; 3, 4, 7 – valves; 5 – catalytic converter; 6 – oxygen sensor; A group of working cylinders 1-2-3; B group of disabling cylinders 4-5-6

Прокручуванням прогрітого двигуна (температура охолодної рідини 70...75°С) за роботи стенду в режимі джерела механічної енергії визначали залежність моменту сумарних механічних втрат від кута відкриття дросельної заслінки при незмінній системі газообміну та при вільному впуску повітря у групу відключених циліндрів (Рис. 3).

Як видно з показаних залежностей, механічні втрати при відкритті дросельної заслінки більше як на 40 град. при незмінній системі газообміну і вільному впуску повітря, практично не залежить від кута відкриття дросельної заслінки і відрізняються в межах 1 Нм.

Це пояснюється тим, що при кутах відкриття дросельної заслінки більше 40 град. площа прохідного перерізу збільшується незначно і насосні втрати при незмінній системі газообміну, які в значній мірі залежить від втрат над дросельній заслінці, залишаються практично сталими. При вільному впуску повітря, механічні втрати залишаються практично незмінними при кутах відкриття дросельної заслінки працюючої групи циліндрів більше 20° і зростають лише при менших кутах відкриття заслінки.

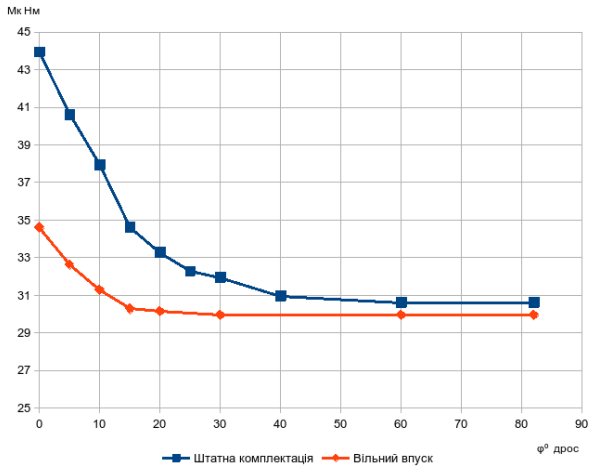


Рисунок 3 – Залежність моменту механічних втрат у двигуні
від кута відкриття дросельної заслінки (n = 2000 хв$^{-1}$)
Figure 3 – Dependence of the engine mechanical losses torque on the throttle opening angle (n = 2000 rpm)

Показані залежності механічних втрат при незмінній системі газообміну і вільному впуску повітря в групу відключених циліндрів В, свідчать про те, що зростання механічних втрат при незмінній системі газообміну є наслідком зростання насосних втрат при малих кутах вікриття дросельної заслінки.

Разом з тим, для аналізу енергетичних показників двигуна при різних способах відключення циліндрів більш зручно використовувати як незалежний параметр розрідження за дросельною заслінкою. Крім того, у процесі експериментальних досліджень більш точно можна заміряти не кут відкриття дросельної заслінки, а розрідження за дросельною заслінкою. Тому були визначені залежності механічних втрат від розрідження за дросельною заслінкою при незмінній системі газообміну і вільному впуску повітря у групу циліндрів В. Ці залежності показані на Рис. 4.

Момент механічних втрат при вільному впуску повітря у групу циліндрів В пропорційний розрідженню за дросельною заслінкою і зменшується незначно в межах 29,9 Нм при розріджені 2 кПа до 34,6 Нм при розріджені 62 кПа, що можна пояснити зростанням насосних втрат на дросельній заслінці групи циліндрів А. Момент механічних втрат при незмінній системі газообміну по мірі збільшення розрідження за дросельною заслінкою зростає значно інтенсивніше. При розріджені 2 кПа момент механічних втрат складає 30,6 Нм, що практично співпадає з величиною механічних втрат при вільному впуску повітря в групу циліндрів В, а при розрідженні за дросельною заслінкою 62 кПа момент зростає до 40,6 Нм, тобто більший у порівнянні з вільним впуском повітря на 14,8 %. Таким чином можна стверджувати, що один з можливих способів реалізації комбінованого методу регулювання потужності двигуна з іскровим запалюванням – відключення групи циліндрів з вільним впуском в них повітря, дозволяє зменшити механічні втрати в порівнянні з системою припинення подачі палива в групу циліндрів без зміни системи газообміну.

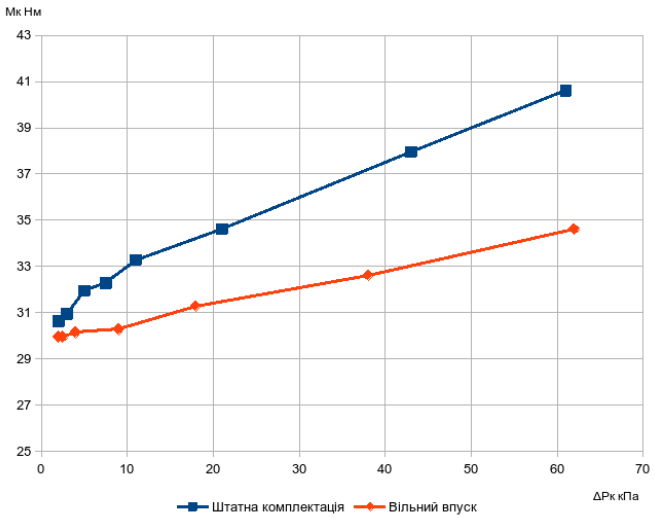


Рисунок 4 – Залежність моменту механічних втрат
в двигуні від розрідження за дросельною заслінкою (n = 2000 хв$^{-1}$)
Figure 4 – Dependence of the engine mechanical losses torque on the vacuum
after the throttle (n = 2000 rpm)

Для розрахункового дослідження можливої економії палива при вільному впуску повітря в групу циліндрів В скористались результатами експериментів, отриманих при дослідженні способу припинення подачі палива у групу циліндрів без зміни системи газообміну [4].

Експерименти проводили на двигуні Opel моделі C30NE. На рис. 5 показані залежності ефективного крутного моменту двигуна при роботі на трьох циліндрах з відключенням подачі палива у групу циліндрів В без зміни системи газообміну. Залежності отримані на частотах обертання колінчастого валу 1800 і 2400 хв$^{-1}$. Як видно з показаних залежностей, частота обертання практично не впливає на величину ефективного крутного моменту, яку можна визначити як лінійну залежність від розрідження. Тому для подальшого дослідження при частоті 2000 хв$^{-1}$ прийняли середнє значення залежності моменту від розрідження (Рис. 6).

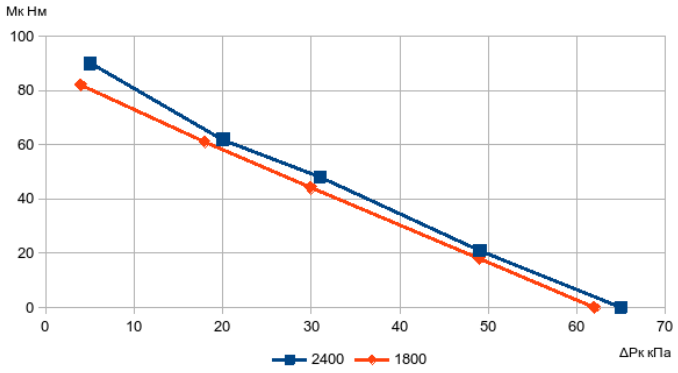


Рисунок 5 – Залежність ефективного крутного моменту двигуна Opel моделі C30NE від розрідження
за дросельною заслінкою при різних частотах обертання за роботи на трьох циліндрах
Figure 5 – Dependence of the Opel C30NE engine effective torque on the vacuum
after the throttle at different speeds in the three cylinders working mode

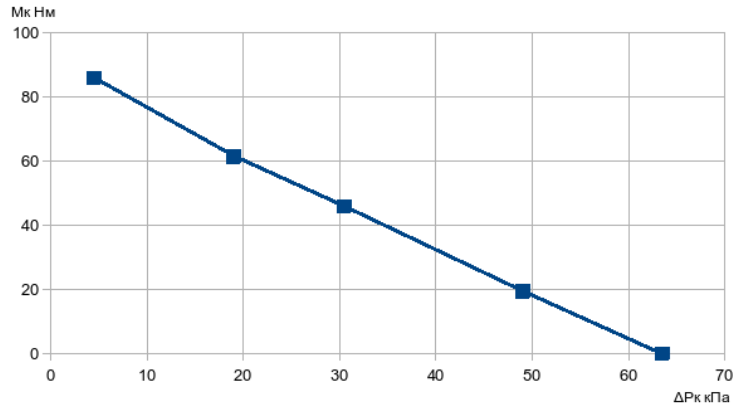


Рисунок 6 – Залежить ефективного крутного моменту двигуна Opel моделі C30NE від розрідження за дросельною заслінкою при частоті обертання 2000 хв$^{-1}$ за роботи на трьох циліндрах
Figure 6 – Dependence of the Opel C30NE engine effective torque on the vacuum after the throttle at 2000 rpm in the three cylinders working mode

Використовуючи цю залежність і результати власних досліджень по визначенню механічних втрат в двигуні при незмінній системі газообміну і при вільному впуску повітря у групу циліндрів В (Рис. 4) визначили залежність індикаторного крутного моменту від розрідження для отримання показаного на Рис. 6 ефективного крутного моменту.

$$M_i = M_k + M_m \tag{5}$$

Ці залежності показані на рис. 7. Як видно з цих залежностей, для отримання однакового крутного моменту у випадку відключення циліндрів із незмінною системи газообміну необхідний індикативний момент більший в порівнянні з системою відключення циліндрів з вільним впуском повітря у відключені циліндри.

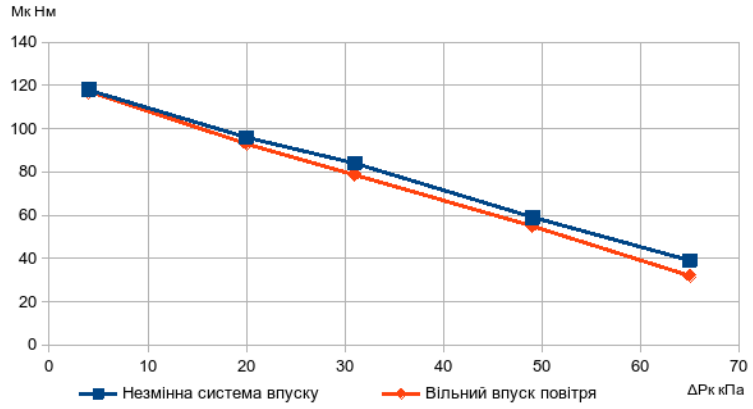


Рисунок 7 – Залежність необхідного індикаторного моменту двигуна від розрідження (n = 2000 хв$^{-1}$)
Figure 7 – Dependence of the engine required indicator torque on the vacuum (n = 2000 rpm)

Питому ефективну витрату палива при різних способах реалізації комбінованого методу регулювання потужності визначили за допомогою залежності (4). В цій залежності середній індикаторний тиск p_i при незмінній системі газообміну і вільному впуску повітря в групу циліндрів В визначили з використанням індикаторного крутного моменту, величина якого показано на рисунку 7, за відомою залежністю

$$p_i = \frac{M_i \pi \tau}{v_h \, i \, 10^3} \tag{6}$$

Середній тиск механічних втрат $p_{\Sigma M}$ розрахували по аналогічній залежності

$$p_{\Sigma M} = \frac{M_m \pi \tau}{v_h \, i \, 10^3} \qquad (7)$$

Індикаторний ККД η_i прийняли рівним середній величині цього коефіцієнту за роботи двигуна на трьох циліндрах при незмінній системі газообміну згідно роботи [1]. Залежність питомої ефективної витрата палива від середнього індикаторного тиску показана на рис. 8.

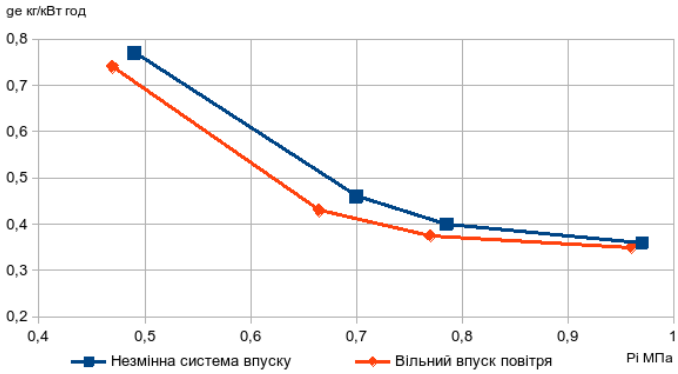


Рисунок 8 – Залежність питомої ефективної витрата палива
від середнього індикаторного тиску (n = 2000 хв$^{-1}$)
Figure 8 – Dependence of specific effective fuel consumption on the average
indicator pressure (n = 2000 rpm)

Як видно з показаної залежності, спосіб відключення циліндрів для реалізації комбінованого методу регулювання потужності двигуна з іскровим запалюванням впливає на паливну економічність. Перехід від способу відключення лише палива в групу циліндрів без змін системи газообміну до способу відключення палива з вільним впуском повітря до відключеної групи циліндрів дозволяє поліпшити економічність на 5..11%, і лише при повному відкритті дросельної заслінки працюючої групи циліндрів питома ефективна витрата палива однакова. Це пояснюється тим, що механічні втрати в двигуні, як показано вище, для цього режиму практично однакові.

Висновки. Розроблена методика оцінки впливу способу реалізації комбінованого методу регулювання потужності двигуна з іскровим запалюванням, а саме способу відключення групи циліндрів з використанням результатів відомих експериментальних досліджень і визначенням лише механічних втрат прокручуванням прогрітого двигуна. Доведено, що при відключенні групи циліндрів з вільним впуском повітря знижуються механічні втрати і поліпшується паливна економічність на 5...11 % в порівнянні з припиненням лише подачі палива з незмінною системою газообміну.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ричок С.О. Напрями удосконалення комбінованого методу регулювання потужності двигуна з іскровим запалюванням / Вісник НТУ Серія «Технічні науки», Випуск 3 (50), 2021. с. 180 – 187.

2. Редзюк А.М. Повышение топливной экономичности многоцилиндровых бензиновых двигателей в режимах малых нагрузок и холостого хода. – Дис.… канд. техн. наук. – Харьков, 1982. – 237 с.

3. Худолий Н.Н. Повышение топливной экономичности многоцилиндровых бензиновых двигателей совершенствованием способа регулирования мощности. Дисс. … канд.техн.наук. – Киев, 1983, – 309 с

4. Дядченко В.Л. Покращення паливної економічності багатоциліндрових двигунів з впорскуванням бензину в режимах малих навантажень і холостого ходу: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03/ Нац. транс.ун-т. – К., 2010. – 20 с.

5. Сирота О.В. Покращення паливної економічності і екологічних показників багатоциліндрового бензинового двигуна застосування комбінованого методу регулювання потужності: Дис… канд.. техн.. наук: 05.05.03. – К., 2011. – 295с.

6. Карев С.В. Покращення паливної економічності та екологічних показників бензинового двигуна з системою впорскування та зворотнім звязком. Дис… канд.. техн.. наук: 05.05.03. – К., 2014. – 232с.

7. Гутаревич Ю.Ф. Удосконалення комбінованого методу регулювання потужності сучасного бензинового двигуна / Гутаревич Ю.Ф., Карев С.В. / Вісник НТУ. – К. НТУ. 2011 – Випуск 23. – 230 с. – С. 114 -117.

8. Гутаревич Ю.Ф. Удосконалення комбінованого методу регулювання потужності сучасного бензинового двигуна / Гутаревич Ю.Ф., Карев С.В., Ющенко М.М. / Вісник НТУ. Серія «Технічні науки» Науково-технічний збірник – К. НТУ. 2018 – Випуск 1(40) – С. 105 -113.

REFERENCES

1. Rychok S.O. Ways to improve of the combined method of power control of a spark ignition engine / Visnik NTU Series «Technical sciences», 3 (50), 2021. p. 180 – 187.

2. Redzyuk A.M. Improving the fuel efficiency of multi-cylinder gasoline engines in low load and idle modes. – Dis .... Cand. tech. sciences. – Kharkov, 1982 .-- 237 p.

3. Khudoliy N.N. Improving the fuel efficiency of multi-cylinder gasoline engines by improving the power control method. Diss. ... Candidate of Engineering Sciences. – Kiev, 1983, – 309 s

4. Dyadchenko VL Improving the fuel economy of multi-cylinder engines with gasoline injection in low-load and idling modes: Abstract. dis. ... cand. tech. Science: 05.05.03 / Nat. trans.un-t. – K., 2010. – 20 c.

5. Sirota OV Improving fuel economy and environmental performance of a multi-cylinder gasoline engine using a combined method of power control: Dissertation Candidate of Technical Sciences: 05.05.03. – K., 2011. – 295p.

6. Karev SV Improving fuel economy and environmental performance of a gasoline engine with injection system and feedback. Dissertation for Technical Sciences: 05.05.03. – K., 2014. – 232p.

7. Gutarevich Yu.F. Improvement of the combined method of power regulation of a modern gasoline engine / Gutarevich Yu.F., Karev S.V. / Visnik NTU. – K. NTU. 2011 – 23. – 230 p. – P. 114 -117.

8. Gutarevich Yu.F. Improvement of the combined method of power regulation of a modern gasoline engine / Gutarevich Yu.F., Karev SV, Yushchenko MM / Visnik NTU. Series «Technical Sciences» Scientific and Technical Collection – K. NTU. 2018 – 1 (40) – P. 105 -113.

РЕФЕРАТ

Гутаревич Ю.Ф. Вплив способу реалізації комбінованого методу регулювання потужності двигуна з іскровим запалюванням на механічні втрати та паливну економічність / Ю.Ф. Гутаревич, С.О. Ричок // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

У статті розглянуто способи оцінки ефективності різних реалізацій комбінованого методу регулювання потужності двигуна з іскровим запалюванням на механічні втрати та паливну економічність.

Об’єкт дослідження – метод регулювання потужності двигуна з іскровим запалюванням.

Мета дослідження – оцінка різних способів удосконалення комбінованого методу регулювання потужності двигуна з іскровим запалюванням.

Проведене теоретичне дослідження різних реалізацій комбінованого методу регулювання потужності двигуна з іскровим запалюванням. При дослідженні враховувались результати попередніх досліджень у цьому напрямі. За результатами дослідження встановлено, що при відключенні групи циліндрів з вільним впуском повітря можна очікувати зниження механічних втрат і поліпшення паливної економічності в порівнянні з припиненням лише подачі палива з незмінною системою газообміну на 5...11 %.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВІДКЛЮЧЕННЯ ЦИЛІНДРІВ, ПАЛИВНА ЕКОНОМІЧНІСТЬ, РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ.

ABSTRACT

Gutarevich Y., Richok S. Ways to improve of the combined method of power control of a spark ignition engine. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The article considers ways to evaluate the influence of various implementations of the combined method of power regulating of the engine with spark ignition on mechanical losses and fuel economy.

The object of research is a method of power regulating of a spark-ignition engine.

The purpose of the study is to evaluate different ways to improve the combined method of power regulating of a spark-ignition engine.

A theoretical study of various implementations of the combined method of power regulating of the engine with spark ignition. The study took into account the results of previous studies in this area. According to the results of this study, it is established that when the group of cylinders is deactivated with free air intake, mechanical losses can be reduced and fuel efficiency can be improved by 5...11% in comparison with disabling only a fuel supply with unchanged gas exchange system .

KEY WORDS: CYLINDER DISCONNECTION, FUEL ECONOMY, POWER ADJUSTMENT.

АВТОРИ:

Гутаревич Юрій Феодосійович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідуючий кафедрою «Двигуни і теплотехніка», e-mail: katedradvz.ntu@gmail.com, тел. +380442804716, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 302.

Ричок Сергій Олексійович, провідний інженер ДП «ДержавтотрансНДІпроект», Київ, Україна, email: srychok@insat.org.ua, orcid.org/0000-0002-7003-5116, тел. +38(044) 201 0863, м. Київ, вул. Новомостицька 2а, кв. 7.

AUTHOR:

Gutarevich Yurii F. Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, head of the department «Engines and Heating», e-mail: katedradvz.ntu@gmail.com, tel. +380442804716, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovych-Pavlenko str. 1, of 302.

Rychok Sergiy, lead engineer, State Enterprise «State Road Transport Research Institute», Kyiv, Ukraine, email: srychok@insat.org.ua, orcid.org/0000-0002-7003-5116, тел. +38(044) 201 0863, Kyiv, Novomostitska str. 2a, fвул. Новомостицька 2а, app. 7.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Клименко Олексій Андрійович, заступник директора з наукової роботи ДП «ДержавтотрансНДІпроект», доктор технічних наук, доцент, дійсний член Транспортної академії України

Мусійко Володимир Данилович, доктор технічних наук, професор, академік Транспортної та Підйомно-транспортної Академій України, завідувач «кафедри дорожніх машин» Національного транспортного університету

REVIEWER:

Oleksiy Andriyovych Klymenko, Deputy Director for Scientific Work of DerzhavtotransNDIproekt, PhD, Engineering (Dr.), Associate Professor, Full Member of the Transport Academy of Ukraine

Musiyko Volodymyr Danylovych, PhD, Engineering (Dr.), Professor, Academician of the Transport and Lifting and Transport Academies of Ukraine, Head of the Department of Road Machines of the National Transport University

УДК 656.013
UDC 656.013
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-159-171

ДИНАМІЧНА МАРШРУТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ У МІСТАХ НА БАЗІ СИНЕРГЕТИЧНОГО ПІДХОДУ

Данчук В.Д., доктор фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, vdanchuk@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3936-4509

Сватко В.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, vsvatko83@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0712-5688

Рудоман Н.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, nadiiarudoman@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7923-8649

DYNAMIC ROUTING OF CARGO DELIVERY PROCESSES IN CITIES BASE ON SYNERGETIC APPROACH

Danchuk V.D., Dr. Sc. (Phys.-Math.), National Transport University, Kyiv, Ukraine, vdanchuk@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3936-4509

Svatko V.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, vsvatko83@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0712-5688

Rudoman N.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, nadiiarudoman@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7923-8649

Постановка проблеми. Однією із найбільш гострих проблем в сучасних умовах є відставання темпів розвитку вулично–дорожньої мережі (ВДМ) від реальних потреб міста. Зростання рівня автомобілізації у містах призводить до інтенсифікації дорожнього руху, зменшенню швидкості руху транспортних потоків, виникнення заторів. В свою чергу, це суттєво впливає на навантаження транспортних мереж міст, резерви пропускної здатності яких на сьогодні часто є вичерпаними. Тривалі затори на дорогах все частіше стають причиною не лише часових, але й економічних втрат.

Найбільш перспективним напрямком вирішення цих проблем є розробка, впровадження і застосування інтелектуальних транспортних систем (ІТС). У таких умовах особлива увага повинна приділятися розробці сучасних методів та моделям раціональної організації і управління дорожнім рухом як методологічної бази створення ІТС. Однією з важливих задач, які повинні вирішуватись при застосування ІТС, є ефективне управління процесом динамічної маршрутизації вантажних перевезень в режимі реального часу з урахуванням реальної динаміки транспортних потоків на міській ВДМ. При вирішенні такої задачі актуальним є розробка сучасних підходів, моделей та методів, а також проведення імітаційного моделювання оптимізації процесів доставки вантажів в умовах реальної динаміки транспортних потоків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день існує велика кількість статей, які присвячені розробці та застосуванню різних класичних методів для розв’язання задач дискретної оптимізації маршрутів транспортних перевезень в містах. Як показує аналіз, більшість методів, наведених в цих статтях, не є досконалими і не дають однозначних рішень [1-5].

В останні роки, більш перспективними для вирішення задач маршрутизації різної фізичної природи можна вважати застосування методів еволюційного програмування, в першу чергу це стосується генетичного алгоритму [6-8] та методу, що базується на ефектах самоорганізації мурашиних агентів [9]. Порівняльний аналіз цих методів вказує на ряд обмежень при використанні генетичного алгоритму [10-11]. Зокрема, застосування генетичного алгоритму призводить до отримання більш коректних результатів у випадку розв’язку задач маршрутизації високої розмірності. Це не завжди є застосовним для вирішення транспортних проблем міста. Так, наприклад, задача доставки дрібносерійного вантажу в межах мегаполіса часто містить 10-50 пунктів призначення. Відповідно, класичний мурашиний алгоритм [9] дає значно кращі результати для задач оптимізації з розмірністю до 100 точок [10-11].

Поряд с цим, слід зазначити, що існуючі на сьогоднішній день методи та моделі оптимізації маршруту транспортних перевезень в основному вирішують задачі маршрутизації для стаціонарних станів транспортної мережі, коли швидкості на ділянках таких мереж не змінюються.

В [12] запропоновано метод оптимізації маршруту транспортних перевезень на базі модифікованого мурашиного алгоритму з урахуванням зміни швидкості руху транспортних потоків на певних ділянках ВДМ. Тут, принциповою відмінністю [12] від існуючих на сьогоднішній день

модифікацій мурашиного алгоритму [13-15] є те, що циклічний рух колонії, де мурахи рухаються із сталими швидкостями замінено на асинхронний рух кожної мурахи з певною швидкістю. Це дозволяє проводити імітаційні моделювання оптимізації маршруту в умовах реальної динаміки транспортних потоків на ділянках мережі, де мурашині агенти, як аналоги транспортних засобів, рухаються із відповідними швидкостями.

Проте в [12] при проведенні моделювання процесів оптимізації маршрутів швидкість транспортного потоку на певних ділянках ВДМ зменшувалась лінійно без врахування особливостей динаміки транспортних потоків в області високої щільності.

Необхідно визнати, що в останні роки спостерігається бурхливий розвиток теоретичних уявлень, моделей, методів щодо опису нелінійних нерівноважних дисипативних процесів та явищ, які відбуваються в системах різної фізичної природи, наприклад, в області фазових переходів молекулярних кристалів, самоорганізації діяльності підприємства під впливом зовнішніх стохастичних та детермінованих змін чинників нелінійного ринкового середовища (дивись, наприклад, [16-17]). Одним з основних підходів, що застосовується для опису таких процесів, є синергетичний підхід, який базується на принципах самоорганізації.

Проте, до цього часу проблемам розробки синергетичних уявлень нестаціонарної динаміки в області щільного транспортного потоку не приділялось достатньої уваги. Тут, можна навести роботу [18], де вперше запропоновано теорію фазового переходу від фази вільного потоку до фази щільного транспортного потоку в рамках синергетичної моделі Лоренца. Однак, в рамках цієї теорії питання визначення теоретичної залежності швидкості транспортного потоку від щільності завантаження ВДМ залишилось відкритим [18].

Метою цієї роботи є проведення в рамках синергетичного підходу імітаційного моделювання процесів оптимізації маршрутів доставки вантажів з урахуванням нестаціонарної динаміки транспортного потоку на ділянках міській ВДМ. Тут дискретна оптимізація маршрутів здійснюється за допомогою модифікованого алгоритму самоорганізації мурашиної колонії [12]. При цьому, аналітичні залежності зміни швидкості транспортного потоку від характерного часу та щільності завантаженості на ділянках ВДМ визначається в рамках синергетичної моделі Лоренца.

Синергетичний підхід щодо оптимізації маршрутів на міських ВДМ в умовах нестаціонарної динаміки транспортних потоків. В [19] експериментально показано, що виникнення щільного транспортного потоку відбувається в результаті фазового переходу першого роду від режиму вільного руху до режиму синхронізованого руху транспортного потоку і далі руху широкого кластеру автомобілів. Подальше збільшення щільності транспортного потоку призводить до виникнення заторів. В [5,19] в рамках теорії клітинних автоматів наведена теоретична інтерпретація залежності швидкості від щільності транспортного потоку. Однак, ці теоретичні уявлення не дають задовільних результатів руху автомобілів в області щільного транспортного потоку.

В [18] вперше представлено в рамках моделі Лоренца синергетичний підхід для опису фазового переходу між різними режимами динаміки транспортного потоку. Цей перехід має властивість фазового переходу рідина-пар, де вільний та ускладнений рух автомобілів відповідає паровій та рідкій фазам. Перехід між відповідними станами відбувається, коли щільність автомобілів досягає критичного значення. Транспортний потік зі збільшеною щільністю та нестійкою однорідною частиною супроводжується виникненням затору на ВДМ. В даній роботі, на відміну від [18], наводиться теоретичний опис нестаціонарної динаміки транспортного потоку в рамках синергетичної моделі Лоренца з урахуванням динамічних габаритів транспортних засобів, що є найбільш характерними для певного транспортного потоку, який формується на певній ділянці ВДМ у певний проміжок часу.

Такі транспортні засоби в цій роботі розглядаються в рамках концепції ефективного автомобіля. За своєю суттю ефективний автомобіль – це модельний елемент системи, який описує транспортний рух в рамках певної мікроскопічної моделі. Він має техніко-експлуатаційні параметри транспортного засобу, які є найбільш характерними для транспортного потоку, що формується на певній ділянці ВДМ у певному проміжку часу. При цьому враховується його взаємодія з іншими транспортними засобами як учасниками формування цього транспортного потоку.

Отже, згідно [18] перехід між режимами транспортного потоку уявляється як фазовий перехід першого роду, характер якого визначається відстанню між автомобілями $\Delta x(t)$, що відіграє роль об'єму чи щільності, та оберненим часом затримки (часом розгону/гальмування) $1/\tau$, що відповідає температурі. Для опису використовується рівняння руху n-го автомобіля:

$$dx_n/d(t+\tau) = v(\Delta x_n(t)) \qquad (1)$$

Тут задається оптимальна швидкість $v(\Delta x_n(t))$, яка задовольняє наступним вимогам:

- $v(\Delta x_n)$ – монотонно зростаюча функція;
- має верхню межу;
- при інтервалі між автомобілями, що рівний критичному значенню h_c, має точку налаштування.

В процесі досліджень даної моделі отримано умову стійкості, згідно якої при появі незначного впливу в однорідному потоці автомобілів, він залишається стабільним, якщо час затримки відповідає нерівності

$$1/\tau > 2v'(h), \tag{2}$$

де $v'(h) = dv(\Delta x_n/d\Delta x_n|\Delta x_n = h$

Для найпростішої моделі автомобілів, що рухаються один за одним величини

$$\eta = h - \Delta x,\ \ \Delta x = h - \eta, \tag{3}$$

де η – відхилення від оптимального значення інтервалу між транспортними засобами;

Δx – реальне значення відстані між транспортними засобами;

h – оптимальне значення інтервалу між транспортними засобами.

$$v = \Delta\dot{x} = h/t_0 - v_0,\ v = \Delta\dot{x} = -\dot{\eta} \tag{4}$$

де v -- швидкість відхилення від оптимального значення інтервалу між транспортними засобами;

$\Delta\dot{x}$ – реальне значення швидкості відхилення від оптимального значення інтервалу між транспортними засобами.

Відхилення інтервалу між транспортними засобами та швидкості його зміни від відповідних оптимальних значень h та $h/t_0 - v_0$ (t_0 - характерний часовий інтервал, v_0 - швидкість автомобіля) відіграють роль параметру порядку та спряженого поля відповідно. Таким чином, поведінка транспортного потоку характеризується величинами η, v та часом розгону/гальмування τ, що зводиться до управляючого параметру. Нехай вказані величини є дисипативними, і їх релаксація до рівноважних значень описується рівнянням Дебая. Основою синергетичного підходу є те, що позитивний зворотній зв'язок між змінними η і τ може призвести до самоорганізації системи, яка є причиною переходу між режимами транспортного потоку. Для забезпечення стабільності системи введемо від'ємний зворотній зв'язок між η та v. Отримані в результаті рівняння, що визначають часові залежності $\eta(t)$, $v(t)$ та $\tau(t)$, формально співпадають з системою Лоренца, яка описує систему, що самоорганізовується [2]:

$$\begin{cases} \dot{\eta} = -\eta/t_\eta + v, \\ \dot{v} = -v/t_v + g_v\eta\tau, \\ \dot{\tau} = (\tau_0 - \tau)/t_\tau - g_\tau\eta v \end{cases} \tag{5-7}$$

Тут крапка означає диференціювання по часу; t_η, t_v, t_τ - відповідно часи релаксації; g_v, g_τ - додаткові константи зв'язку між динамічними змінними. Рівняння (5) – (7) є основою самоузгодженого опису моделі автомобілів, що рухаються один за одним. Суттєвою особливістю даної моделі є те, що у (6) – (7) входять нелінійні складові з різними знаками, в той час як рівняння (5) – лінійне. Останнє обумовлено тим, що відхилення швидкості v є похідною відхилення інтервалу η по часу. Друга складова в правій частині (6) описує додатній зворотній зв'язок між відхиленням інтервалу та часу розгону/гальмування, в результаті чого збільшується значення v, що є причиною виникнення транспортного затору. Кінетичне рівняння для величини τ відрізняється тим, що релаксація відбувається не до нуля, а до кінцевого значення τ_0, що визначає час, необхідний автомобілю для досягнення характерної швидкості (техніко-експлуатаційна характеристика транспортного засобу). Знак мінус перед останнім елементом в правій частині рівняння (7) можна розглядати як виникнення принципу Ле-Шательє, оскільки збільшення часу розгону/гальмування τ призводить до виникнення потоку машин, при чому ріст величин η і v заважає збільшенню τ.

Стаціонарне значення відхилення інтервалу η має вигляд:

$$\eta_e^m = \eta_{00}\left\{1 \pm [1 + \eta_0^2\eta_{00}^{-4}(\tau_0 - \tau_c)]^{\frac{1}{2}}\right\}^{\frac{1}{2}}$$
$$2\eta_{00}^2 = (\tau_0 - 1) - \tau_c\eta_0^2,\ \tau_c = 1 + k \quad (8)$$

Верхній знак в правій частині рівняння (8) відповідає значенню η^m для нестійкого стану, а нижній знак відповідає стійкому стану η_e. Відповідне значення стаціонарного часу розгону/гальмування

$$\tau^m = \frac{1+\eta_{00}^2+\sqrt{(1+\eta_{00}^2)^2-(1-\eta_0^2)^2\tau_0}}{1-\eta_0^2} \quad (9)$$

що плавно зростає від значення

$$\tau_m = 1 + \eta_0\sqrt{k/(1-\eta_0^2)} \quad (10)$$

при

$$\tau_0 = \tau_{c0} = (1-\eta_0^2)\tau_m^2 \quad (11)$$

до граничного значення $\tau_c = 1 + k$ при $\tau_0 = \tau_c$.

Згідно (4) легко знайти швидкість автомобіля υ у синхронізованому режимі, коли існує взаємодія між транспортними засобами, що призводить до формування транспортного затору. При цьому значення швидкості обумовлене проявом синергетичних ефектів, які описуються системою рівнянь (5–7).

$$\upsilon = \eta_e^m = \frac{1}{\sqrt[4]{\eta_{00}^2 \mp \sqrt{\eta_{00}^4+\eta_0^2(\tau_0-\tau_c)}}}\left(1 \mp \frac{\eta_0^2-\eta_{00}^2}{\sqrt{\eta_{00}^4+\eta_0^2(\tau_0-\tau_c)}}\right) \quad (12)$$

Верхній знак в правій частині рівняння (12) відповідає значенню для нестійкого стану, а нижній знак відповідає стійкому стану.

На основі отриманих розрахунків побудуємо залежності стаціонарного значення відхилення від оптимального значення інтервалу між транспортними засобами η_e^m та швидкості υ від значення τ_0, що визначає час, необхідний автомобілю для досягнення характерної швидкості. Значення $\eta_e^m, \upsilon, \tau_0$, наведені у відносних одиницях.

Одним з найголовніших показників, що характеризує завантаженість транспортної мережі є щільність транспортного потоку ρ, яка визначається як кількість транспортних засобів, що знаходяться в даний момент часу на заданій ділянці дороги. Максимальне значення щільності ρ_{max} відповідає кількості нерухомих транспортних засобів розташованих впритул один до одного. Виходячи з цього, можна визначити залежність між щільністю та реальною відстанню між транспортними засобами за наступною формулою:

$$\rho \sim \frac{1}{\Delta x} \quad (13)$$

де ρ - щільність завантаження транспортної мережі;

Δx - реальні відстані між транспортними засобами.

Оскільки, згідно (3) $\Delta x = h - \eta$ маємо:

$$\rho \sim \frac{1}{h-\eta} \quad (14)$$

Крім того, розглядаючи модель ефективного автомобіля як ефективну характеристику транспортного засобу реального транспортного потоку, можна описувати динаміку фазових переходів транспортного потоку в теорії Кернера в рамках синергетичного підходу, розвинутого в даній роботі.

Тоді, використовуючи формули (12), (14), можна побудувати залежність швидкості руху транспортного потоку υ від показників завантаженості дорожньо-транспортної мережі ρ.

Як показано у [20] швидкість транспортного потоку залишається незмінно високою до досягнення певного значення щільності транспортного потоку на певній ділянці транспортної мережі (в нашому випадку до значення $\rho = 0.655$). В цій точці відбувається фазовий перехід від вільного режиму руху транспортних засобів до синхронізованого режиму. Тут швидкість транспортного потоку починає різко зменшуватись при збільшені щільності транспортного потоку. При досягнені критичного значення щільності (в нашому випадку до значення $\rho = 0.731$) значення швидкості транспортного потоку наближається до нуля і далі практично не змінюється. Цей стан відповідає стану руху широкого кластеру. При певних умовах швидкість може зменшуватись до нуля, що відповідає стану транспортного затору.

Метод оптимізації маршруту доставки вантажів, що базується на ефекті самоорганізації мурашиної колонії. Згідно [12] ВДМ будемо представляти у вигляді двонаправлено орієнтованого зваженого графа. У вузлах такого графа розташовані пункти доставки товару (склади, супермаркети, тощо) зі складу відправника за допомогою транспортного засобу, що рухається у ВДМ міста. Фізичний сенс ваг ребер, які з'єднують певну пару вузлів графа, залежить від характеру розв'язуваної задачі. Це можуть бути відстані між пунктами, середні швидкості або середній час, вартість проїзду транспортного засобу в транспортному потоці на певних ділянках мережі. Оптимізація маршрутів руху транспортного засобу здійсню в рамках задачі комівояжера за допомогою алгоритму самоорганізації мурашиної колонії [9]. Ця задача формулюється як задача пошуку мінімального за певним параметром замкнутого маршруту по всіх вершинах, які відвідує комівояжер, без повторень на певному зваженому графі з кількістю вершин m та кількістю ребер n. Тут параметрами оптимізації можуть бути довжина маршруту, середня швидкість або середній час, вартість проїзду за маршрутом. Для зручності будемо вважати, що місце виїзду та повернення транспортного засобу може відбуватись з будь-якого вузла графа.

Для вирішення задач маршрутизації з урахуванням можливості розгляду реальної поведінки транспортного потоку (виникнення заторів, ремонту доріг, аварійних ситуацій тощо) будемо розглядати динамічний двонаправлено орієнтований зважений граф. Ваги ребер в цьому графі визначаються середнім часом проїзду транспортного засобу в транспортному потоці на певних ділянках мережі між пунктами доставки (вузлами графа). Крім того, в класичний алгоритм мурашиної колонії вносяться відповідні модифікації згідно [12].

Застосування такого модифікованого методу мурашиного алгоритму для оптимізації маршруту доставки товару з урахуванням динаміки транспортного потоку здійснюється при наступних припущеннях:

– на всіх ділянках ВДМ рух виділеного транспортного засобу здійснюється в рамках двосмугового двостороннього транспортного потоку;

– у кожній сукупності n_j ділянок ВДМ, що відповідає j-му ребру графу, завжди знайдуться альтернативні варіанти проїзду;

– зміна середнього часу проїзду та середньої швидкості проїзду в основному залежать від змін режимів динаміки транспортного потоку, які не включають в себе зупинки або затримки через дії регулюючих сигналів світлофорів.

Кожен маршрут між точкою відправки і точкою доставки товару в межах транспортної мережі має певну кількість альтернатив. Це означає, що доставити вантаж з однієї точки до іншої можна декількома маршрутами, які відрізняються лише довжиною та середньої швидкістю транспортного потоку на них. В нашому випадку будемо вважати, що середній час проходження по n-му ребру між двома вузлами графу знаходиться наступним чином:

$$t_n = \frac{l_n}{\upsilon_n}, \tag{15}$$

де t_n – середній час, витрачений на проходження n-го ребра, год;

l_n – довжина n-го ребра, км;

υ_n – середня швидкість транспортного потоку по n-му ребру, км/год.

Оскільки значення реальної швидкості руху транспортних потоків на кожній ділянці дорожньо-транспортної мережі може змінюватись, то відповідно, значення часу проходження шляху відповідних ділянок ВДМ також є змінною величиною. Отже, при побудові оптимального за часом маршруту доставки вантажів враховується інформація про реальний стан ВДМ на момент побудови маршруту.

При цьому, зрозуміло, що при деяких граничних значеннях швидкості руху транспортного потоку на певних ділянках ВДМ можлива перебудова оптимального за часом маршруту руху на ВДМ транспортного засобу для доставки товару у пункти призначення.

Синергетичний метод оптимізації маршруту доставки товарів на міській ВДМ з урахуванням нестаціонарної динаміки транспортного потоку на її ділянках, що пропонується в цій роботі, полягає в наступному. Спочатку визначаються параметри пункту відправки та пунктів доставки товарів на відповідній ВДМ міста або на її фрагменті. Далі проводяться експериментальні спостереження залежності щільності транспортного потоку від часу на ділянках мережі за обраний проміжок часу. Потім, використовуючи аналітичні залежності швидкості транспортного потоку від щільності (12) – (14), що отримані в рамках синергетичної моделі Лоренца, визначаються швидкості транспортного потоку на цих ділянках в певні моменти часу спостереження. Після цього проводять імітаційні моделювання процесів оптимізації маршруту в залежності від швидкостей транспортних потоків на ділянках ВДМ згідно модифікованого мурашиного алгоритму [20].

Таким чином, при побудові оптимального за часом маршруту доставки вантажів враховується інформація про реальний стан ВДМ на момент побудови маршруту. При цьому, зрозуміло, що при певних значеннях швидкості руху транспортного потоку на певних ділянках ВДМ можлива перебудова оптимального за часом маршруту руху на ВДМ транспортного засобу для доставки товару у пункти призначення.

Застосування методу на прикладі ВДМ м. Києва. Результати імітаційного моделювання та їх обговорення. Для проведення процесу моделювання процесів оптимізації маршруту доставки товарів було обрано місто Київ. Такий вибір обумовлений декількома факторами:

- велика кількість торгових точок (покупців, магазинів, торгових центрів тощо);
- наявність розгалуженої дорожньо-транспортної мережі;
- висока інтенсивність та щільність транспортних потоків на більшості ділянок ВДМ;
- висока ймовірність виникнення заторів на ділянках з великою щільністю транспортних потоків;
- наявність засобів фіксації транспортних потоків (камер відеоспостереження в режимі реального часу) та відкритий доступ до них;
- можливість порівнювати результати моделювання з експериментальними даними.

Було визначено 20 пунктів доставки вантажів, що розташовані у декількох районах міста Києва. Цими районами є Дарницький, Деснянський та Печерський райони. Інформацію про торгові точки та адреси їх розташування наведено у [20].

Будемо вважати, що послідовність проходження вказаних точок визначається часом їх обходу. Середній час руху на кожній ділянці мережі визначався згідно (15). Побудова оптимального маршруту обходу всіх 20 пунктів доставки з врахуванням реальної динаміки транспортних потоків в певний момент часу здійснювалась згідно методу, шо описаний у [20].

Вихідними даними для моделювання були відстані між пунктами та часи руху транспортного потоку на кожній ділянці ВДМ, що отримано для вільного руху транспортних засобів на цих ділянках. При цьому швидкості на ділянках вибирались максимальними, які відповідали значенням дорожніх знаків обмеження швидкості (50 км/год.). Ці дані наведені в [20].

Критерієм оптимізації обрано час маршруту доставки вантажу до всіх обраних торгових пунктів. Використовуючи модифікований мурашиний алгоритм, було знайдено оптимальний за часом маршрут доставки вантажів для 20 торгових пунктів для вихідних даних моделювання. Цей оптимальний маршрут має наступний вигляд: 10 - 9 - 5 - 7 - 4 - 6 - 3 - 2 - 1 - 12 - 15 - 14 - 19 - 20 - 18 - 16 - 17 - 11 - 13 - 8 - 10 (нумерація торгових точок відповідає нумерації, наведеній в [20]). В цьому випадку час доставки вантажів складає 86.2 хв, а довжина маршруту становить – 71.65 км.

Для проведення імітаційного моделювання процесів побудови оптимального маршруту в умовах, наближених до реального стану ВДМ, було обрано три ділянки ВДМ, на яких проводились експериментальні спостереження залежності щільності транспортного потоку від часу протягом доби. Це такі ділянки (рисунок 1):

- Північний міст в обидва напрями (ділянка ВДМ 14 – 19);
- метро Дружби народів – міст Патона (ділянка ВДМ 17 – 11);
- перетин вулиці Братиславська та проспекту Лісовий в обидва напрями (ділянка ВДМ 13 – 8).



а) б) в)

Рисунок 1 – Досліджувані ділянки ВДМ м. Києва: а) метро Дружби народів – міст Патона; б) Північний міст; в) вулиця Братиславська – проспект Лісовий

Figure 1 – The investigated sections of the Kyiv urban road network: a) metro Druzhby Narodov - Paton Bridge; b) North Bridge; c) Bratislavskaya Street - Lesnaya Avenue

Обрання вказаних ділянок для модельного дослідження обумовлено тим, що вони входять до визначеного при вільному русі початкового оптимального маршруту, а також великою їх завантаженістю, частим виникненням транспортних заторів та ускладнень руху протягом доби, що призводить до суттєвого зменшення швидкості руху транспортних потоків на них.

Кожна із обраних ділянок має певні особливості у своїх характеристиках. Так, ділянка ВДМ м. Києва метро Дружби народів – міст Патона в обидва напрями має по 3 смуги руху транспортних потоків та одну смугу руху громадського транспорту. Крім того, на вказаній ділянці передбачене світлофорне регулювання. На ділянці ВДМ Північний міст в обидва напрями передбачено по три смуги руху транспортних потоків та одна смуга для руху громадського транспорту в кожному напрямі. Додаткових обмежень на вказаній ділянці не встановлено, світлофорне регулювання відсутнє. Ділянка ВДМ на перетині вулиці Братиславська та проспекту Лісовий має по три смуги руху транспортних потоків автомобілів та одну смугу для руху громадського транспорту в кожному напрямі. На вказаній ділянці передбачене світлофорне регулювання.

Під час дослідження протягом 5 діб з інтервалом 1 хвилина відбувались щодобові спостереження за кількістю транспортних засобів, що заповнюють відповідні ділянки ВДМ в певні моменти часу доби. Отже, середні значення кількості автомобілів для певних моментів часу визначались за п’ятьма вимірюваннями. Отримані дані в подальшому використовувались для розрахунку таких показників транспортного потоку як середня інтенсивність та середня щільність. Далі згідно до (12) – (14) для певних моментів часу доби визначались середні швидкості транспортних потоків в залежності від показників середньої щільності на вказаних ділянках ВДМ. Відносна похибка вимірювання для всіх зазначених показників не перевищувала 7% – 10%. На всіх інших ділянках ВДМ під час спостереження швидкості транспортних потоків вважались рівними 50 км/год.

Отримані залежності середньої щільності транспортних потоків від часу доби на досліджуваних ділянках ВДМ протягом доби, наведено у [20].

Далі, на підставі отриманих даних середньої щільності транспортних потоків на досліджуваних ділянках ВДМ в певні моменти часу доби визначались відповідні швидкості транспортних потоків на цих ділянках згідно з (12) – (14).

При проведенні моделювання було виявлено низку ефектів (Табл.1). Ці ефекти пов’язані з перебудовою оптимальних маршрутів при зменшені середніх швидкостей руху транспортних засобів на модельних ділянках ВДМ до певних граничних значень, які відповідають певним режимам руху транспортних потоків.

Так, протягом доби в діапазонах від 00:00 до 07:05; від 08:50 до 09:15; від 10:00 до 17:10; 17:20; від 22:00 до 24:00 щільність транспортних потоків на досліджуваних ділянках менше 0.6, що відповідає вільному руху транспортного потоку. Оптимальний маршрут при цьому має вигляд: 10 - 9 - 5 - 7 - 4 - 6 - 3 - 2 - 1 - 12 - 15 - 14 - 19 - 20 - 18 - 16 - 17 - 11 - 13 - 8 – 10, час проходження маршруту 86.2 хв, а його довжина – 71.65 км. Отримані параметри для цих станів ВДМ, що зрозуміло, повністю збігаються з вихідними даними, наведеними вище. Такий же оптимальний маршрут ми спостерігаємо і о 07:10 та 21:00, хоча тут на ділянці 17 – 11 (метро Дружби народів – міст Патона) автомобілі рухаються у синхронізованому режимі (Табл.1). Це призводить тільки до певного збільшення часу маршруту (87.8 min) за рахунок зменшення швидкості на цій ділянці до 43 км/год.

Таблиця 1 – Результати імітаційного моделювання процесів побудови оптимального маршруту доставки товарів в залежності від реальної динаміки транспортних потоків на ділянках ВДМ м. Києва

Table 1 – Results of simulation of processes of building of the optimal route of delivery of goods depending on real dynamics of transport flows on sections of the Kyiv urban road network

Час доби, год	14-19		17-11		13-8		Маршрут	Час, хв	Довж-на, км
	υ, км/год	ρ, (в.од.)	υ, км/год	ρ, (в.од.)	υ, км/год	ρ, (в.од.)			
00:00-07:05	50	<0.6	50	<0.6	50	<0.6	10 - 9 - 5 - 7 - 4 - 6 - 3 - 2 - 1 - 12 - 15 - 14 - 19 - 20 - 18 - 16 - 17 - 11 - 13 - 8 - 10	86.2	71.65
07:10	50	0.6	43	0.66	50	0.5	10 - 9 - 5 - 7 - 4 - 6 - 3 - 2 - 1 - 12 - 15 - 14 - 19 - 20 - 18 - 16 - 17 - 11 - 13 - 8 - 10	87.8	71.65
07:15	30	0.67	23	0.68	50	0.63	3 - 6 - 9 - 7 - 10 - 12 - 13 - 15 - 14 - 2 - 5 - 1 - 11 - 16 - 17 - 18 - 19 - 20 - 8 - 4 - 3	88.7	73.8
07:20-08:05	18	>0.69	13	>0.7	13	>0.7	13 - 6 - 10 - 5 - 4 - 3 - 8 - 9 - 7 - 2 - 11 - 12 - 14 - 15 - 20 - 18 - 19 - 16 - 17 - 1 - 13	89.2	74.3
08:10-08:45	50	<0.6	50	<0.6	13	>0.7	8 - 2 - 4 - 10 - 7 - 5 - 12 - 13 - 15 - 14 - 18 - 19 - 20 - 16 - 17 - 9 - 11 - 1 - 3 - 6 - 8	88.1	73.25
08:50-09:15	50	<0.6	50	<0.6	50	<0.6	10 - 9 - 5 - 7 - 4 - 6 - 3 - 2 - 1 - 12 - 15 - 14 - 19 - 20 - 18 - 16 - 17 - 11 - 13 - 8 - 10	86.2	71.65
09:20	50	<0.6	50	<0.6	23	0.68	1 - 2 - 5 - 7 - 13 - 12 - 14 - 4 - 8 - 6 - 3 - 9 - 10 - 15 - 20 - 19 - 18 - 16 - 17 - 11 - 1	87.7	72.9
09:25	50	<0.6	50	<0.6	3	0.79	8 - 2 - 4 - 10 - 7 - 5 - 12 - 13 - 15 - 14 - 18 - 19 - 20 - 16 - 17 - 9 - 11 - 1 - 3 - 6 - 8	88.1	73.25
09:30-09:40	50	<0.6	50	<0.6	15	>0.7	1 - 2 - 5 - 7 - 13 - 12 - 14 - 4 - 8 - 6 - 3 - 9 - 10 - 15 - 20 - 19 - 18 - 16 - 17 - 11 - 1	87.7	72.9
09:45-09:55	50	<0.6	50	<0.6	3	0.8	8 - 2 - 4 - 10 - 7 - 5 - 12 - 13 - 15 - 14 - 18 - 19 - 20 - 16 - 17 - 9 - 11 - 1 - 3 - 6 - 8	88.1	73.25
10:00-17:10	50	<0.6	50	<0.6	50	<0.6	10 - 9 - 5 - 7 - 4 - 6 - 3 - 2 - 1 - 12 - 15 - 14 - 19 - 20 - 18 - 16 - 17 - 11 - 13 - 8 - 10	86.2	71.65
17:15	50	<0.6	3	0.9	50	<0.6	8 - 2 - 4 - 10 - 7 - 5 - 12 - 13 - 15 - 14 - 18 - 19 - 20 - 16 - 17 - 9 - 11 - 1 - 3 - 6 - 8	88.1	73.25
17:20	50	<0.6	50	<0.6	50	<0.6	10 - 9 - 5 - 7 - 4 - 6 - 3 - 2 - 1 - 12 - 15 - 14 - 19 - 20 - 18 - 16 - 17 - 11 - 13 - 8 - 10	86.2	71.65
17:25	50	<0.6	50	<0.6	3	0.79	8 - 2 - 4 - 10 - 7 - 5 - 12 - 13 - 15 - 14 - 18 - 19 - 20 - 16 - 17 - 9 - 11 - 1 - 3 - 6 - 8	88.1	73.25
17:30-20:00	50	<0.6	3	<0.73	50	<0.6	8 - 2 - 4 - 10 - 7 - 5 - 12 - 13 - 15 - 14 - 18 - 19 - 20 - 16 - 17 - 9 - 11 - 1 - 3 - 6 - 8	88.1	73.25
21:00	50	<0.6	43	0.66	50	<0.6	10 - 9 - 5 - 7 - 4 - 6 - 3 - 2 - 1 - 12 - 15 - 14 - 19 - 20 - 18 - 16 - 17 - 11 - 13 - 8 - 10	87.8	71.65
22:00-24:00	50	<0.6	50	<0.6	50	<0.6	10 - 9 - 5 - 7 - 4 - 6 - 3 - 2 - 1 - 12 - 15 - 14 - 19 - 20 - 18 - 16 - 17 - 11 - 13 - 8 - 10	86.2	71.65

**сірим фоном відмічені значення швидкості υ та щільності транспортного потоку на модельних ділянках ВДМ, які відповідають щільному стану завантаженості транспортної мережі*

Динаміку зміни часу та довжини проходження оптимального маршруту протягом доби наведено відповідно на рис. 2 та рис. 3.



Рисунок 2 – Динаміка зміни часу проходження оптимального маршруту протягом доби
Figure 2 – Dynamics of change of time of passing of an optimum route during the day



Рисунок 3 – Динаміка зміни довжини оптимального маршруту протягом доби
Figure 3 – Dynamics of change in the length of the optimal route during the day

Принципово змінюється ситуація в інші інтервали доби. Тут інтенсивність руху на певних модельних ділянках досліджуваної ВДМ суттєво збільшується. В деяких випадках рух транспортних потоків здійснюється не тільки у синхронізованому режимі, але й в режимі руху широкого кластера, виникнення затору (Табл.1). Це призводить до суттєвого зменшення швидкості на цих ділянках ВДМ і, відповідно, до перебудови конфігурації оптимального маршруту загалом. При цьому, з нових конфігурацій оптимального маршруту вилучаються деякі або всі модельні ділянки ВДМ: 14-19 (Північний міст), 17-11 (метро Дружби народів – міст Патона), 13 – 8 (перетин вулиці Братиславська та проспекту Лісовий) (дивись таблицю 3).

Так, наприклад, в інтервалі часу від 09:30 до 09:40 щільність транспортного потоку на ділянці 13 – 8 ВДМ стає більшою за 0.7, що відповідає режиму руху широкого кластера на цій ділянці, при вільному русі автомобілів на інших ділянках ВДМ (Табл.1). Розрахунки згідно запропонованого методу показують, що тут відбувається перебудова оптимального маршруту доставки товару так, що з нього вилучаються дві модельні ділянки ВДМ 14-19 та 13-8. У наступний проміжок часу спостереження від 09:45 до 09:55 щільність транспортного потоку на ділянці 13 – 8 продовжує збільшуватись, наближаючи стан транспортного потоку на цій ділянці до затору. Це призводить до перебудови оптимального маршруту, з якого вилучаються всі три модельні ділянки 14-19, 13-8 та 17-11 (дивись таблицю 3). При цьому оптимальний маршрут має таку конфігурацію – 8 - 2 - 4 - 10 - 7 - 5 - 12 - 13 - 15 - 14 - 18 - 19 - 20 - 16 - 17 - 9 - 11 - 1 - 3 - 6 – 8; час проходження оптимального маршруту – 88.1хв, довжина оптимального маршруту – 73.25 км. Аналогічна ситуація має місце в інші проміжки часу спостереження за динамікою транспортного потоку на ВДМ міста Києва (Табл.1).

Висновки. Отже, проведений аналіз результатів імітаційних досліджень, дає підстави вважати, що запропонований синергетичний підхід дозволяє достатньо адекватно здійснювати оптимізацію маршрутів доставки вантажу в режимі реального часу в умовах нестаціонарної динаміки транспортних потоків на ВДМ великих міст. У майбутньому він може знайти своє застосування в інтелектуальних транспортних системах (ІТС), наприклад, при вирішенні задач динамічної маршрутизації транспортних засобів з прогнозуванням трафіку [21]. В [21] основна ідея алгоритму полягає у

використанні в режимі реального часу інформації про трафік, а також прогнозованої інформації про дорожній рух, яку надає центральний контролер маршрутизації. У нашому випадку у реальному часі необхідно використовувати інформацію про щільність транспортного потоку на ділянках ВДМ. Ця інформація може бути отримана при використанні бортового обладнання зв'язку транспортного засобу з іншими транспортними засобами та інфраструктурою транспортних систем (V2V, V2I або I2V). Далі, на підставі отриманої в певні моменти часу реальної інформації про трафік в рамках синергетичної підходу щодо опису динаміки транспортного потоку, який розроблено в цій роботі, проводяться імітаційні моделювання альтернативних маршрутів, з яких визначаються найбільш оптимальні. Відповідно, отримана інформація про оптимальні маршрути в залежності від вихідних умов трафіку в певні моменти часу надається користувачу центральним контролером маршрутизації.

Подальша стратегія дослідження повинна бути спрямована на удосконалення цього методу, який дозволяв би враховувати вплив миттєвих значень фактичних параметрів динаміки транспортних потоків на ділянках ВДМ, світлофорного регулювання, тощо, на процеси оптимізації маршрутів доставки товарів. Отримані таким чином результати можуть бути використані для удосконалення існуючих інтелектуальних транспортних систем і технологій управління дорожнім рухом на ВДМ великих міст.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Lukinskiy, V. and Dobromirov, V.: Methods of evaluating transportation and logistics operations in supply chains. Transport and Telecommunication, 17, 55-59 (2016).
2. Knight, H.: New algorithm can dramaticallystreamlinesolutionstothe 'maxflow' problem, MIT News, 21–26 (2014).
3. Balasescu, S. and Balasescu, M.: Optimization methods for supply chain activities. Bulletin of the Transilvania University of Brasov Series V: Economic Sciences, 7(56), 9-16 (2014).
4. Qingyou, Y. and Zhang, Q.: The Optimization of Transportation Costs in Logistics Enterprises with Time-Window Constraints. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2015, 10-15 (2015).
5. Prokudin G., Chupaylenko O., Dudnik O., Oliskevych M.: Development of Vehicle Speed Forecasting Method for Intelligent Highway Transport System. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. N. 4/3 (100). P. 6-14 (2019). doi:10.15587/1729-4061.2019.174255
6. Glover, F., Kochenberger, G.: Handbook of Metaheuristics. In: International Series in Operations Research & Management Science 57, 570 (2003).
7. McCall, J.: Genetic algorithms for modelling and optimization. Journal of Computational and Applied Mathematics, 184, 205-222 (2005).
8. Rejer, I., Lorenz, K.: Classic genetic algorithm vs. Genetic algorithm with aggressive mutation for feature selection for a brain-computer interface. Przegląd Elektrotechniczny 91(2), 98-102 (2015). doi:10.15199/48.2015.02.24.
9. Dorigo, M., Gambardella, L.M.: Ant colonies for the travelling salesman problem. BioSystems 43 (2), 73–81 (1997) doi: 10.1016/S0303-2647(97)01708-5.
10. Chandekar, N. and Jayachandran Pillai, M.: A Comparative Study of GA and ACO for Solving Travelling Salesman Problem. International Journal of Mechanical and Production Engineering, 5(11), 34-37 (2017).
11. Ali, H., Haris, M., Hadi, F., Ahmadullah, Salman and Shah, Y.: Solving Traveling Salesman Problem through Optimization Techniques Using Genetic Algorithm and Ant Colony Optimization. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences, 6(4S), 55-62 (2016).
12. Danchuk V., Bakulich, O., Svatko V.: Building optimal routes for cargo delivery in megacities. Transport and Telecommunication, 20(2), 142 – 152 (2019). https://doi.org/10.2478/ttj-2019-0013
13. Seyedali Mirjalili: Ant Colony Optimisation. Evolutionary Algorithms and Neural Networks, 33-42 (2018) doi:10.1007/978-3-319-93025-1_3.
14. Haslina Abdullah, Rizauddin Ramli, Dzuraidah Abd Wahab: Tool path length optimisation of contour parallel milling based on modified ant colony optimisation. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 92, 1263–1276. (2017) doi:10.1007/s00170-017-0193-5.
15. Chiranjit Changdar, Dr. G.S. Mahapatra, Rajat Kumar Pal.: A modified ant colony optimisation based approach to solve sub-tour constant travelling salesman problem. International Journal of Mathematics in Operational Research, Vol. 11, No. 3 (2017). doi: 10.1504/IJMOR.2017.087204
16. Kerner B.S.: Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control. Berlin: Springer (2009).
17. Haken, H.: Synergetics. Introduction and Advanced Topics. Berlin, Heidelberg: Springer, 758p (2004).

18.Puchkovska G.O., Makarenko S.P., Danchuk V.D., Kravchuk A.P., Baran J., Kotelnikova E.N., Filatov S.K.: Dynamics of molecules and phase transitions in the crystals of pure and binary mixtures of n-paraffins. J. of Mol. Struct. 614(1), 159-166 (2002) https://doi.org/10.1016/S0022-2860(02)00237-5

19.Olemskoi A., Khomenko A.: Synergetic theory for jamming transition in traffic flow. Physical Review E 63(3) (2001) doi: 10.1103/PhysRevE.63.036116

20.Danchuk V., Svatko V., Kunytska O., Kush Y.: Simulation of Processes for Optimizing the Delivery Routes of Goods on Urban Road Networks by a Synergetic Approach. Lecture Notes in Networks and Systems Volume 208, 175 – 196 (2021).

21.Kwangsoo Kim, Minseok Kwon, Jaegeun Park, and Yongsoon Eun.: Dynamic Vehicular Route Guidance Using Traffic Prediction Information. Hindawi Publishing Corporation. – Mobile Information Systems. Volume 2016, 1–11 (2016). http://dx.doi.org/10.1155/2016/3727865

REFERENCES

1. Lukinskiy, V. and Dobromirov, V.: Methods of evaluating transportation and logistics operations in supply chains. Transport and Telecommunication, 17, 55-59 (2016).

2. Knight, H.: New algorithm can dramaticallystreamlinesolutionstothe ‘maxflow’ problem, MIT News, 21–26 (2014).

3. Balasescu, S. and Balasescu, M.: Optimization methods for supply chain activities. Bulletin of the Transilvania University of Brasov Series V: Economic Sciences, 7(56), 9-16 (2014).

4. Qingyou, Y. and Zhang, Q.: The Optimization of Transportation Costs in Logistics Enterprises with Time-Window Constraints. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2015, 10-15 (2015).

5. Prokudin G., Chupaylenko O., Dudnik O., Oliskevych M.: Development of Vehicle Speed Forecasting Method for Intelligent Highway Transport System. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. N. 4/3 (100). P. 6-14 (2019). doi:10.15587/1729-4061.2019.174255

6. Glover, F., Kochenberger, G.: Handbook of Metaheuristics. In: International Series in Operations Research & Management Science 57, 570 (2003).

7. McCall, J.: Genetic algorithms for modelling and optimization. Journal of Computational and Applied Mathematics, 184, 205-222 (2005).

8. Rejer, I., Lorenz, K.: Classic genetic algorithm vs. Genetic algorithm with aggressive mutation for feature selection for a brain-computer interface. Przegląd Elektrotechniczny 91(2), 98-102 (2015). doi:10.15199/48.2015.02.24.

9. Dorigo, M., Gambardella, L.M.: Ant colonies for the travelling salesman problem. BioSystems 43 (2), 73–81 (1997) doi: 10.1016/S0303-2647(97)01708-5.

10.Chandekar, N. and Jayachandran Pillai, M.: A Comparative Study of GA and ACO for Solving Travelling Salesman Problem. International Journal of Mechanical and Production Engineering, 5(11), 34-37 (2017).

11.Ali, H., Haris, M., Hadi, F., Ahmadullah, Salman and Shah, Y.: Solving Traveling Salesman Problem through Optimization Techniques Using Genetic Algorithm and Ant Colony Optimization. Journal of Applied Environmental and Biological Sciences, 6(4S), 55-62 (2016).

12.Danchuk V., Bakulich, O., Svatko V.: Building optimal routes for cargo delivery in megacities. Transport and Telecommunication, 20(2), 142 – 152 (2019). https://doi.org/10.2478/ttj-2019-0013

13.Seyedali Mirjalili: Ant Colony Optimisation. Evolutionary Algorithms and Neural Networks, 33-42 (2018) doi:10.1007/978-3-319-93025-1_3.

14.Haslina Abdullah, Rizauddin Ramli, Dzuraidah Abd Wahab: Tool path length optimisation of contour parallel milling based on modified ant colony optimisation. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 92, 1263–1276. (2017) doi:10.1007/s00170-017-0193-5.

15.Chiranjit Changdar, Dr. G.S. Mahapatra, Rajat Kumar Pal.: A modified ant colony optimisation based approach to solve sub-tour constant travelling salesman problem. International Journal of Mathematics in Operational Research, Vol. 11, No. 3 (2017). doi: 10.1504/IJMOR.2017.087204

16.Kerner B.S.: Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control. Berlin: Springer (2009).

17.Haken, H.: Synergetics. Introduction and Advanced Topics. Berlin, Heidelberg: Springer, 758p (2004).

18.Puchkovska G.O., Makarenko S.P., Danchuk V.D., Kravchuk A.P., Baran J., Kotelnikova E.N., Filatov S.K.: Dynamics of molecules and phase transitions in the crystals of pure and binary mixtures of n-paraffins. J. of Mol. Struct. 614(1), 159-166 (2002) https://doi.org/10.1016/S0022-2860(02)00237-5

19.Olemskoi A., Khomenko A.: Synergetic theory for jamming transition in traffic flow. Physical Review E 63(3) (2001) doi: 10.1103/PhysRevE.63.036116

20.Danchuk V., Svatko V., Kunytska O., Kush Y.: Simulation of Processes for Optimizing the Delivery Routes of Goods on Urban Road Networks by a Synergetic Approach. Lecture Notes in Networks and Systems Volume 208, 175 – 196 (2021).

21.Kwangsoo Kim, Minseok Kwon, Jaegeun Park, and Yongsoon Eun.: Dynamic Vehicular Route Guidance Using Traffic Prediction Information. Hindawi Publishing Corporation. – Mobile Information Systems. Volume 2016, 1–11 (2016). http://dx.doi.org/10.1155/2016/3727865

РЕФЕРАТ

Данчук В.Д. Динамічна маршрутизація процесів доставки вантажів у містах на базі синергетичного підходу / В.Д. Данчук, В.В. Сватко, Н.В. Рудоман // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

В роботі запропоновано синергетичний підхід до моделювання процесів оптимізації маршрутів доставки вантажів з урахуванням нестаціонарної динаміки транспортних потоків на ділянках міської дорожньої мережі. В рамках цього підходу аналітичні залежності зміни швидкості потоку руху від характерного часу зміни режиму динаміки транспортного потоку та щільності навантаження на ділянках мережі визначаються з використанням синергетичної моделі Лоренца. Далі, на підставі отриманої залежності швидкості транспортного потоку від його щільності за допомогою використання модифікованого алгоритму самоорганізації мурашиної колонії здійснюється оптимізація маршруту на мережі, що представляється у вигляді двонаправлено орієнтованого зваженого графа. Основним елементом модифікації є те, що тут реалізована можливість асинхронного руху агентів мурашиної колонії з певною швидкістю. Крім цього, також можливе фіксування результатів оптимізації частково пройденого шляху для розрахунку подальшого маршруту при зміні умов руху цих агентів. Це дозволяє здійснювати управління процесом оптимізації маршруту з урахуванням динамічного стану ВДМ, що пов’язаний із суттєвими змінами швидкості руху транспортних засобів на певних ділянках цієї мережі. Ці зміни швидкості можуть бути обумовлені підвищенням завантаженості ділянок ВДМ, виникненням заторів, аварійних ситуацій тощо.

Для апробації запропонованого методу здійснені імітаційні моделювання процесів оптимізації маршруту в рамках задачі комівояжера з урахуванням реальної динаміки транспортних потоків на прикладі ВДМ м. Києва. Тут при проведенні досліджень на певних модельних ділянках ВДМ експериментально визначались середні щільності транспортних потоків в певні моменти часу протягом доби. За результатами моделювання було виявлено низку ефектів. Ці ефекти пов’язані з перебудовою оптимальних маршрутів при зменшенні середніх швидкостей руху транспортних засобів на модельних ділянках ВДМ до певних граничних значень, які відповідають певним режимам руху транспортних потоків.

В роботі обговорюється можливість застосування запропонованого методу в інтелектуальних транспортних систем. Зокрема, цей метод може бути використаний при вирішенні проблем динамічної маршрутизації транспортних засобів з використанням інформації про прогнозування трафіку.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТРАНСПОРТНИЙ ПОТІК, ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЯ МЕРЕЖА, СИНЕРГЕТИЧНИЙ ПІДХІД, СИНЕРГЕТИЧНА МОДЕЛЬ ЛОРЕНЦА, МУРАШИНИЙ АЛГОРИТМ.

ABSTRACT

Danchuk V.D., Svatko V.V., Rudoman N.V. Dynamic routing of cargo delivery processes in cities base on synergetic approach. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The paper proposes synergetic approach for simulation the processes of optimization of routes for the delivery of goods taking into account the non-stationary dynamics of traffic flows on sections of the urban road network. Within the framework of synergetic Lorentz model, the analytical dependences of the change in the speed of the traffic flow on the characteristic time of the change in the dynamics of the traffic flow and the density of the traffic flow in the network sections are determined. Further, based on the obtained dependence of the traffic flow speed on its density by using a modified self-organization algorithm of the ant colony, the route on the network is optimized. Here the urban road network is represented as a bidirectional weighted graph. The main element of the modification is that it implements the possibility of asynchronous movement of the each ant colony agent at a certain speed. In addition, it is also possible to fix the results of optimization of a partially traveled path for calculating a further route when the edge weight (length) of the graph changes during the movement. This allows you to management the route optimization process, taking into account the dynamic state of the network, which depends on the speed of movement of vehicles on certain sections of the

network. These changes in speed can be caused by an increase in the congestion of network sections, the occurrence of traffic jams, emergency situations, etc.

To test the proposed method, simulation of route optimization processes was carried out within the framework of the traveling salesman problem, taking into account the real dynamics of traffic flows on the example of the road network of Kyiv city. Here, when conducting research on some selected sections of the network, the average density of traffic flows at certain points in time during the day was experimentally determined. Based on the simulation results, a number of effects were identified. These effects are associated with the rebuilding of optimal routes when the average speeds of vehicles on the model sections of the network decrease to certain boundary values corresponding to certain modes of traffic flow.

The paper discusses the possibility of using the proposed method in intelligent transportation systems. In particular, this method can be used to solve dynamic vehicle routing problems using information about traffic prediction.

KEYWORDS: TRAFFIC FLOW, URBAN ROAD NETWORK, SYNERGETIC LORENTZ MODEL, SYNERGETIC APPROACH, ANT ALGORITHM.

АВТОРИ:

Данчук Віктор Дмитрович, доктор фізико-математичних наук, професор, Національний транспортний університет, декан факультету транспортних та інформаційних технологій, e-mail: vdanchuk@ukr.net, тел. +380996376677, Україна, 01010, м.Київ, вул. М. Бойчука 42, к. 211, orcid.org/0000-0003-3936-4509.

Сватко Віталій Володимирович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: vsvatko83@gmail.com, тел. +380672351170, Україна, 01010, м.Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 347а, orcid.org/0000-0002-0712-5688.

Рудоман Надія Володимирівна, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: nadiiarudoman@ukr.net, тел. +380979194705, Україна, 01010, м.Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 347а, orcid.org/0000-0002-7923-8649.

AUTHOR:

Danchuk V.D., Dr. Sc. (Phys.-Math.), National Transport University, Dean of the Faculty of Transport and Information Technology, e-mail: vdanchuk@ukr.net, tel. +380996376677 Ukraine, 01010, Kyiv, Boychuk str. 42, of. 211, orcid.org/0000-0003-3936-4509.

Svatko V.V., Ph.D., National Transport University, associate professor department of information systems and technology, e-mail: vsvatko83@gmail.com, tel. +380672351170 Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenka str. 1, of. 347a, orcid.org/0000-0002-0712-5688.

Rudoman N.V., National Transport University, senior teacher , e-mail: nadiiarudoman@ukr.net, tel. +380979194705, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenka str. 1, of. 347a, orcid.org/0000-0002-7923-8649.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Москаленко А.О., кандидат технічних наук, доцент, Міжнародний науково-технічний університет ім. Ю.Бугая, завідувач кафедри комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення, Київ, Україна.

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

REVIEWER:

Moskalenko A.O., PhD (Eng.), Associate professor, International University of Science and Technology, Head of the Department of Computer Science and Software Engineering, Kyiv, Ukraine.

Prokudin H.S., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Head Department of International Transportation and Customs Control, Kyiv, Ukraine.

УДК 656.078
UDC 656.078
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-172-180

РОЗТАШУВАННЯ МІСЬКОГО РОЗПОДІЛЬЧОГО ЦЕНТРУ

Даценко Д.Р., Національний транспортний університет, Київ, Україна, diana11071994@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0168-8778
Куницька О.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, o.kunytska@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5525-1315

URBAN DISTRIBUTION CENTER LOCATION

Datsenko D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, diana11071994@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0168-8778
Kunytska O., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, o.kunytska@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5525-1315

Постановка проблеми. Міська логістика стає проблемою у великих містах світу через ріст автомобілізації населення, що є наслідком швидкого темпу урбанізації. При цьому більшість досліджень стосується міського пасажирського транспорту, тоді як міський вантажний транспорт досі недостатньо вивчений. З іншого боку, динамічна та швидка економічна діяльність у міських районах сприяла зростанню потреби у перевезеннях міських вантажів. Збільшення міських вантажних перевезень створює затори та неефективність транспорту, а отже, знижує рівень обслуговування та збільшує витрати на розподіл. Серед альтернативних варіантів підвищення ефективності доставки та пом'якшення негативних наслідків вантажного транспорту, перспективним є створення міського розподільчого центру(МРЦ), який консолідує перевезення вантажів.

МРЦ отримує вантажі на далеких відстанях, а також реорганізовує та доставляє кінцевим споживачам, використовуючи менші транспортні засоби. Тому місце розташування МРЦ, яке зазвичай називається «проблемою розташування» у логістиці, стає вирішальним.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням знаходженням місця розташування міського розподільчого центру приділяється велика увага з боку зарубіжних вчених та дослідників. Зокрема, деякі дослідження (Chen, C., 2001 [7], Cui, G, Li, Y.,2004 [8]) продемонстрували значну роль розташування МРЦ. Відповідно до традиційного підходу, існує два способи визначення місця розташування об'єкта, а саме: орієнтований на пропозицію та ринковий підхід. Однак при визначенні місця розташування МРЦ існує дилема. Наприклад, якщо МРЦ знаходиться поблизу клієнтів, це коштує заторів та забруднень у міських районах. З іншого боку, якщо МРЦ знаходиться далеко від споживачів, затори та забруднення в міських районах можуть бути зменшені, але вартість доставки зростає. Проблема розташування широко досліджується в літературі з питань транспорту та логістики (Drezner, Z, Hamacher, H., 2002 [9], Klose, A, Drexl, A., 2005 [10], Farahani, RZ, Hekmatfar, M., 2009[11]). Вибір місця розташування МРЦ є складною дворівневою ієрархічною проблемою: по-перше, аналіз на макрорівні для оцінки загальної потенційної території для МРЦ, а по-друге, аналіз мікрорівня для визначення найбільш відповідного, конкретного розташування МРЦ на основі обраної ділянки, отриманої з аналізу на макрорівні. У працях Guo, P. & Cheng, W., 2011[12] для підвищення ефективності вибору місця розташування міських логістичних розподільчих центрів шляхом фактичного будівництва та функціонування розподільного центру, побудовано математичну модель з мінімальною загальною вартістю та генетичним алгоритмом на основі цілочислового кодування. В роботі Hashim et al.,2014 [15] вирішили проблему вибору місця розташування розподільних центрів в умовах невизначеності для мінімізації витрат та виконання вимог попиту.

Формування цілей статті. Метою статті є аналіз загальних відомостей щодо цілей створення та факторів успіху МРЦ, проблеми знаходження місця їх розташування, а також використання логістичного індексу стабільності (LSI) для вирішення даної проблеми.

Виклад основного матеріалу. Міське населення швидко зростає: за прогнозами Організації Об'єднаних Націй, у 2050 році ще 2,5 мільярда людей будуть жити в містах[16]. Тому сектор роздрібної торгівлі в містах також швидко зростає, що спричиняє збільшення обсягів міських вантажних перевезень. Наприклад в Україні, кількість міського населення зростає щорічно (рис. 1 [21]).

Завдяки жорсткій конкуренції з електронною комерцією та дорогим зберіганням у магазині (через високі ціни на нерухомість), принцип «точно вчасно» набувають популярності серед роздрібних продавців, що призводить до низького рівня зберігання, малих обсягів замовлень і

частішого замовлення. Сьогодні роздрібні торговці часто нав'язують вузькі терміни доставки і очікують швидкої доставки[17]. Це, у свою чергу, збільшує такі транспортні проблеми, як викиди парникових газів (ПГ), затори, забруднення повітря та шуму, дорожньо-транспортні пригоди та пошкодження інфраструктури, такої як дорожні мережі [13]. Вантажний транспорт оцінюється приблизно від 10% до 30% потоку руху в різних містах [14], та дає 40% забруднення та шум.

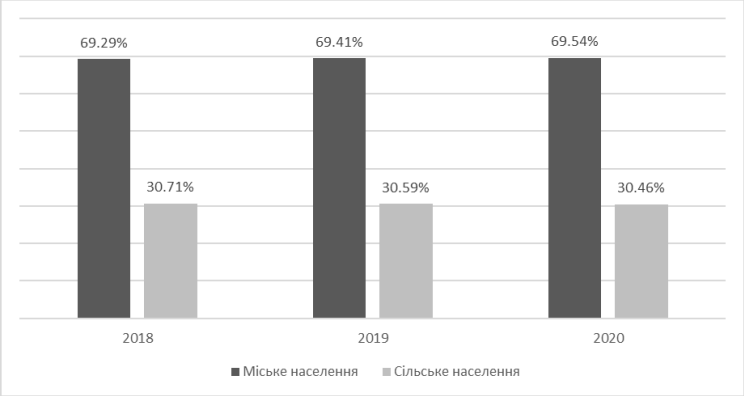


Рисунок 1– Динаміка міського та сільського населення України
Figure 1 – Dynamics of urban and rural population of Ukraine

Прагнучі досягти високої ефективності міської логістики, ряд міст Європи і Японія впровадили міські розподільчі центри(МРЦ) і міські центри консолідації(МКЦ), які дозволяють співпрацювати між вантажовідправниками, перевізниками та роздрібними торгівцями для консолідації поставок, що вимагає меншої кількості поїздок вантажівками між центром розподілу та кінцевими пунктами доставки, при цьому пропускна здатність однакова. Такі центри можуть вирішити проблему «останньої милі», яка є важливою, але неефективною та дуже дорогою частиною постачання. Ця неефективність стосується «проблеми дрібних замовлень» із міськими доставками та інкасацією, що часто включає лише невелику кількість посилок, і, отже, транспортні засоби працюють нижче їх максимальної вантажопідйомності або менше, ніж повне навантаження. МРЦ розглядаються як один із способів вирішення питання.

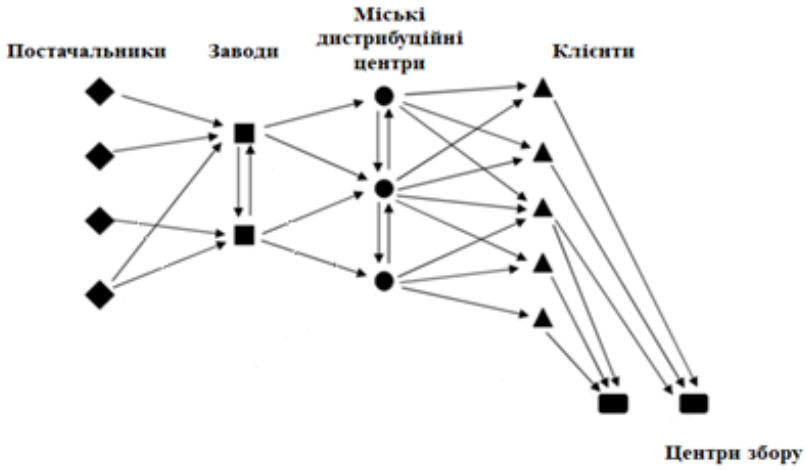


Рисунок 2 – Загальна мережа ланцюгів поставок
Figure 2 – A generic supply chain network

Потреба в обслуговуванні залежить від фізичних об'єктів: заводи, міські розподільчі центри, центри збору, тощо, як показано на наступному малюнку (рис. 2). Ці об'єкти є справжніми драйверами системи логістики міста. Тому, вибір місця розташування цих об'єктів – є одною з ключових проблем міської логістики. Сучасні МРЦ забезпечують набагато більше, ніж просто короткочасне зберігання та перехресне сполучення: розташовуючи ближче до міських районів, використовуючи технології та додаючи зручності для залучення кваліфікованих робітників, розподільчі центри змінюються, щоб задовольнити вимоги електронної комерції та очікування швидкої доставки [1].

Міські розподільчі центри (МРЦ) є відносно недавніми інноваціями в галузі вантажних перевезень; вони були впроваджені у значній кількості з 1990-х років, переважно в європейських країнах і Японії. МРЦ – корисний інструмент міської логістики, який може мати цікавий вплив на динаміку розподілу вантажів у містах. Його успіх залежить від багатьох факторів: відповідного місця; добре збалансована наявність приміщень та обладнання; ефективна і результативна організація внутрішньої служби; зв'язок з околицями та пов'язаними з ними транспортними послугами; структура управління, яка відповідає різним і додатковим вимогам; здатність підтримувати себе[6].

Отже, **міський розподільчий центр** – це об'єкт, що передбачає перевалку вантажів спрямованих на міські райони, а також консолідацію поставок і, таким чином, забезпечує ефективний процес розподілу за рахунок збільшення коефіцієнта завантаженості вантажівок та зменшення кількості їх використання, що призводить до зменшення міських заторів та забруднення повітря.

Цілі міського розподільчого центру[2]

1. зниження рівня вантажних перевезень автомобільним транспортом;
2. зміна типу транспортного засобу, який використовується для доставки вантажів;
3. зменшення впливу на навколишнє середовище, пов'язане з транспортуванням товарів;
4. підвищення ефективності міських вантажних перевезень;
5. зменшення потреби у зберіганні товарів та логістичній діяльності в міських приміщеннях, що може призвести до поліпшення товарообігу.

Маємо також розмежування державних та приватних цілей. Наприклад, державними цілями є пом'якшити викиди вихлопних газів, зменшити кількість поїздок на вантажівках у міських районах і стимулювати економічне зростання в регіоні (створення робочих місць, створення нових підприємств та покращення постачання промисловості) за рахунок посилення логістичної інфраструктури. Приватні цілі(застосовуються для операторів та транспортних компаній) в основному орієнтовані на підвищення ефективності надання відповідних приміщень для консолідації, об'єднання партій вантажів, участь у кооперації та отримання економічних вигод шляхом залучення нових клієнтів та забезпечення додаткових логістичних послуг.

У літературі[3] існує вісім критичних факторів успіху для міського розподільчого центру:

1. Розташування в місті / поблизу міста,
2. Збір субсидій,
3. Співпраця з вантажовідправниками та вантажоперевізниками,
4. Фінансова життєздатність,
5. Вартість послуг МРЦ,
6. Вартість дозволу на доступ,
7. Затримка часу доставки
8. Відстань від магазину до місця для паркування .

Протягом останнього десятиліття дослідження щодо МРЦ:

- вивчали проблему побудови МРЦ з використанням техніки інтелектуального аналізу даних.
- вивчали модель коригування місцеположення магазину в МРЦ.
- розробили модель для визначення місцезнаходження розподільчих центрів, враховуючи вплив податку з продажу.
- досліджували проблему розміщення логістичних розподільчих центрів у нечіткому середовищі [5].

Для прийняття рішення якості логічних послуг і процесів розміщення МРЦ основними характерними критеріями виступають: «потрібне місце», «у потрібний час», «зниження забруднення повітря». В умовах максимальної інтенсивності руху автомобільного і міського транспорту складно узгодити ці умови. У зв'язку з цим основними критеріями оцінювання пропонуються такі параметри, як «швидкість руху транспорту», «якість послуг на транспорті», «якість автомобільних доріг», «час доставки», «оптимальна ціна послуги», «рівень забруднення», «безпека руху» [19].

Реалізація задачі розглядається за допомогою індексу логістичної стабільності.

Індекс логістичної стабільності (LSI – *logistics sustainability index*) має набір параметрів доступних для вибору кожної категорії зацікавлених сторін, включаючи області впливу, критерії та показники. Відповідно до обраних параметрів, процес оцінювання може давати багатокритеріальні результати, а також окремо оброблені результати. Цей процес оцінювання складається з шести етапів[18-20], показаних на малюнку 3:



Рисунок 3 – Алгоритм розрахунку LSI
Figure 3 – Algorithm for calculating the index of logistical stability

Крок 1: Вибір області впливу

Вибір області впливу залежить від первинних та вторинних цілей, які повинні бути встановлені заздалегідь зацікавленими сторонами. *Сім областей впливу вносять свій внесок в показник LSI:* економіка і енергетика, навколишнє середовище, транспорт і мобільність,суспільство, політика та ступень зрілості, соціальне визнання,залучення користувачів.

Крок 2: Вибір критеріїв

Для кожної області впливу існує кілька критеріїв, і кожен критерій буде включати кілька показників. Наступними критеріями для різних областей впливу є:

- *Економіка і енергетика:* енергія, розвиток, переваги, витрати, економічні та фінансові ризики.
- *Навколишнє середовище:* якість повітря, викиди парникових газів, шумове забруднення.
- *Транспорт і мобільність:* рівень сервісу, безпека і охорона, транспортна система, транспортні засоби міського вантажного транспорту, інфраструктура інформаційних технологій та технології.
- *Суспільство*: озеленення, зручність, рівень життя, соціально-політичні виміри, стихійні лиха та цивільні потрясіння.
- *Політика та ступінь зрілості:* обізнаність, управління(керівництво), досвід(наприклад, аналіз результатів і висновків минулих проектів і досліджень, розроблених для певного міста в тій же області впливу).
- *Соціальне визнання:* соціальне схвалення, прийняття правил.
- *Залучення користувачів:* гнучкість, передача знань і досвіду, консенсус, успіх.

LSI може розглянути 26 критеріїв та 137 показників, які були відібрані та визначені, щоб всебічно оцінити вплив на всі області[20].

Крок 3: Вибір і обчислення показників

Для оцінки ефективності заходу,обирається ряд показників, які відповідають етапам життєвого циклу заходу. Показники можна розділити на 3 основні категорії:

1) **Показники впливу на навколишнє середовище**. Вони пов'язані з областями впливу «Навколишнє середовище» та «Транспорт і мобільність» і мають сім критеріїв: якість повітря, викиди парникових газів, шумове забруднення, рівень сервісу, безпеку і охорону, транспортну систему і транспортні засоби міського вантажного транспорту.

2) **Показники соціальних витрат і вигод.** Вони пов'язані з впливом області «Економіка та Енергетика» і поділяються на чотири критерії: енергія, розвиток, вигоди та витрати.

3) **Показники «переносимості» та адаптованості.** Показник пов'язаний з областями впливу «Політика та ступень зрілості», «Соціальне визнання», «Залучення користувачів» та поділяються на 7 критеріїв: походження, соціальне схвалення, гнучкість, адаптивність, консенсус, передачу та успіх.

Крок 4: Процес зважування

Процес зважування – це етап порівняння двох чи більше елементів відповідно до переваг прийняття рішення. Основний стандартний принцип зважування: чим вище значення, тим важливішим є відповідний елемент. Згідно з літературними даними, переважно використовуються

п’ять методів, заснованих на простоті та ефективності: *Метод аналізу ієрархій (Метод аналітичної ієрархії (AHP);Метод парних порівнянь;Метод експертних оцінок;Метод співвідношень Метод побудови центроїду.*

В даній роботі розглянемо **метод аналітичної ієрархії (метод аналізу ієрархій)**, який був розроблений на початку 1970 року американським математиком Томас Сааті. Він широко використовується в різних галузях: машинобудування, виробництва, промисловості, транспорту та міської логістики, охорони здоров’я та ін.. Основними перевагами цього методу є:застосовується в дуже широкому діапазоні галузей; простота використання;гнучкість; взаємозалежність різних критеріїв;можна використовувати як для грошових, так і для немонетарних шкал.

Області впливу зважують один з одним, а потім критерії зважують один з одним в межах відповідної області впливу. Усі ваги елементів, що належать до одного компоненту (область впливу або критерій), після агрегації додаються до суми одного значення.

Крок 5: Приведення до стандарту(нормалізація) значень

Використання показників різного характеру, контексту та значення в загальній методології оцінки вимагає встановлення відповідної шкали, яка може зробити значення показників безрозмірними. Цього можна досягти шляхом приведення до стандарту (нормалізація) значень кожного критерію та показника в множину безрозмірних дійсних чисел.

Нормалізація даних складається з перерозподілу значень у єдиний зазначений діапазон, наприклад, від 0 до 1 або від 0 до 100.

У літературі існує декілька методів:

1. приведення до стандарту в порівнянні з найкращою альтернативою;
2. класичне приведення;
3. мінімакс(Re-scalingor Min-Max method);
4. приведення до стандарту за допомогою векторів;
5. z-масштабування(Standardization or transformation in z-scores).

У роботі використовується приведення до стандарту в порівнянні з найкращою альтернативою. Цей метод полягає в тому, що всі значення показників діляться (всередині одного критерію) на максимальне значення:

$$\overline{r_{ij}} = \frac{I_{ij}}{max_j I_{ij}} \quad (1)$$

$\overline{r_{ij}}$- позначає перетворене значення;

I_{ij} – нормоване значення;

i – альтернативи;

j – індикатори.

Крок 6: Логістичний індекс стабільності

Остання стадія методології LSI полягає в інтерпретації та обчисленні даних. На цьому етапі складність процесу представляє врахування всіх аспектів і областей, на які впливає рішення (наприклад, економіка та енергетика, транспорт і мобільність, соціальне визнання), а також категорії зацікавлених сторін, які беруть участь у процесі.

Прийняття рішення – це завдання виявлення та вибору альтернатив на основі цінностей та переваг, які узгоджуються з цілями, завданнями та бажаннями кожного плану.

Коли існує проблема з кількома альтернативами і лише одним критерієм вибору, особа, яка приймає рішення, повинна визначити найкращу альтернативу, порівнявши кожну альтернативу на основі значення критерію. Існує багато методів, здатних вирішити такі проблеми:

- Байєсівська модель прийняття рішень;
- Метод перехресної ентропії;
- Метод математичного очікування;
- Метод досягнення цілей;
- Методи на основі функцій корисності або цінності;
- Модель багатоатрибутивної, багатокритеріальної (багатофакторної) функції корисності;
- Метод багатовимірного впорядкування (SimpleMulti-. Attribute Rating Technique – SMART);
- Метод аналізу ієрархій (AHP);
- Метод зваженої суми (Weighted Sum Method (WSM));
- Зважена модель товару (WPM);
- Ранжувальні методи (ELECTRE, PROMETHEE: PROMETHEE I та PROMETHEE II).

Метод зваженої суми (WSM – Weighted Sum Method), також відомий як метод простої адитивної маси, був введений Л. Заде у 1963 р. WSM дозволяє особам, що приймають рішення визначати вагові коефіцієнти критеріїв, як важливість функції. Загальний бал кожної альтернативи дорівнює сумі добутків вагових коефіцієнтів і відповідних критеріальних значень альтернатив.

Незважаючи на те, що WSM широко використовується, він є не допустимим для задач з різними шкалами значень критеріїв. Тому перед використанням WSM необхідне попереднє застосування процедур нормалізації.

Метод WSM заснований на неявному постулаті: «низьке значення по одному критерію може бути компенсовано високим значенням за іншим». Однак, цей постулат вірний далеко не для всіх моделей.

Основною характеристикою цієї моделі є припущення про адитивну корисність. Цей метод можна використовувати в задачах з різними альтернативами та одним індикатором, за умови, що одиниці кожного показника однакові для всіх альтернатив.

Модель зваженої суми використовується для узагальнення приведеного до стандарту значень в унікальний індекс, який здатний оцінити вплив міської логістики на певну область впливу і в кінцевому підсумку об'єднати всі ці показники в унікальний ***LSI***, який оцінює загальну ефективність заходів.

Загальний логістичний індекс стабільності, розраховується як:

$$LSI = \sum_i LSI_i \, w_i \tag{2}$$

w_i– вага області впливу.

Висновки. Прагнучі досягти високої ефективності міської логістики, ряд міст впровадили міські розподільчі центри(МРЦ), які дозволяють вирішити проблему «останньої милі», що є важливою, але неефективною та дуже дорогою частиною постачання. Проте, з впровадженням МРЦ постає питання щодо визначення оптимального місця їх розташування. В роботі представлено алгоритм визначення логістичного індексу стабільності (LSI),що дозволяє оцінити досліджувану територію щодо розміщення МРЦ.

LSI являє собою інтегрований інструмент, здатний кількісно оцінити загальну ефективність логістичної системи відповідно до різних критеріїв і різних точок зору. Таким чином, LSI може спільно оцінити одну або кілька областей впливу на розміщення МРЦ і стає корисним, коли потрібно порівняння між поточним станом і потенційним сценарієм, або коли потрібно два потенційні сценарії порівнювати, з огляду на зону впливу (наприклад, споживання енергії, викиди забруднюючих речовин). В статті представлено загальний алгоритм визначення LSI, що потребує представлення для конкретного прикладу, який автори розглянуть у наступному дослідженні.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Karen Kroll. Today's Distribution Center: You Say You Want an Evolution? March 04, 2019. – Access mode: https://www.inboundlogistics.com/cms/article/todays-distribution-center-you-say-you-want-an-evolution/

2. Marta A. Panero, Hyeon-Schic Shin and Daniel Polo Lopez . Urban Distribution Centers – A Means to Reducing Freight Vehicle Miles Traveled. February 2011 . – Access mode: https://wagner.nyu.edu/files/faculty/publications/NYSERDA20UDCs20Final20Report202011-201.pdf

3. Maroi Agrebi, Mourad Abed, Mohamed Nazih Omri. Urban Distribution Centers' Location Selection'sProblem: A survey. Conference: The 4th IEEE International Conference on Advanced Logistics and Transport (IEEE ICALT'2015)At: Valenciennes, France. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/275029469_Urban_Distribution_Centers'_Location_Selection's_Problem_A_survey

4. CeMAT ASIA 2022. 1-4 Nov. 2022. – Access mode: https://www.cemat-asia.com/industrynews/shownews.php?lang=en&id=3714

5. Nurgul Demirtas, Umut R. Tuzkaya, Mehmet Tanyaş. Layout of Urban Distribution Center Using Possibilistic Programming. December 2016. – Access mode: https://www.atlantis-press.com/journals/ijcis/25868744/view

6. D. Gattuso, G. C. Cassone, C. Lanciano, V. Placido & M. Praticò. A freight urban distribution center design with micro-simulation support for city logistics. DIIES – Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, delle Infrastrutture e dell'Energia Sostenibile, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Italy. Urban Transport XXI . WIT Transactions on The Built Environment, Vol 146, © 2015 WIT Press. doi:10.2495/UT150241. – Access mode: https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.735.334&rep=rep1&type=pdf

7. Chen, C . A fuzzy approach to select the location of the distribution center. Fuzzy Sets Syst 2001; 118(1): 65–73. – Access mode: Google Scholar | Crossref

8. Cui, G, Li, Y. Study on the location of distribution center: a genetic algorithm combining mechanism of simulated annealing. In: Proceeding of 2004 international conference on machine learning and cybernetics, Shanghai, China, 26–29 August 2004, pp. 2601–2606. Shanghai, China: IEEE. – Access mode: Google Scholar

9. Drezner, Z, Hamacher, H. Facility location: application and theory. Berlin: Springer, 2002. – Access mode: Google Scholar | Crossref

10. Klose, A, Drexl, A. Facility location models for distribution system design. Eur J Oper Res 2005; 162(1): 4–29. – Access mode: Google Scholar | Crossref

11. Farahani, RZ, Hekmatfar, M. Facility location: concepts, models, algorithms and case studies. Heidelberg: Physica-Verlag, 2009.

12. Guo, P. and Cheng, W. System Modeling and Simulation Analysis of Railway Container Logistic Center. Computer Engineering & Applications, 47, 235-238. 2011

13. Techane Bosona. Urban Freight Last Mile Logistics—Challenges and Opportunities to Improve Sustainability: A Literature Review. 22 October 2020 – Access mode: file:///C:/Users/1994/Downloads/sustainability-12-08769-v4%20(5).pdf

14. Maroi Agrebi, Mourad Abed, Mohamed Nazih Omri. Urban Distribution Centers' Location Selection's Problem: A survey. May 2015. – Access mode: file:///C:/Users/1994/Downloads/ICALT_2015.pdf

15. Muhammad Hashim, Liming Yao, Abid Hussain Nadeem, Muhammad Nazim and Muhammad Nazam. Logistics Distribution Centers Location Problem under Fuzzy Environment. 2014. Proceedings of the Seventh International Conference on Management Science and Engineering Management, Focused on Electrical and Information Technology (Volume 2), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, chapter 79, pp. 927-939.

16. United Nations. Worlds population increasingly urban with more than half living in urban areas. 2014. – Access mode: https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-urbanization-prospects.html.

17. Rune Larsen, Allan Larsen. An urban consolidation center in the city of Copenhagen: A simulation study. 22 Feb 2019. – Access mode: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15568318.2018.1503380

18. Gleardo Terziu, Andrea Campagna A.A.. Cargo Bikes as a potential solution for sustainable urban logistics: a case study in Tirana. Faculty of Civil and Industrial Engineering Department of Civil, Constructional and Environmental Engineering. 2018-2019. – Access mode: https://web.uniroma1.it/cdaingtrasporti/sites/default/files/Thesis_Terziu_MTRR_24mag19.pdf

19. Gulnar Sadykova, Kanat Daubayev, Aishakhanym Zhameshova. Logistical Processes Interaction Model Designin Agglomeration Development.//Eurasian Journal of Economic and Business Studies/ – 2020. #4 (58)-2020, pp. 26-51.- Access mode: https://ejebs.com/index.php/main/issue/view/6/10

20. CE222 SULPiTER/ SULPITER_LSI Handbook/THE LOGISTICS SUSTAINABILITY INDEX. 28/04/2017

21. Чисельність існуючого населення України станом на 1 січня 2020 року. – Access mode: http://www.ukrstat.gov.ua/

REFERENCES

1. Karen Kroll. Today's Distribution Center: You Say You Want an Evolution? March 04, 2019. – Access mode: https://www.inboundlogistics.com/cms/article/todays-distribution-center-you-say-you-want-an-evolution/

2. Marta A. Panero, Hyeon-Schic Shin and Daniel Polo Lopez . Urban Distribution Centers – A Means to Reducing Freight Vehicle Miles Traveled. February 2011 . – Access mode: https://wagner.nyu.edu/files/faculty/publications/NYSERDA20UDCs20Final20Report202011-201.pdf

3. Maroi Agrebi, Mourad Abed, Mohamed Nazih Omri. Urban Distribution Centers' Location Selection'sProblem: A survey. Conference: The 4th IEEE International Conference on Advanced Logistics and Transport (IEEE ICALT'2015)At: Valenciennes, France. – Access mode: https://www.researchgate.net/publication/275029469_Urban_Distribution_Centers'_Location_Selection's_Problem_A_survey

4. CeMAT ASIA 2022. 1-4 Nov. 2022. – Access mode: https://www.cemat-asia.com/industrynews/shownews.php?lang=en&id=3714

5. Nurgul Demirtas, Umut R. Tuzkaya, Mehmet Tanyaş. Layout of Urban Distribution Center Using Possibilistic Programming. December 2016. – Access mode: https://www.atlantis-press.com/journals/ijcis/25868744/view

6. D. Gattuso, G. C. Cassone, C. Lanciano, V. Placido & M. Praticò. A freight urban distribution center design with micro-simulation support for city logistics. DIIES – Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione, delle Infrastrutture e dell'Energia Sostenibile, Università Mediterranea di Reggio Calabria, Italy. Urban Transport XXI . WIT Transactions on The Built Environment, Vol 146, © 2015 WIT Press. doi:10.2495/UT150241. – Access mode: https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.735.334&rep=rep1&type=pdf

7. Chen, C . A fuzzy approach to select the location of the distribution center. Fuzzy Sets Syst 2001; 118(1): 65–73. – Access mode: Google Scholar | Crossref

8. Cui, G, Li, Y. Study on the location of distribution center: a genetic algorithm combining mechanism of simulated annealing. In: Proceeding of 2004 international conference on machine learning and cybernetics, Shanghai, China, 26–29 August 2004, pp. 2601–2606. Shanghai, China: IEEE. – Access mode: Google Scholar

9. Drezner, Z, Hamacher, H. Facility location: application and theory. Berlin: Springer, 2002. – Access mode: Google Scholar | Crossref

10. Klose, A, Drexl, A. Facility location models for distribution system design. Eur J Oper Res 2005; 162(1): 4–29. – Access mode: Google Scholar | Crossref

11. Farahani, RZ, Hekmatfar, M. Facility location: concepts, models, algorithms and case studies. Heidelberg: Physica-Verlag, 2009.

12. Guo, P. and Cheng, W. System Modeling and Simulation Analysis of Railway Container Logistic Center. Computer Engineering & Applications, 47, 235-238. 2011

13. Techane Bosona. Urban Freight Last Mile Logistics—Challenges and Opportunities to Improve Sustainability: A Literature Review. 22 October 2020 – Access mode: file:///C:/Users/1994/Downloads/sustainability-12-08769-v4%20(5).pdf

14. Maroi Agrebi, Mourad Abed, Mohamed Nazih Omri. Urban Distribution Centers' Location Selection's Problem: A survey. May 2015. – Access mode: file:///C:/Users/1994/Downloads/ICALT_2015.pdf

15. Muhammad Hashim, Liming Yao, Abid Hussain Nadeem, Muhammad Nazim and Muhammad Nazam. Logistics Distribution Centers Location Problem under Fuzzy Environment. 2014. Proceedings of the Seventh International Conference on Management Science and Engineering Management, Focused on Electrical and Information Technology (Volume 2), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, chapter 79, pp. 927-939.

16. United Nations. Worlds population increasingly urban with more than half living in urban areas. 2014. – Access mode: https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-urbanization-prospects.html.

17. Rune Larsen, Allan Larsen. An urban consolidation center in the city of Copenhagen: A simulation study. 22 Feb 2019. – Access mode: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15568318.2018.1503380

18. Gleardo Terziu, Andrea Campagna A.A.. Cargo Bikes as a potential solution for sustainable urban logistics: a case study in Tirana. Faculty of Civil and Industrial Engineering Department of Civil, Constructional and Environmental Engineering. 2018-2019. – Access mode: https://web.uniroma1.it/cdaingtrasporti/sites/default/files/Thesis_Terziu_MTRR_24mag19.pdf

19. Gulnar Sadykova, Kanat Daubayev, Aishakhanym Zhameshova. Logistical Processes Interaction Model Designin Agglomeration Development.//Eurasian Journal of Economic and Business Studies/ – 2020. #4 (58)-2020, pp. 26-51.- Access mode: https://ejebs.com/index.php/main/issue/view/6/10

20. CE222 SULPiTER/ SULPITER_LSI Handbook/THE LOGISTICS SUSTAINABILITY INDEX. 28/04/2017

21. The number of the existing population of Ukraine as of January 1, 2020.- Access mode: http://www.ukrstat.gov.ua/

РЕФЕРАТ

Даценко Д.Р. Розташування міського розподільчого центру / Д.Р. Даценко,О.М. Куницька // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

В статті розглянуто цілі створення та фактори успіху міського розподільчого центру(МРЦ), їх проблеми щодо місця розташування, представлено алгоритм визначення логістичного індексу стабільності (LSI),що впливає на комплексний розвиток логістики досліджуваної території розміщення МРЦ.

Об'єкти – міські розподільчі центри.

Мета роботи – аналіз загальних відомостей щодо цілей створення та факторів успіху МРЦ, проблем щодо знаходження місця їх розташування, а також розгляд процесу оцінювання логістичного індексу стабільності.

Методи дослідження – метод аналізу ієрархій, метод зваженої суми.

LSI являє собою інтегрований інструмент, здатний кількісно оцінити загальну ефективність логістичної системи відповідно до різних критеріїв і різних точок зору. Таким чином, LSI може спільно оцінити одну або кілька областей впливу на розміщення МРЦ і стає корисним, коли потрібно порівняння між поточним станом і потенційним сценарієм, або коли потрібно два потенційні сценарії порівнювати, з огляду на зону впливу (наприклад, споживання енергії, викиди забруднюючих речовин).

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВИБІР МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ, МІСЬКИЙ РОЗПОДІЛЬЧИЙ ЦЕНТР, МІСЬКА ЛОГІСТИКА, ЛОГІСТИЧНИЙ ІНДЕКС СТАБІЛЬНОСТІ(LSI).

ABSTRACT

Datsenko D.R., Kunytska O.M. Urban distribution center location. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The article considers the goals of creation and success factors of the UDC, their location problems, presents the algorithm for determining the logistic sustainability index (LSI), which affects the integrated development of logistics of the study area of the UDC.

Facilities – urban distribution centers.

The purpose of the work is to analyze general information on the goals of creation and success factors of the UDCs, problems in finding their location, as well as consideration of the process of evaluating the logistics sustainability index.

Research methods – the method of analysis of hierarchies, the method of weighted sum.

LSI is an integrated tool that can quantify the overall efficiency of a logistics system according to different criteria and different points of view. Thus, the LSI can jointly assess one or more areas of impact on the UDC allocation and becomes useful when a comparison between the current situation and a potential scenario is required, or when two potential scenarios need to be compared by impact area (eg energy consumption, pollutant emissions).

KEYWORDS:SELECTION OF LOCATION, URBAN DISTRIBUTION CENTER, CITY LOGISTICS, LOGISTICS SUSTAINABILITY INDEX(LSI)

АВТОРИ:

Даценко Діана Русланівна, Національний транспортний університет, аспірант кафедри транспортних систем і безпеки дорожнього руху e-mail: diana11071994@gmail.com. Тел.+38(097)-321-83-72, Україна, 01010, м. Київ вул. Суворова 1, к. 435, orcid.org/0000-0003-0168-8778.

Куницька Ольга Миколаївна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортних систем і безпеки дорожнього руху, e-mail: olga.kunytska@ntu.edu.ua.Тел. 0442804885, Україна, 01010, м. Київ вул. Суворова 1, к. 435, orcid.org/0000-0001-5525-1315.

AUTHORS:

Datsenko Diana, National Transport University, Postgraduate Student, Department of Transport systems and traffic safety, e-mail: diana11071994@gmail.com. Tel +38 (097) -321-83-72, Ukraine, 01010, m. Kyiv street. Suvorov 1, k. 435, orcid.org/0000-0003-0168-8778.

Kunytska Olga, Ph.D., associate professor, National Transport University, associate professor department of Transport systems and traffic safety, e-mail:olga.kunytska@ntu.edu.ua.Tel 0442804885, Ukraine, 01010, m. Kyiv st. Suvorov 1, k. 435, orcid.org/0000-0001-5525-1315.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

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

Лобашов О.О., доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, завідувач кафедри транспортних систем і логістики,Харків, Україна.

REVIEWERS:

Prokudin G.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of International Transport and Customs Control, Kyiv, Ukraine.

Lobashov O.O., Doctor of Technical Sciences, Professor, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Head of the Department of Transport Systems and Logistics, Kharkiv, Ukraine.

УДК 629.341:62-592.52
UDC 629.341:62-592.52
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-181-192

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ГАЛЬМУВАННЯ КОЛІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ БОРТОВОЇ НЕРІВНОСТІ ГАЛЬМІВНИХ МОМЕНТІВ

Дем'янюк В.А., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, vademianiuk@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2458-5712

ANALYSIS OF THE PROCESS OF BRAKING OF WHEELED VEHICLES IN THE CONDITIONS OF ONBOARD INEQUALITY OF BRAKING MOMENTS

Demianiuk V.A., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, vademianiuk@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2458-5712

Постановка проблеми. Колісні транспортні засоби (КТЗ) поділяються на багато категорій та класів [1]. Статистичні дані показують, що біля 50% всіх дорожньо-транспортних пригод за участю колісних транспортних засобів стається під час гальмування. Це обґрунтовує актуальність подальших досліджень щодо аналізу причин виникнення таких ситуацій та розробки рекомендацій, скерованих на вдосконалення гальмівних систем КТЗ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Під час екстреного гальмування КТЗ нерідко спостерігається його відхилення від прямолінійної траєкторії руху, яке супроводжується поворотом та боковим зміщенням КТЗ. Розробкою математичних моделей для дослідження динаміки криволінійного руху КТЗ, у тому числі і під час гальмування, займались багато дослідників [2,3,4 та ін.]. Для визначення поперечної реакції в контакті колеса з дорогою при малих кутах відведення колеса та відсутності його проковзування дослідники часто використовують лінійну чи нелінійну теорії відведення колеса [2,5 та ін.]. Під час гальмування КТЗ на його колеса діють значні поздовжні та поперечні реакції, які викликають суттєві проковзування коліс у відповідних напрямках. Обґрунтованого критерію щодо поділу поперечного переміщення колеса на компоненти "відведення" і "ковзання" не існує [6], тому в даному дослідженні віддаємо перевагу концепції про спільну природу та ідентичні закономірності взаємодії колеса з дорогою як у поздовжньому, так і у поперечному напрямках [6,7,8 та ін.].

Метою дослідження є розроблення методів моделювання та аналізу процесу гальмування КТЗ в умовах бортової нерівності гальмівних моментів.

Основна частина.

Аналіз показав, що на виникнення криволінійного руху (заносу) КТЗ при гальмуванні суттєво впливає бортова нерівність гальмівних моментів. До причин її виникнення можна віднести: неоднакові значення коефіцієнтів тертя у фрикційних парах гальмівних механізмів лівих та правих коліс, викликані різними значеннями температур фрикційних пар гальмівних механізмів, попаданням в зону тертя мастила, бруду чи води; різні значення зазорів між фрикційними накладками і гальмівними барабанами чи дисками лівих та правих гальмівних механізмів. Кількісний прояв впливу бортової нерівності гальмівних моментів на параметри криволінійного руху КТЗ при гальмуванні залежить від початкової швидкості КТЗ та величини коефіцієнта зчеплення коліс з дорогою.

Зміна в часі параметрів криволінійного руху КТЗ в умовах бортової нерівності гальмівних моментів досліджувалася шляхом математичного моделювання.

Для виведення диференціальних рівнянь руху КТЗ при гальмуванні використовувалася схема (рис.1), на якій наведені сили і моменти, що діють на КТЗ при криволінійному русі під час гальмування (разом з векторами швидкостей). На цьому рисунку: Oxy – нерухома система координат, поєднана з поверхнею дороги; Cx_1y_1 – рухома система координат, поєднана з КТЗ; A і B – центри мас відповідно переднього і заднього мостів КТЗ; C – центр мас КТЗ; O_1 – миттєвий центр повороту КТЗ; a і b – відстані від центра мас КТЗ відповідно до переднього та заднього мостів; B_1 та B_2 – колії відповідно передніх та задніх коліс; γ – кут повороту поздовжньої осі КТЗ відносно дороги (курсовий кут); ω_z – кутова швидкість повороту КТЗ; X_{ij}, Y_{ij} та R_{ij} – відповідно поздовжні, поперечні та результуючі реакції в контакті гальмуючих коліс з дорогою (тут і надалі подвійний індекс "ij" свідчить про наступне: i=1 – переднє колесо або передній міст КТЗ; i=2 – заднє колесо або задній міст КТЗ; j=1 – ліве колесо; j=2 – праве колесо); V_{xij}, V_{yij} та V_{ij} – відповідно поздовжні і

поперечні складові та результуючі вектори швидкостей центрів коліс КТЗ; V_{xi}, V_{yi} та V_i – відповідно поздовжні і поперечні складові та результуючі вектори швидкостей центрів мостів КТЗ (точок перетину поздовжньої осі КТЗ з осями передніх та задніх коліс); V_x, V_y та V – відповідно поздовжні і поперечні складові та результуючий вектор швидкості центра мас КТЗ.

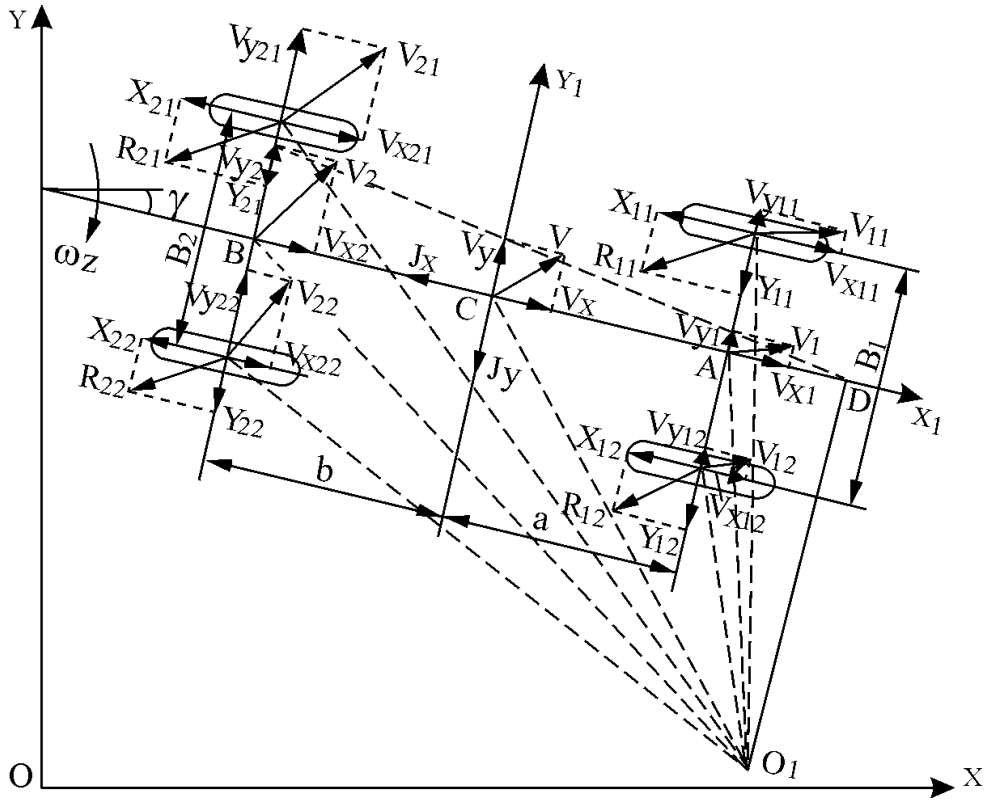


Рисунок 1 – Схема криволінійного руху колісного транспортного засобу під час гальмування
Figure 1 – Scheme of curvilinear movement of a wheeled vehicle during braking

На підставі схеми, наведеної на рис. 1, можна записати три рівняння руху

$$M \cdot J_x = -(X_{11} + X_{12} + X_{21} + X_{22}); \quad (1)$$

$$M \cdot J_y = -(Y_{11} + Y_{12} + Y_{21} + Y_{22}); \quad (2)$$

$$J_{zz}\dot{\omega}_z = (Y_{11} + Y_{12})a - (Y_{21} + Y_{22})b + 0{,}5B_1(X_{12} - X_{11}) + 0{,}5B_2(X_{22} - X_{21}); \quad (3)$$

та наступні кінематичні співвідношення

$$J_x = \dot{V}_x + V_y \cdot \omega_z; \quad (4)$$

$$J_y = \dot{V}_y - V_x \cdot \omega_z; \quad (5)$$

$$\dot{x} = V_x \cdot \cos\gamma + V_y \cdot \sin\gamma; \quad (6)$$

$$\dot{y} = V_y \cdot \cos\gamma - V_x \cdot \sin\gamma; \quad (7)$$

$$\dot{\gamma} = \omega_z. \quad (8)$$

У цих рівняннях: M – маса КТЗ; J_x, J_y – проекції пришвидшень центра мас КТЗ на осі рухомої системи координат; J_{zz} – момент інерції КТЗ відносно вертикальної осі, що проходить через його центр мас; x і y – відповідно поздовжнє та поперечне переміщення центра мас КТЗ відносно дороги.

На підставі рис. 1 одержуємо вирази для складових векторів швидкостей коліс:

$$V_{x11} = V_x + 0{,}5B_1\omega_z;$$

$$V_{x21} = V_x + 0{,}5B_2\omega_z;$$
$$V_{x12} = V_x - 0{,}5B_1\omega_z;$$
$$V_{x22} = V_x - 0{,}5B_2\omega_z;$$
$$V_{y11} = V_{y12} = V_y - \omega_z a;$$
$$V_{y21} = V_{y22} = V_y + \omega_z b;$$
$$V_{ij} = \sqrt{V_{xij}^{\,2} + V_{yij}^{\,2}}.$$

Залежності для нормальних реакцій Z_{ij}, одержані з врахуванням припущення, що бокова сила, яка діє на КТЗ, розподіляється між передніми та задніми колесами обернено пропорціонально віддалям відповідних колісних осей до центру мас КТЗ:

$$Z_{11} = \frac{M}{L}\left(\frac{gb}{2} - \frac{hJ_x}{2} - \frac{bhJ_y}{B_1}\right); \quad (9)$$

$$Z_{12} = \frac{M}{L}\left(\frac{gb}{2} - \frac{hJ_x}{2} + \frac{bhJ_y}{B_1}\right); \quad (10)$$

$$Z_{21} = \frac{M}{L}\left(\frac{ga}{2} + \frac{hJ_x}{2} - \frac{ahJ_y}{B_2}\right); \quad (11)$$

$$Z_{22} = \frac{M}{L}\left(\frac{ga}{2} + \frac{hJ_x}{2} + \frac{ahJ_y}{B_2}\right), \quad (12)$$

де $L = a + b$ – база машини; h – віддаль від центру мас КТЗ до поверхні дороги; g – пришвидшення вільного падіння.

Вище була обґрунтовано, що при моделюванні руху гальмуючого КТЗ по криволінійній траєкторії і визначенні поздовжньої та поперечної реакцій у контакті гальмівних коліс з дорогою доцільно користуватись концепцією про спільну природу та ідентичні закономірності взаємодії колеса з дорогою як у поздовжньому, так і у поперечному напрямках.

Коефіцієнт сумарного проковзування колеса S зв'язаний з коефіцієнтами поздовжнього S_x та поперечного S_y проковзувань залежністю

$$S = \sqrt{S_x^{\,2} + S_y^{\,2}}, \quad (13)$$

де
$$S_x = \frac{V_x - \omega r_к}{V}; \quad (14)$$
$$S_y = V_y / V. \quad (15)$$

Тут $r_к$ – радіус кочення колеса; ω - кутова швидкість колеса.

Поздовжня X, поперечна Y та результуюча R реакції, що діють на колесо:

$$X = Z\varphi_x = Z\varphi S_x / S; \quad (16)$$
$$Y = Z\varphi_y = Z\varphi S_y / S; \quad (17)$$
$$R = \sqrt{X^2 + Y^2}, \quad (18)$$

де Z – нормальна реакція, що діє на колесо; φ – коефіцієнт зчеплення колеса з дорогою; φ_x та φ_y – поздовжня та поперечна складові коефіцієнта зчеплення колеса з дорогою.

Співвідношення між складовими S_x і S_y вектору S, складовими V_x і V_y вектору V та складовими X і Y вектору R можна визначити через відповідні кути:

$$\delta_S = \operatorname{arctg}\frac{S_y}{S_x}; \quad (19)$$

$$\delta_V = \operatorname{arctg}\frac{V_y}{V_x}; \quad (20)$$

$$\delta_R = \operatorname{arctg}\frac{Y}{X}. \quad (21)$$

Реакції X_{ij} та Y_{ij} визначаються за формулами:

$$X_{ij} = Z_{ij}\varphi_{ij}\frac{S_{xij}}{S_{ij}}; \tag{22}$$

$$Y_{ij} = Z_{ij}\varphi_{ij}\frac{S_{yij}}{S_{ij}}. \tag{23}$$

У нашій роботі [9] одержана аналітична залежність для функції $\varphi(S)$ у вигляді

$$\varphi = \frac{\varphi_к}{1+\left(\frac{\varphi_к}{\varphi_1}-1\right)\frac{(S-S_к)^2}{(1-S_к)^2 S}}, \tag{24}$$

де $\varphi_к$ – максимальне значення коефіцієнта φ, яке досягається при критичному проковзуванні колеса $S_к$; φ_1 – значення коефіцієнта φ при S=1.

Нижче будуть наведені графіки згаданих функціональних залежностей, одержані в результаті моделювання.

Для одержання математичної моделі гальмуючого КТЗ були перетворені наведені вище залежності і на їх підставі одержана система диференціальних рівнянь (25) – (34), зведена до форми Коші:

$$\dot{V}_x = J_x - V_y \cdot \omega_z; \tag{25}$$

$$\dot{V}_y = J_y + V_x \cdot \omega_z; \tag{26}$$

$$\dot{\omega}_z = H_1 \cdot J_x + R_1 \cdot J_y + S_1; \tag{27}$$

$$\dot{\omega}_{11} = (X_{11} \cdot r_д - M_{г11}) / J_{y11}; \tag{28}$$

$$\dot{\omega}_{12} = (X_{12} \cdot r_д - M_{г12}) / J_{y12}; \tag{29}$$

$$\dot{\omega}_{21} = (X_{21} \cdot r_д - M_{г21}) / J_{y21}; \tag{30}$$

$$\dot{\omega}_{22} = (X_{22} \cdot r_д - M_{г22}) / J_{y22}; \tag{31}$$

$$\dot{x} = V_x \cdot \cos\gamma + V_y \cdot \sin\gamma; \tag{32}$$

$$\dot{y} = V_y \cdot \cos\gamma - V_x \cdot \sin\gamma; \tag{33}$$

$$\dot{\gamma} = \omega_z, \tag{34}$$

де

$$J_x = \frac{F_1E_2 - E_1F_2}{D_1E_2 - E_1D_2};$$

$$J_y = \frac{D_1F_2 - F_1D_2}{D_1E_2 - E_1D_2};$$

$$D_1 = L + \frac{h}{2}(-m_1 + m_2);$$

$$E_1 = -h\left(\frac{b}{B_1}m_3 + \frac{a}{B_2}m_4\right);$$

$$F_1 = -\frac{g}{2}(bm_1 + am_2);$$

$$D_2 = \frac{h}{2}(-n_1 + n_2);$$

$$E_2 = L - h\left(\frac{b}{B_1}n_3 + \frac{a}{B_2}n_4\right);$$

$$F_2 = -\frac{g}{2}(bn_1 + an_2).$$

Залежності для коефіцієтів $m_1 \ldots m_4$ та $n_1 \ldots n_4$ наведені в таблиці

Таблиця 1 – Формули для коефіцієнтів $m_1 \dots m_4$ та $n_1 \dots n_4$

Table 1 – Formulas for coefficients $m_1 \dots m_4$ and $n_1 \dots n_4$

Коефіцієнт	m_1	m_2	m_3	m_4	n_1	n_2	n_3	n_4
Формула	$\varphi_{x11}+\varphi_{x12}$	$\varphi_{x21}+\varphi_{x22}$	$\varphi_{x11}-\varphi_{x12}$	$\varphi_{x21}-\varphi_{x22}$	$\varphi_{y_{11}}+\varphi_{y12}$	$\varphi_{y_{21}}+\varphi_{y22}$	$\varphi_{y_{11}}-\varphi_{y12}$	$\varphi_{y_{21}}-\varphi_{y22}$

$$H_1 = \frac{Mh}{2LJ_z}\left(-m_5 - m_6 + n_5 + n_6\right);$$

$$R_1 = \frac{Mh}{LJ_z}\left[\frac{b}{B_1}\left(-m_5 + m_6\right) + \frac{a}{B_2}\left(-n_5 + n_6\right)\right];$$

$$S_1 = \frac{Mg}{2LJ_z}\left[b\left(m_5 + m_6\right) + a\left(n_5 + n_6\right)\right];$$

$$m_5 = \frac{\varphi_{11}}{S_{11}}\left(-aS_{y11} + \frac{B_1}{2}S_{x11}\right);$$

$$m_6 = \frac{\varphi_{12}}{S_{12}}\left(-aS_{y12} - \frac{B_1}{2}S_{x12}\right);$$

$$n_5 = \frac{\varphi_{21}}{S_{21}}\left(bS_{y21} + \frac{B_2}{2}S_{x21}\right);$$

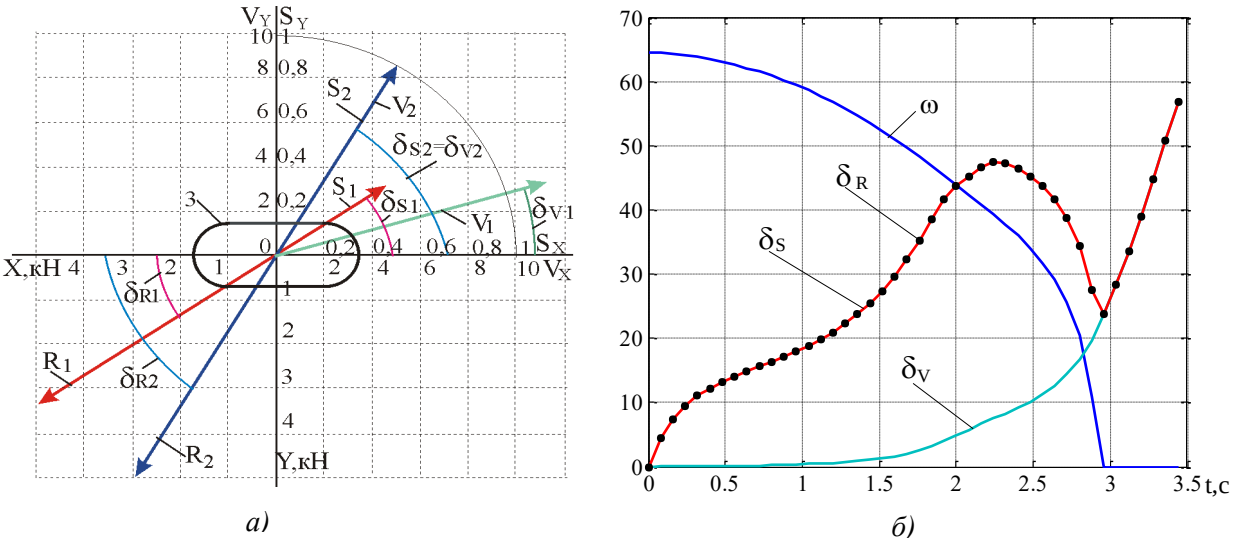
$$n_6 = \frac{\varphi_{22}}{S_{22}}\left(bS_{y22} - \frac{B_2}{2}S_{x22}\right).$$

У математичну модель введені рівняння динаміки гальмуючих коліс (28) – (31), в яких ω_{ij} – кутові швидкості коліс; M_{r12} – гальмівні моменти, що створюються колісними гальмівними механізмами; $r_д$ – динамічний радіус колеса; J_{yij}– моменти інерції коліс відносно їх осей обертання.

Система рівнянь математичної моделі інтегрувалася методом Рунге – Кутта 4-го порядку за допомогою розробленої комп'ютерної програми.

Розрахункові дослідження проводилися для КТЗ з наступними параметрами: M=2553кг; L=2,63м; a=1,39м; b=1,24м; h=0,77м; $B_1=B_2$=1,474м; $r_к = r_д$=0,31м; g=9,81м/с^2; $J_z = 2521{,}2$ кгм^2; $J_{yij} = 1{,}472$ кгм^2. Величина гальмівних моментів на колесах приймалась достатньою для доведення їх до блокування (юзу) у процесі гальмування.

На рис. 2 і 3 наведені деякі результати моделювання (з використанням залежностей (13)-(24)) руху гальмівного колеса з поздовжньо-поперечним переміщенням.



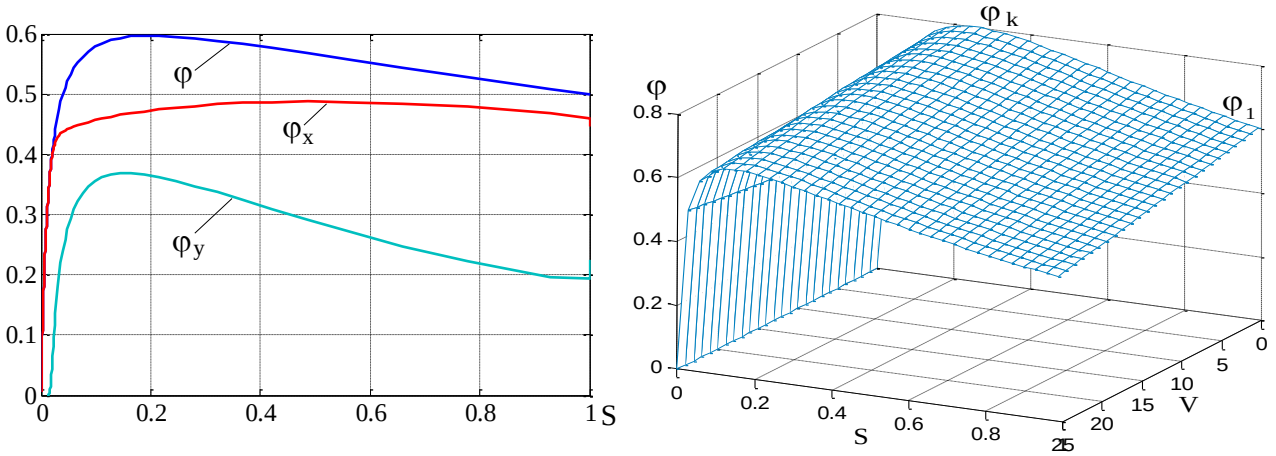
а) *б)*

Рисунок 2 – Параметри гальмівного колеса: а) – S ,V (м/с), R(Н); б) – ω (1/с); δ_S , δ_V , δ_R (град)

Figure 2 – Brake wheel parameters: a) – S ,V (m/s), R(N); b) – ω (1/s); δ_S , δ_V , δ_R (degree)

Графіки на рис. 2 ілюструють зміну в часі модулів та кутових положень векторів V, S та R під час одного гальмування колеса (поз. 3 – контур контакту колеса з дорогою). До тих пір, поки колесо котиться з проковзуванням, тобто $\omega > 0$ (до t < 2,9с, рис. 2б), коефіцієнт проковзування $S < 1$ (модуль вектора $S_1 < 1$ на рис. 2а). При $t \geq 2{,}9$с (рис. 2б) колесо заблоковане і рухається без обертання, тобто $\omega = 0$ і коефіцієнт проковзування S=1 (на рис. 2а модуль вектора S_2=1). Індекси 1, 2 при параметрах відповідають таким значенням часу: 1 – (t=2,8с); 2 – (t=3,4с). Щодо векторів результуючих реакцій R, то вони завжди будуть колінеарними векторам S, тобто вектори R і S (рис. 2а) утворюють одинакові кути з віссю абсцис ($\delta_{S1} = \delta_{R1}$ та $\delta_{S2} = \delta_{R2}$), а на рис. 2б криві δ_S і δ_R співпадають. Важливо відмітити (рис. 2а), що при $S < 1$ вектори V не колінеарні векторам R ($\delta_{V1} \neq \delta_{R1}$), але при блокуванні колеса (S=1), що має місце при $t \geq 2{,}9$с, вектор V_2 стає колінеарним вектору R_2 ($\delta_{V2} = \delta_{R2}$). Це підтверджується і рис. 2б, а саме – до t < 2,9с (тобто, коли $\omega > 0$ і $S < 1$) крива δ_V не співпадає з кривими δ_S і δ_R, а при $t \geq 2{,}9$с (тобто, коли $\omega = 0$ і S=1) три згадані криві співпадають.

Запропонована математична модель дозволяє дослідити, як при гальмуванні колеса з його поперечним переміщенням змінюються коефіцієнт зчеплення колеса з дорогою φ, а також його поздовжня φ_x та поперечна φ_y складові зі зміною коефіцієнта проковзування S (рис. 3а). Моделювання процесу гальмування відбувалося на дорозі з такими параметрами кривої коефіцієнта зчеплення (формула (24)): $\varphi_к = 0{,}6$; $S_к = 0{,}2$; $\varphi_1 = 0{,}5$.



а) *б)*

Рисунок 3 – Графіки коефіцієнта зчеплення колеса з дорогою: а) $\varphi(S)$, $\varphi_x(S)$, $\varphi_y(S)$; б) $\varphi(S,V)$

Figure 3 – Graphs of the coefficient of adhesion of the wheel to the road: a) $\varphi(S)$, $\varphi_x(S)$, $\varphi_y(S)$; b) $\varphi(S,V)$

Використовуючи формулу (24), можна дослідити вплив на коефіцієнт зчеплення φ не тільки проковзування S, але і швидкості V (м/с), якщо врахувати статистичні дані щодо впливу швидкості на основні параметри цієї формули, скориставшись лінійними залежностями: $\varphi_к = \varphi_{ко} - C_к V$; $\varphi_1 = \varphi_{1о} - C_1 V$; $S_к = S_{ко} - C_s V$, де $\varphi_{ко}$, $\varphi_{1о}$ і $S_{ко}$ - значення параметрів $\varphi_к$, φ_1 і $S_к$ при швидкості, близькій до нуля. На рис. 3б наведена залежність $\varphi(S,V)$, одержана для таких параметрів: $\varphi_{ко} = 0{,}8$; $\varphi_{1о} = 0{,}6$; $S_{ко} = 0{,}25$; $C_к = 0{,}006$; $C_1 = 0{,}006$; $C_s = 0{,}004$.

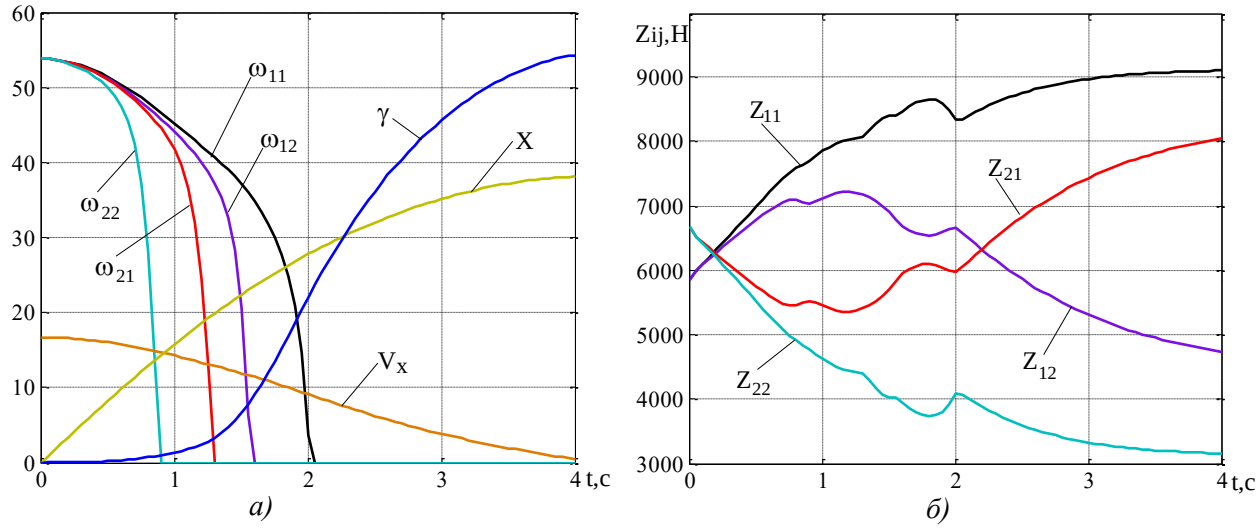
Розроблена математична модель дає можливість дослідити перебіг в часі кількох десятків параметрів процесу гальмування КТЗ. У рамках даної статті зроблено акцент на дослідженні впливу бортової нерівності гальмівних моментів на такий важливий параметр стійкості криволінійного руху як кут повороту поздовжньої осі КТЗ відносно дороги (курсовий кут). При цьому, згідно засад технічної стійкості [10], здійснювалася не якісна, а кількісна оцінка значень досліджуваного параметра та характер його зміни в часі.

Аналіз показав, що на характер зміни в часі курсового кута впливає низка факторів, зокрема, бортова нерівність гальмівних моментів на передніх та задніх колесах, тип і стан дорожнього покриття і, відповідно, коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою, послідовність блокування коліс, темп наростання гальмівних сил тощо.

Нижче проаналізовані можливі варіанти зміни в часі курсового кута при гальмуванні з бортовою нерівністю гальмівних моментів – від знакопостійного і до, мало вивчених, знакозмінного та коливального характеру зміни згаданого кута.

Прийнятий підхід щодо закономірностей взаємодії колеса з дорогою у поперечному напрямку і характеру зміни коефіцієнта зчеплення колеса з дорогою дає змогу дослідити поведінку КТЗ як при не заблокованих, так і при заблокованих колесах, що особливо важливо при дослідженні процесів гальмування на мокрих та слизьких дорогах.

У всіх розглянутих нижче випадках гальмувань приймалося, що бортова нерівність гальмівних моментів створювалася за рахунок того, що гальмівні моменти на правих колесах були більшими, ніж на лівих, тобто додатнє значення курсового кута відповідає повороту КТЗ за годинниковою стрілкою згідно з рис. 1.



а) *б)*

Рисунок 4 – Гальмування колісного транспортного засобу на мокрій дорозі при знакопостійному характері зміни в часі курсового кута: а) γ (градус), x (м), V_x (м/с), ω_{ij} (1/с); б) Z_{ij} (Н)

Figure 4 – Braking of a wheeled vehicle on a wet road with a sign-constant nature of the change in time of the course angle: a) γ (degree), x (m), V_x (m/s), ω_{ij} (1/s); b) Z_{ij} (N)

Графіки зміни в часі деяких параметрів процесу гальмування на мокрій дорозі з коефіцієнтом зчеплення коліс з дорогою $\varphi = 0{,}6$ з початкової швидкості 60 км/год наведені на рис. 4а. Гальмівні моменти на лівих колесах склали 80% від гальмівних моментів на правих колесах. Це викликало суттєве знакопостійне зростання курсового кута до 54°. З рис. 4а також видно, як змінюються в часі переміщення X (або гальмівний шлях), який склав 38м за час гальмування 4с. З цього ж рисунка чітко видно, як при гальмуванні з бортовою нерівністю гальмівних моментів відбувається різночасне блокування (юз) кожного з чотирьох коліс КТЗ, тобто кутові швидкості гальмуючих коліс стають рівними нулю у такій послідовності з плином часу: ω_{22}, ω_{21}, ω_{12}, ω_{11}.

Під час гальмувань, які відбуваються без бортової нерівності гальмівних моментів (прямолінійний рух), має місце традиційна ситуація, при якій нормальні реакції на передні колеса Z_{11} і Z_{12} зростають, а нормальні реакції на задні колеса Z_{21} і Z_{22} зменшуються. При наявності бортової нерівності гальмівних моментів ситуація змінюється (рис. 4б): згідно з формулами (9) – (12), як і при прямолінійному русі, нормальна реакція на передньому лівому колесі Z_{11} зростає, а на задньому правому колесі Z_{22} зменшується, але характер зміни інших нормальних реакцій суттєво відрізняється: нормальна реакція на передньому правому колесі Z_{12} спочатку зростає, а потім різко зменшується, а нормальна реакція на задньому лівому колесі Z_{21} спочатку зменшується, а потім різко зростає.

Дослідження, проведені з використанням запропонованої математичної моделі, дали змогу встановити, що за певних умов, при гальмуванні КТЗ з бортовою нерівністю гальмівних моментів може виникати знакозмінний характер перебігу в часі курсового кута. Здебільшого, це явище виникає при гальмуваннях на мокрих та слизьких дорогах. На рис. 5а наведені параметри процесу гальмування КТЗ на мокрій дорозі з коефіцієнтом зчеплення коліс з дорогою $\varphi = 0{,}6$ з початкової швидкості 60 км/год при суттєвій бортовій нерівності гальмівних моментів. Як видно з рисунку, колеса блокуються у такій послідовності з плином часу: $\omega_{22}, \omega_{12}, \omega_{11}, \omega_{21}$. Час, що пройшов після

закінчення блокування задніх коліс до початку блокування передніх коліс, склав 0,75с. Але найважливіше – це характер зміни у часі курсового кута γ : спочатку він зростає (КТЗ повертається за годинниковою стрілкою) і, після досягнення максимуму, починає зменшуватися, а при t ≥1,8с КТЗ повертається у протилежному напрямку (проти годинникової стрілки).

З'ясуємо механізм виникнення знакозмінного характеру перебігу в часі курсового кута. Повертаючий момент, що діє на КТЗ, описується рівнянням (3), поздовжні X та поперечні Y реакції в якому, згідно з (16) і (17), пропорційні нормальним реакціям на колесах Z_{ij}. З рис. 5б видно, як змінюються в часі реакції Z_{ij}. Оскільки гальмівні сили на правих колесах більші, ніж на лівих, то на першій стадії процесу гальмування КТЗ повертається за годинниковою стрілкою (кут $\gamma > 0$) і під дією виникаючої при цьому відцентрової сили нормальні реакції на лівих колесах збільшуються у порівнянні з правими ($Z_{11} > Z_{12}$ і $Z_{21} > Z_{22}$), що видно з рис. 5б при t < 1,2с. Через більші гальмівні сили на правих колесах і менші нормальні реакції на них, праві колеса швидко блокуються і гальмівні сили на них зменшуються, стаючи рівними силам зчеплення заблокованих коліс з дорогою. У той же час гальмівні сили на лівих колесах стають більшими, оскільки нормальні реакції на них більші і вони не заблоковані. У цих умовах повертаючий момент змінює напрям дії і КТЗ повертається проти годинникової стрілки (кут $\gamma < 0$). Одночасно з цим змінюється і напрям дії відцентрової сили, внаслідок чого нормальні реакції на правих колесах збільшуються у порівнянні з лівими ($Z_{12} > Z_{11}$ і $Z_{22} > Z_{21}$), що видно з рис. 5б при t >1,2с.

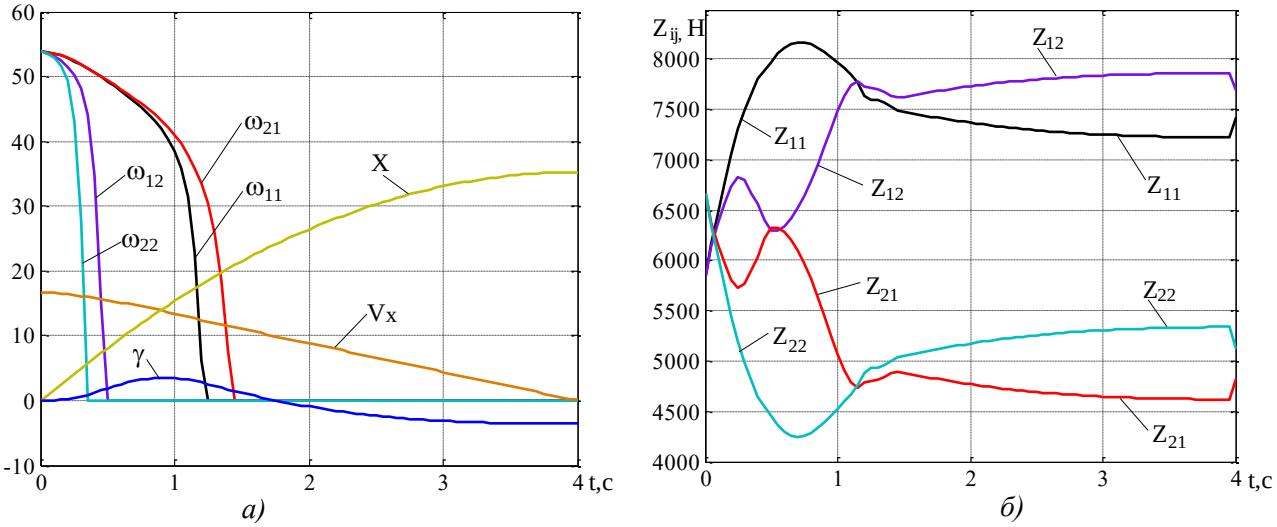


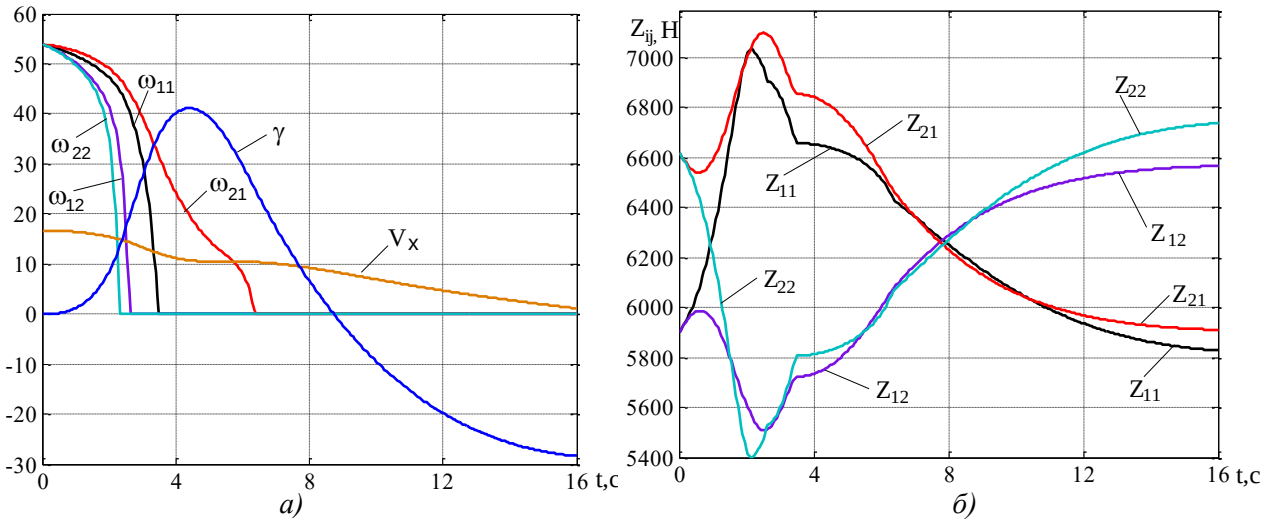
Рисунок 5 – Гальмування колісного транспортного засобу на мокрій дорозі при знакозмінному характері зміни в часі курсового кута: а) γ (градус), x (м), V_x (м/с), ω_{ij} (1/с); б) Z_{ij} (Н)

Figure 5 – Braking of a wheeled vehicle on a wet road with the alternating nature of the change in time of the course angle: a) γ (degree), x (m), V_x (m/s), ω_{ij} (1/s); b) Z_{ij} (N)

Слід відмітити, що зі зменшенням коефіцієнта зчеплення коліс з дорогою згаданий знакозмінний характер перебігу в часі курсового кута має кількісно більший прояв (рис. 6а). Параметри, наведені на цьому рисунку, отримані при гальмуванні КТЗ на слизькій дорозі з коефіцієнтом зчеплення коліс з дорогою $\varphi = 0{,}2$ з початкової швидкості 60 км/год. Послідовність блокування коліс з плином часу не змінилася у порівнянні з попереднім випадком, але додатнє значення курсового кута склало 42° , а від'ємне -28°. З рис. 6б видно, що при додатньому значенні курсового кута (до t < 8с) нормальні реакції на правих колесах більші ніж на лівих ($Z_{11} > Z_{12}$ і $Z_{21} > Z_{22}$), а при від'ємному значенні курсового кута (при t > 8с) – навпаки: $Z_{12} > Z_{11}$ і $Z_{22} > Z_{21}$.

Поряд з цим, моделювання процесу гальмування КТЗ з використанням запропонованої математичної моделі, виявило можливість виникнення коливального характеру зміни в часі курсового кута (рис. 7).

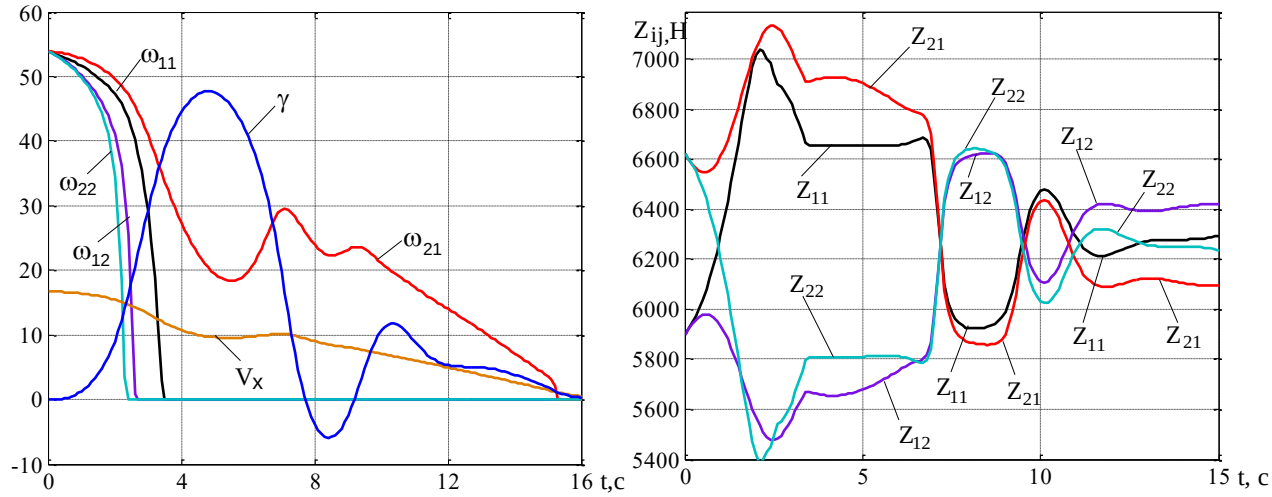
Згаданий характер процесу гальмування відбувався, коли гальмівний момент на одному з коліс (у даному випадку на задньому лівому колесі) був суттєво меншим від гальмівного моменту на парному (задньому правому) колесі. Аналіз показав, що оскільки колесо з малим гальмівним моментом не блокувалось до кінця процесу гальмування, то воно сприяло періодичній зміні величини коефіцієнта проковзування і коефіцієнта зчеплення колеса з дорогою, а також бокових реакцій на колесах та курсового кута КТЗ.



а) *б)*

Рисунок 6 – Гальмування колісного транспортного засобу на слизькій дорозі при знакозмінному характері зміни в часі курсового кута: а) γ (градус), x (м), V_x (м/с), ω_{ij} (1/с); б) Z_{ij} (Н)

Figure 6 – Braking of a wheeled vehicle on a slippery road with the alternating nature of the change in time of the course angle: a) γ (degree), x (m), V_x (m/s), ω_{ij} (1/s); b) Z_{ij} (N)



а) *б)*

Рисунок 7 – Гальмування колісного транспортного засобу на слизькій дорозі при коливальному характері зміни в часі курсового кута: а) γ (градус), x (м), V_x (м/с), ω_{ij} (1/с); б) Z_{ij} (Н)

Figure 7 – Braking of a wheeled vehicle on a slippery road with the oscillating nature of the change in time of the course angle: a) γ (degree), x (m), V_x (m/s), ω_{ij} (1/s); b) Z_{ij} (N)

Як видно з рис. 7б, характер зміни нормальних реакцій на колесах має такий же коливальний характер. Під дією змінної за напрямком відцентрової сили відбувається періодична зміна циклів – збільшення нормальних реакцій на лівих колесах при їх зменшенні на правих і навпаки.

Виявлені явища знакозмінного та коливального характеру зміни в часі курсового кута КТЗ при гальмуванні ускладнюють водію здійснювати процес керування КТЗ, а тому необхідно запобігати виникненню згаданих явищ через мінімізацію бортової нерівності гальмівних моментів на колесах КТЗ.

Аналіз впливу бортової нерівності гальмівних моментів на інші параметри процесу гальмування КТЗ з використанням запропонованої математичної моделі може бути предметом подальших досліджень.

Висновки

1. Запропоновано уточнену математичну модель для дослідження процесу гальмування КТЗ в умовах бортової нерівності гальмівних моментів та наведена її апробація при дослідженні перебігу в часі основних параметрів процесу гальмування.

2. Кількісними дослідженнями з використанням запропонованої математичної моделі з'ясовані фізичні процеси, які відбуваються при взаємодії гальмівного колеса з дорогою на підставі концепції про спільну природу та ідентичні закономірності взаємодії колеса з дорогою як у поздовжньому, так і у поперечному напрямках.

3. Досліджено вплив бортової нерівності гальмівних моментів на курсовий кут КТЗ. З'ясовано механізм виникнення знакозмінного та коливального характеру зміни в часі курсового кута КТЗ при гальмуванні, що ускладнює водію здійснювати процес керування КТЗ і актуалізує питання застосування гальм зі стабільними характеристиками (барабанних без самопідсилення або дискових), застосування автоматичних регуляторів зазору у фрикційних парах та проведення регулярного контролю гальмівних моментів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Державний стандарт України ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання; надано чинності 2011-07-01. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 28 с.

2. Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля /А.С.Литвинов. – М.: Машиностроение, 1971. – 416 с.

3. Косолапов Г.М. Исследование процесса торможения многоосных автомобилей/ Г.М. Косолапов, Е.Н.Сидоров, Н.К. Клепик // Автомобильная промышленность. – 1978. – № 7. – С. 23 – 25.

4. Подригало М.А. Устойчивость колесных машин при торможении / М.А.Подригало, В.П.Волков, В.И.Кирчатый // – Харьков: Изд-во ХГАДТУ, 1999. – 93 с.

5. Антонов Д.А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей / Д.А.Антонов. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.

6. Иларионов В.А. О траектории движения тормозящего колеса / В.А.Иларионов, М.А.Петров, Ю.А. Сергеев //Автомобильная промышленность. – 1976. – № 8. – С. 14 – 16.

7. Zazanski P. Das Zusammenvirken vom Brems und Seitenshlupf am Pahrzeugreifen / P.Zazanski // Kraftfarzeugtechnik. – 1973. – № 4. – S. 8 – 11.

8. Петров М.А. Расчетное определение продольных и боковых реакций при движении тормозящего колеса с уводом / М.А.Петров, В.Д.Балакин, Ю.В.Тюнев // Автомобильная промышленность. – 1978. – № 2. – С. 26 – 28.

9. Дем'янюк В.А. Визначення дотичних реакцій та кінематичних параметрів гальмового колеса в загальному випадку його руху / В.А. Дем'янюк // Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів. – 2000. – Вип. 3. – С. 61 – 70.

10. Вопросы динамики торможения и теории рабочих процессов тормозных систем автомобилей / Б.Б.Генбом, Г.С.Гудз, В.А.Демьянюк, А.М.Кизман, В.Н.Кобылянский. – Львов: Вища школа, 1974. – 234 с.

REFERENCES

1. *DSTU 3649:2010. Kolisni transportni zasoby. Vymohy shchodo bezpechnosti tekhnichnoho stanu ta metody kontroliuvannia.* [State Standard 3649:2010. Wheeled vehicles. Technical condition safety requirements and control methods]. Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy Publ., 2011. 28 p.

2. Litvinov A.S. *Upravlyayemost i ustoychivost avtomobilya* [Vehicle handling and stability]. M., Mashinostroyeniye Publ., 1971. 416 p.

3. Kosolapov G.M., Sidorov Ye.N., Klepik N.K. Issledovaniye protsessa tormozheniya mnogoosnykh avtomobiley [Research of the braking process of multi-axle vehicles]. *Avtomobilnaya promyshlennost – Automotive industry*, 1978, no 7, pp. 23 – 25.

4. Podrigalo M.A., Volkov V.P., Kirchatyy V.I. *Ustoychivost kolesnykh mashin pri tormozhenii* [Stability of wheeled vehicles when braking]. Kharkov, Izd-vo KHGADTU Publ., 1999. 93 p.

5. Antonov D.A. *Teoriya ustoychivosti dvizheniya mnogoosnykh avtomobiley* [The theory of stability of motion of multi-axle vehicles]. M., Mashinostroyeniye Publ., 1978. 216 p.

6. Ilarionov V.A., Petrov M.A., Sergeyev YU.A. O trayektorii dvizheniya tormozyashchego kolesa [About the trajectory of the braking wheel]. *Avtomobilnaya promyshlennost – Automotive industry*, 1976, no 8, pp. 14 – 16.

7. Zazanski P. Das Zusammenvirken vom Brems und Seitenshlupf am Pahrzeugreifen. *Kraftfarzeugtechnik*, 1973, no 4, pp. 8 – 11.

8. Petrov M.A., Balakin V.D., Tyunev YU.V. Raschetnoye opredeleniye prodolnykh i bokovykh reaktsiy pri dvizhenii tormozyashchego kolesa s uvodom [Calculated determination of the longitudinal and lateral reactions during the movement of the braking wheel with withdrawal]. *Avtomobilnaya promyshlennost – Automotive industry*, 1978, no 2, pp. 26 – 28.

9. Demianiuk V.A. Vyznachennia dotychnykh reaktsii ta kinematychnykh parametriv halmovoho kolesa v zahalnomu vypadku yoho rukhu [Determination of tangential reactions and kinematic parameters of the brake wheel in the general case of its motion]. *Proektuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiya avtotransportnykh zasobiv i poizdiv – Design, manufacture and operation of vehicles and trains*, 2000, issue 3, pp. 61 – 70.

10. Genbom B.B., Gudz G.S., Demianiuk V.A., Kizman A.M., Kobylyanskiy V.N. *Voprosy dinamiki tormozheniya i teorii rabochikh protsessov tormoznykh sistem avtomobiley* [Questions of the dynamics of braking and the theory of working processes of braking systems of cars]. Lvov, Vishcha shkola Publ., 1974. 234 p.

РЕФЕРАТ

Дем’янюк В.А. Аналіз процесу гальмування колісних транспортних засобів в умовах бортової нерівності гальмівних моментів / В.А. Дем’янюк // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

Стаття присвячена дослідженню динаміки криволінійного руху і курсової стійкості колісних транспортних засобів під час гальмування в умовах бортової нерівності гальмівних моментів.

Об’єкт дослідження – колісний транспортний засіб, гальмування якого досліджується на сухій, мокрій та слизькій дорогах.

Мета роботи – розробити методи моделювання та аналізу процесу гальмування колісного транспортного засобу в умовах бортової нерівності гальмівних моментів.

Метод дослідження – математичне та комп’ютерне моделювання динамічної системи.

Запропоновано математичну модель, яка дозволяє дослідити виникнення криволінійного руху (заносу) колісного транспортного засобу під час гальмування та проаналізувати, як нерівність гальмівних моментів на лівих та правих колесах колісного транспортного засобу впливає на параметри його руху. Під час гальмування виникають значні поздовжні та поперечні реакції в контакті коліс з дорогою, які спричиняють суттєві проковзування коліс у відповідних напрямках. Тому під час визначення поперечної реакції, що виникає в контакті коліс з дорогою, перевага в математичній моделі надається не класичній теорії відведення колеса, а концепції про спільну природу та ідентичні закономірності взаємодії колеса з дорогою як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках. У рамках згаданої концепції кількісними дослідженнями з’ясовані фізичні процеси, які відбуваються при взаємодії гальмівного колеса з дорогою.

У статті досліджено вплив бортової нерівності гальмівних моментів на курсовий кут під час гальмування колісного транспортного засобу. Дослідження виявили причини виникнення знакозмінного та коливального характеру зміни в часі курсового кута колісного транспортного засобу під час гальмування, що ускладнює водієві процес керування.

Результати, отримані в статті, актуалізують перед проектувальниками колісних транспортних засобів питання про підвищення стабільності характеристик гальмівних механізмів та широкого застосування автоматичних регуляторів зазору у фрикційних парах гальм.

Прогнозні припущення щодо розвитку об’єкта дослідження – розроблення баз даних для уточнення регламентуючих документів щодо допустимих значень бортової нерівності гальмівних моментів для різних категорій колісних транспортних засобів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КОЛІСНІ ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ, ПРОЦЕС ГАЛЬМУВАННЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, КОМП’ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, КУРСОВА СТІЙКІСТЬ,

ABSTRACT

Demianiuk V.A. Analysis of the process of braking of wheeled vehicles in the conditions of onboard inequality of braking moments. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The article is devoted to the study of the dynamics of curvilinear motion and course stability of wheeled vehicles during braking in conditions of onboard uneven braking torques.

The object of the study – wheeled vehicle, the braking of which is investigated on dry, wet and slippery roads.

The purpose of the work is to develop methods of modeling and analysis of the braking process of the wheeled vehicle in the conditions of onboard inequality of braking moments.

Research method – mathematical and computer modeling of a dynamic system.

A mathematical model is proposed, which allows to investigate the occurrence of curvilinear motion (skid) of wheeled vehicle during braking and to analyze how the inequality of braking moments on the left and right wheels of wheeled vehicle affects the parameters of its movement. During braking, significant longitudinal and transverse reactions occur in the contact of the wheels with the road, which cause significant slippage of the wheels in the appropriate directions. Therefore, when determining the transverse reaction that occurs in the contact of wheels with the road, preference in the mathematical model is given not to the classical theory of wheel deflection, but to the concept of the common nature and identical patterns of interaction of the wheel with the road in both longitudinal and transverse directions. Within the framework of the mentioned concept, quantitative research has clarified the physical processes that occur when the brake wheel interacts with the road.

The article investigates the influence of the onboard inequality of braking moments on the course angle during braking of a wheeled vehicle. Studies have identified the causes of the variable by the sign and the oscillating nature of the change in time of the course angle of the vehicle during braking, which complicates the driver to carry out the driving process.

The results obtained in the article actualize before the designers of wheeled vehicles the question of increasing the stability of the characteristics of the brake mechanisms and the widespread use of automatic gap regulators in the friction pairs of brakes.

Predictive assumptions about the development of the object of study – the development of databases to clarify the regulatory documents on the allowable values of on-board inequality of braking torques for different categories of wheeled vehicles.

KEY WORDS: WHEELED VEHICLES, BRAKING PROCESS, MATHEMATICAL MODEL, COMPUTER SIMULATION, COURSE STABILITY.

АВТОР:

Дем'янюк Володимир Андрійович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри дорожніх машин, e-mail: vademianiuk@ukr.net, тел. +380677023247, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к. 226, orcid.org/0000-0003-2458-5712

AUTHOR:

Demianiuk Volodimir A., Ph.D. Engineering (Dr.), professor, National Transport Unversity, professor departament of road machines, e-mail: vademianiuk@ukr.net, тел. +380677023247, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovich-Pavlenko str. 1, of. 226, orcid.org/0000-0003-2458-5712

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Подригало М.А. доктор технічних наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, завідувач кафедри технології машинобудування та ремонту машин, Харків, Україна.

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

REVIEWER:

Podrigalo M.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kharkiv National Automobile and Road University, Head of Department of Mechanical Engineering and Machine Repair Technology, Kharkiv, Ukraine.

Sakhno V. P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of Department of Automobiles, Kyiv, Ukraine.

УДК 656.11
UDC 656.11
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-193-200

АНАЛІЗ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ В ЄВРОПЕЙСЬКИХ МІСТАХ

Дзюба О.П., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, apd@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4260-2742
Корчевська А.А., Національний транспортний університет, Київ, Україна, alinakorchevskaja@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8245-9891
Шевченко А.Т., Національний транспортний університет, Київ, Україна, alisashevchenko505@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2008-7150

AN ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS IN EUROPEAN CITIES

Dziuba A.P., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, apd@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4260-2742
Korchevskaya A.A., National Transport University, Kiev, Ukraine, alinakorchevskaja@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8245-9891
Shevchenko A.T., National Transport University, Kyiv, Ukraine, alisashevchenko505@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2008-7150

Постановка проблеми.

Непрогнозоване збільшення рівня автомобілізації щорічно призводить до утворення заторових ситуацій на вулично-дорожній мережі міста. Це призводить до збільшення витрат часу, палива та викидів в атмосферу, а також до затримки у роботі громадського транспорту, що впливає на його популярність серед місцевих жителів. Таким чином погіршує екологічну ситуацію у місті, особливо у центральній його частині адже саме в ній спостерігається найбільше скупчення автомобілів. Для вирішення цієї проблеми необхідно розвивати інфраструктуру, проте зазвичай це потребує значних фінансових та часових витрат. Тому необхідно шукати альтернативні варіанти рішення проблеми.

Аналіз останніх досліджень.

Питанню удосконалення організації дорожнього руху приділяється велика увага з боку вітчизняних та зарубіжних вчених таких, як Эртман С.А., Клинковштейн Г. И, Тараненко С.М..

Недостатність досліджень саме в сфері впровадження інтелектуальних транспортних систем обумовлює актуальність статті.

Мета роботи.

Проаналізувати доцільність впровадження інтелектуальних транспортних систем з метою зменшення заторових ситуацій в європейських містах.

Основна частина.

Транспорт є однією з найважливіших галузей суспільного виробництва будь-якої країни. Його основною задачею є задоволення потреб населення та виробництва в перевезенні. Ефективний розвиток економіки тісно пов'язаний з розвитком та функціонуванням транспорту.

На всіх етапах розвитку економіки транспорт забезпечує потреби її галузей та населення в оперативному переміщенні вантажів та пасажирів. При розвитку ринкових відносин особливо гостро ставиться питання дотримання термінів доставки. Основною особливістю транспорту є нематеріальний характер продукції, що виробляється. Транспорт забезпечує функціонування виробничої та невиробничої сфер економіки, задовольняє потреби населення та, отже, є обслуговуючою галуззю.

Звідси і його специфічна роль забезпеченні зростання громадського продукту та національного доходу й поліпшенні роботи галузей, які виробляють матеріальну продукцію. Ця роль полягає у своєчасній доставці необхідної продукції від виробника до споживачів, зменшенні втрат та псування готової продукції, сировини, поліпшенні транспортного обслуговування населення шляхом швидкої його доставки у комфортних умовах.

Транспорт одночасно виступає і у ролі споживача і у ролі роботодавця, оскільки використовує транспортні засоби, паливо та іншу продукцію різних галузей економіки, і навіть трудові ресурси. Темпи розвитку транспорту повинні дещо випереджати потреби у перевезенні вантажів та пасажирів.

Резерви транспорту вважаються найдоцільнішими видами резервів, оскільки відсутність можливостей переміщення вантажів та пасажирів є серйозним гальмом у розвитку економіки.

На сьогоднішній день рівень автомобілізації та урбанізації населення значно перевищує рівень розвитку інфраструктури. Це призводить до значного зниження пропускної спроможності вулично-дорожньої мережі та утворення конфліктних, аварійних та заторових ситуацій. Таким чином погіршується показник транспортної мобільності міста, що призводить до значних економічних витрат не тільки міста, а й країни в цілому. Простій у заторах також спричиняє більші витрати палива й, як у наслідок, більшу кількість шкідливих викидів в атмосферу. Це значно погіршує екологічну обстановку у містах. Забруднення атмосферного повітря призводить до збільшення захворювань як органів дихання, так і серцево-судинної системи. Прораховано, що близько 20% усіх хвороб органів дихання та 10% хвороб системи кровообігу пов'язані із забрудненням атмосфери. Нині промислові міста, де зосереджено понад 50% населення, можна зарахувати до екологічно небезпечних зон, оскільки вміст забруднюючих речовин в атмосфері значно перевищує гранично допустимі концентрації. Велику роль у цьому відіграє забруднення автотранспортом викидами свинцю, який має значну токсичність і здатність накопичуватися в організмі. Нагромаджуючись в організмі людини, свинець поряд з іншими шкідливими речовинами може стати причиною несприятливих віддалених наслідків, оскільки має мутагенні, канцерогенні, тератогенні та ембріогонадо-токсичні властивості.

Європейські міста сформувалися багато сторічь назад, тому й архітектура вулично-дорожньої мережі була спроектована за тих часів, коли автомобілі ще не винайшли та забудівля відбувалася дуже щільно. Саме тому як перебудувати транспортну мережу не можливо, фахівці повинні знаходити вихід із ситуації, що склалася історично. Це спричиняє появу альтернативних способів організації дорожнього міста. Одним з них є впровадження інтелектуальних транспортних систем.

Інтелектуальна транспортна система (ІТС) – це комплекс систем, який використовує інноваційні розробки в моделюванні транспортних потоків та допомагає ефективніше транспортувати мережу, використовуючи інформаційні, комунікаційні та управлінські технології, вбудовані в транспортний засіб або дорожню інфраструктуру. Основою інтелектуальних транспортних систем є інформація, яку необхідно збирати, обробляти, інтегрувати та розповсюджувати. Комплекс ІТС здатний виконувати функції диспетчерського ситуаційного та оперативного координування взаємодій усіх учасників дорожнього руху, спецслужб та відомств.

Для ефективного впровадження, перш за все, необхідно провести детальний збір інформації про стан трафіку. Приватна компанія TomTom Traffic Index протягом 10 останніх років збирає данні про затори у 416 містах 57 країн світу. Світовий рейтинг заторового індексу 2020 року наведений в рисунку 1. Перший стовпчик – це місце в європейському рейтингу, другий – в світовому, третій – назва міста, четвертий – кількість днів на рік з найменшим показником заторів, п’ятий – гістограма заторів по місяцям, шостий – заторовий індекс 2020 року, сьомий – відсоткові зміни в порівнянні з 2019 роком (стрілка вверх означає погіршення ситуації на вулично-дорожній мережі, вниз – покращення).

Компанія вираховує свій «заторовий індекс» наступним чином - рівень заторів у місті складає 30% означає, що 30-хвилинна поїздка займе на 30% більше часу, ніж це було б за базових незавантажених умов. Тоді час у дорозі дорівнюватиме:

-0,3 х 30 хв. = 9 хв додатковий середній час у дорозі.

-30 хв. + 9 хв. = 39 хв загальний середній час подорожі.

Розраховується базова лінія на місто, аналізуючи час руху вільних потоків усіх транспортних засобів на всій дорожній мережі - реєструється 24/7, 365 днів на рік. Ця інформація дозволяє підрахувати, наприклад, скільки зайвого часу водій проведе у заторі під час години пік у місті.

Задля аналізу було обрані наступні європейські столиці, що впровадили ІТС: Берлін (Німеччина), Відень (Австрія), Варшава (Польща), що згідно статистичних даних TomTom Traffic Index посіли наступні місця у світовому рейтингу 2020 року:

- Берлін 29 місце;
- Відень 99 місце;
- Варшава 47 місце.

Заторові індекси міст є наступними :

- Берлін 30%;
- Відень 26%;
- Варшава 31%.

RANK BY FILTER	WORLD RANK ▾	CITY	DAYS WITH LOW TRAFFIC ▾	CONGESTION MONTH BY MONTH	CONGESTION LEVEL 2020 ▾	CHANGE FROM 2019 ▾	
1	1	**Moscow region (oblast)** Russia	66 days		**54%**	↓ 5%p	›
2	5	**Istanbul** Turkey	80 days		**51%**	↓ 4%p	›
3	7	**Kyiv** Ukraine	48 days		**51%**	↓ 2%p	›
4	9	**Novosibirsk** Russia	15 days		**45%**	↓ 0%p	›
5	11	**Odessa** Ukraine	47 days		**44%**	↓ 3%p	›
6	12	**Saint Petersburg** Russia	60 days		**44%**	↓ 5%p	›
7	13	**Kharkiv** Ukraine	19 days		**43%**	↓ 0%p	›
8	14	**Lodz** Poland	13 days		**42%**	↓ 5%p	›
9	18	**Bucharest** Romania	66 days		**42%**	10%p	›
10	20	**Samara** Russia	40 days		**41%**	↓ 3%p	›

Рисунок 1 – Європейський рейтинг заторового індексу
Figure 1 – European congestion index rating

Тобто якщо за базових умов завантаження водій мав би витратити лише 30 хвилин на поїздку, то згідно заторового індексу у Берліні він витратить 39 хв, у Відні 37 хв, а у Варшаві 39,5 хв.

Для кращого розуміння ефекту впровадження інтелектуальних транспортних систем наведене порівняння розподілу поїздок згідно вибору транспортного засобу у вигляді діаграми рисунок 2.

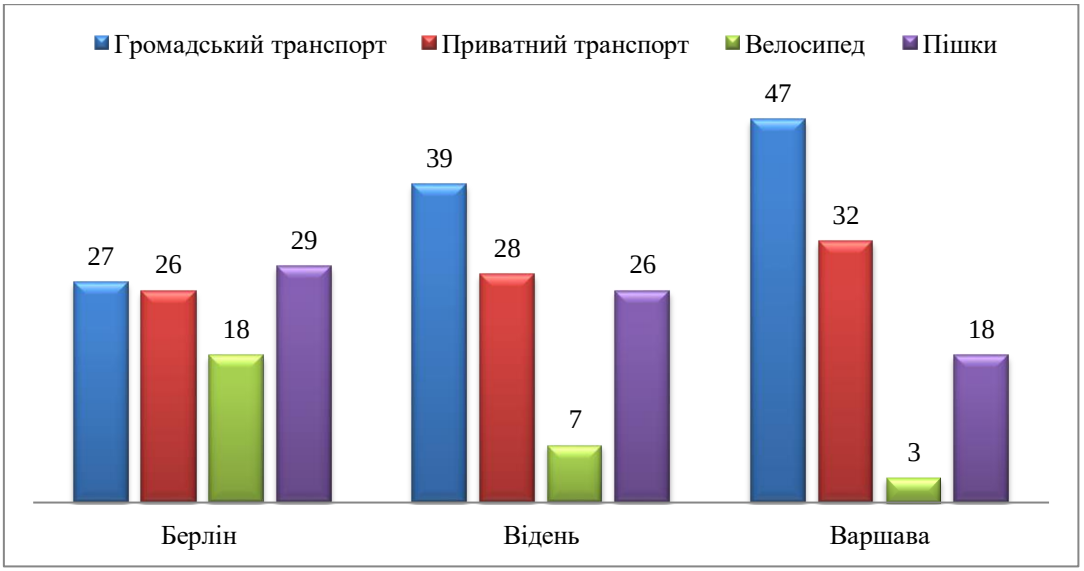


Рисунок 2 – Порівняння розподілу поїздок згідно вибору транспортного засобу
Figure 2 – Comparison of the distribution of trips according to the choice of vehicle

Найпопулярнішим є громадський вид транспорту. Це обумовлено чітким дотримання розкладу, щільністю зупинок, різноманітністю видів транспорту, а також зручністю білета, що дозволяє протягом 90 хвилин користуватися і метро, і автобусом і трамваєм, а також міською електричкою. Громадський транспорт є не просто засобом для переміщення населення на території

міста, а й найважливішим фактором покращення екологічної обстановки, скорочення кількості транспортних засобів, зменшення витрат міста на інвестиції в дорожньо-транспортне будівництво, так як ефективна діюча система міського громадського транспорту зменшує число користувачів приватного транспорту. не тільки добре розвиненою інфраструктурою, а й ефективним функціонуванням транспортної системи. А саме використанням інтелектуальних транспортних систем.

Обов'язковим компонентом будь-якого сучасного транспортного рішення є інформаційні підсистеми, головне призначення яких полягає у підвищенні доступності інформації для користувачів громадським транспортом. Для управління інтелектуальними транспортними системами задля забезпечення ефективної роботи доріг, перехресть і автомагістралей необхідно:

- оптимізація руху приватного та громадського транспорту;
- швидке реагування на ситуації на вулично-дорожній мережі;
- підвищення безпеки руху;
- недопущення різноманітних порушень тощо.

У місті має бути створений єдиний центр управління ІТС, куди в онлайн-режимі передаватимуться дані з детекторів моніторингу транспортних потоків та дорожня обстановка з фото- та відеокамер. Система також повинна фіксувати швидкість потоку, кількість автомобілів та громадського транспорту, метеоумови та стан траси. У разі ДТП система повинна попереджати про утруднення на дорозі та підказувати альтернативні шляхи проїзду. Сигнали світлофорів повинні змінюватись залежно від завантаженості сусідніх перехресть. При дії описаної системи з'явиться можливість координувати потоки у разі заторів, скасовувати непопулярні маршрути та призначати нові.

Інтелектуальні транспортні системи на дорогах є цілим комплексом функціонального обладнання, яке здійснює збір інформації, управління транспортним потоком та інформування учасників дорожнього руху. Тільки за умови оснащення системи необхідним обладнанням можна досягти суттєвого покращення ситуації на вулично-дорожній мережі міста.

Компоненти до впровадження інтелектуальної транспортної системи наступні :

- дорожні відеокамери;
- «розумні» світлофори;
- детектори транспорту;
- електронні засоби оплату проїзду;
- інформаційні табло;
- паркомати;
- автоматизоване управління освітленням;
- засоби автоматичної фіксації порушень правил дорожньої безпеки.

Дорожні камери виступають «очима» сучасних інтелектуальних транспортних систем. Це відеокамери високої роздільної здатності, які повсюдно використовуються розробниками ІТС, як комплекс відеофіксації порушень правил дорожнього руху. У системах використовуються відеокамери, які дозволяють ефективно стежити за дорожнім потоком, виділяти об'єкти, що рухаються, виконувати захоплення кадрів з державними реєстраційними знаками транспортних засобів, а також розпізнавати буквено-символьні зображення на номерах.

«Розумний» світлофор отримав свою назву завдяки тому, що його керування відбувається за допомогою певної програми. Це дозволяє створювати магістральне керування по місту, тобто змушує працювати суміжні світлофори на перехрестях у координації один з одним. Таким чином реалізується режим «зелена хвиля», що за умови дотримання рекомендованої швидкості 40 – 50 км/год, дозволяють водію проїхати ділянку дороги без зупинок на забороняючий сигнал світлофору. Впровадження даного режиму забезпечує скорочення часу проїзду, зменшує кількість дорожньо-транспортних пригод та покращує екологічну обстановку у місті в цілому, адже скорочується кількість зупинок автомобілів на світлофорах.

Виділяють три режими роботи світлофорів:

- локальний. Пристрій працює за заданою схемою, в якій, як приклад, враховується ранковий та вечірній часи пік, а також не значне завантаження протягом дня;

- координований. Припускає координацію роботи кількох світлофорів в одній зоні. Світлофори працюють синхронно, що сприяє підвищенню пропускної спроможності;

- адаптивний. Світлофор працює самостійно і автоматично приймає рішення на основі діючих даних про дорожню ситуацію. Дані про дорожній потік надходять через індукційні петлі або датчики.

Детектори транспорту - це спеціальні вимірювальні прилади, що працюють за допомогою чутливих елементів, підсилювача-перетворювача та вихідного пристрою. Прилад фіксує факт

проходження або присутності транспортного засобу в контрольованій зоні, виробляє первинний сигнал, який згодом посилюється, обробляється та перетворюється на зручний для реєстрації вид. За допомогою детекторів транспорту можливо реалізовувати адаптивне регулювання.

Існують кілька типів детекторів, що відрізняються за принципом дії чутливих елементів:

- контактні;
- електромагнітні;
- детектори випромінювання.

Необхідність оплати проїзду сприяє утворенню заторів на платних автомобільних дорогах. Щоб зменшити затори , використовуються так звані електронні засоби оплати проїзду – транспондери. Це електронний пристрій для автоматичної оплати проїзду, що дозволяє проїжджати пункти стягування плати на платних магістралях майже без зупинки. Транспондер в автоматичному режимі оплачує проїзд, водієві не потрібно зупинятися і виходити з машини — досить знизити швидкість до 20-30 км / год.

Інформаційні табло - це основний засіб інформування водіїв щодо ситуації на дорогах. На табло може виводитися різна інформація: завантаження ділянок дороги; наявність ДТП на маршруті; кількість громадського транспорту; аварійні чи ремонтні роботи, стан доріг тощо. Допомагають водію краще орієнтуватися у місті та правильно планувати свій маршрут.

Окрім керування транспортним потоком також необхідно враховувати той факт, що автомобілі потрібно паркувати. У великих містах наземні паркінги «розкидані» по всій вулично-дорожній мережі та наймати працівників задля стягнення плати є фінансово не обґрунтовано. Тому доцільніше встановлювати в таким місцях паркомати – пристрої, які розташовують у місцях автоматизованого платного паркування. З їхньою допомогою автомобіліст може самостійно здійснювати оплату паркування відповідно до заданих тарифів. Прилади не тільки спрощують життя водіям, але й роблять більш економічним паркування через зниження витрат на співробітників.

Автоматизоване керування освітленням. Система управління освітленням дає можливість повністю автоматизувати вуличне та дорожнє освітлення. Вона здатна самостійно приймати рішення про необхідність увімкнення або вимкнення світла відповідно до ситуації на дорозі, часу доби та інших факторів. Система працює за закладеним алгоритмом, отримуючи інформацію з різних датчиків, що фіксують завантаження та освітленість зони дороги. Встановлення такої системи значно економить кошти на електроенергію.

Одними з найважливіших елементів ІТС, які призначені не тільки для фіксації порушень правил дорожнього руху, а й для їх запобігання та зменшення аварійності, є засоби автоматичної фіксації порушень. Відеокамери фіксують будь-яке порушення правил дорожнього руху і система автоматично надсилає штраф за створення небезпечної ситуації на дорозі, завдяки чому автомобілісти відповідальніше дотримуються правил дорожнього руху.

Саме такі складові присутні в єдиному центрі управління ІТС у Берліні, Відні та Варшаві. З метою підтримання безперебійної мобільності в місті, Берлінський сенат розробив комплексну систему управління дорожнім рухом. Керуючим органом якої є Берлінський центр управління дорожнім рухом – Verkehrsregelungszentrale (VKRZ). Його головними функціями є контроль руху у головній дорожній мережі Берліна із застосуванням найсучасніших технологій дорожнього руху . Центр управління дорожнім рухом відстежує і регулює роботу світлофорів у Берліні приблизно на 2000 перехрестях. У Варшаві це Centrum Automatycznego Nadzoru nad Ruchem Drogowym, а у Відні - ITS Vienna Region.

Головними складовими даних центрів управління є створення загальнонаціональної довідкової системи даних про інфраструктуру руху з унікальною якістю, інтеграцією та деталізацією у вигляді мобільного додатку для жителів міст. Таким чином, вся актуальна інформація про дорожню обстановку, ремонтні роботи, перекриття та інше зосереджена в одному додатку, що дуже зручно для користувача, а також допомагає йому скласти оптимальний маршрут з урахуванням всіх нюансів на вулично-дорожній мережі.

Реалізувавши інтелектуальні транспортні системи у містах Берлін, Варшава та Прага було досягнуто:

- збільшення пропускної спроможності на 16%;
- зменшення концентрації викидів CO2 на 5%;
- збільшення використання громадським транспортом на 6.

Окрім цього, перевагами впровадження також стали:

- підвищення безпеки дорожнього руху, зменшення кількості дорожньо-транспортних пригод та смертності на вулично-дорожній мережі міста;

- забезпечення безперешкодного пересування спецслужб та спецтранспорту на виклики;
- оперативне та точне доведення інформації до спецслужб щодо ситуацій на дорогах;
- інформування водіїв про порушення правил дорожнього руху;
- фіксація будь-яких фактів порушення водієм правил дорожнього руху;
- підвищення уваги водія під час руху;
- створення необхідних умов для скорочення часу, який доводиться витрачати пасажирам, щоб дістатися до місць тяжіння (робота, школа, університет тощо);
- забезпечення можливості вибору оптимального за зручністю та швидкістю маршруту;
- оптимізація руху з огляду на ситуацію на дорогах тощо.

Висновки.

Отже, провівши аналіз інтелектуальних транспортних систем європейських міст, було надано їх характеристику, вказано результати впровадження, що мали позитивний ефект.

В умовах стрімкої урбанізації та автомобілізації необхідно використовувати сучасні технології задля ефективного функціонування транспортної галузі в цілому. Тому, впровадження інтелектуальної транспортної системи є доцільним та виправданим.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. В. В. Комаров, С. А. Гараган. Архітектура та стандартизація телематичних та інтелектуальних транспортних систем. Зарубіжний досвід та вітчизняна практика: Підручник для ВНЗ/ В. В. Комаров, С. А. Гараган М.: НТВ «Енергія», 2012-183 с.
2. Andrew Noble. Quality controlled/ Andrew Noble // Traffic Technology International. – 2006. – August/September. – P. 108–109
3. Adell, E.; Ljungberg, C. The Poly-SUMP Methodology. How to Develop a Sustainable Urban Mobility Plan for A Polycentric Region. In European Platform on Sustainable Urban Mobility Plans; European Commission: Brussels, Belgium, 2014.
4. Anand Paul, Naveen Chilamkurti, Alfred Daniel, Seungmin Rho Chapter 1 - Introduction: intelligent vehicular communications // intelligent Vehicular Networks and Communications, 2017. Pp. 1-20.
5. Anand Paul, Naveen Chilamkurti, Alfred Daniel, Seungmin Rho Chapter 2 - intelligent transportation systems // intelligent Vehicular Networks and Communications, 2017. Pp. 21-41.
6. Fan Y, Khattak, A J and Shay E (2007) Intelligent Transportation Systems: What Do Publications and Patents Tell Us? Journal of Intelligent Transportation Systems, 11:2,91-103
7. Stawiarska, E. Analysis of the region specialization in the issue of “ecology” and “transport”; Ecology, economics, education and legislation; Environmental economics. In Proceedings of the 17th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference, SGEM 2017, Albena, Bulgaria, 29 June–5 July 2017; STEF92 Technology: Sofia, Bulgaria, 2017; Volume 17, pp. 51–59
8. Tarapata, Z. Modelling and analysis of transportation networks using complex networks: Poland case study. Arch. Transp. 2015, 36, 55–65
9. Новые химические технологии. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=7527
10. Центр 2М. Интеллектуальные транспортные системы. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://center2m.ru/intellektualnye-transportnye-sistemy

REFERENCES

1. V. V. Komarov, S. A. Garagan. Architecture and standardization of telematic and intelligent transport systems. Foreign dosvid that vitchiznyana practice: Pidruchnik for VNZ / V. V. Komarov, S. A. Garagan M.: NTV «Energiya», 2012-183 p.
2. Andrew Noble Quality controlled/ Andrew Noble // Traffic Technology International. – 2006. – August/September. – R. 108–109
3. Adell, E.; Ljungberg, C. The Poly-SUMP Methodology. How to Develop a Sustainable Urban Mobility Plan for A Polycentric Region. In European Platform on Sustainable Urban Mobility Plans; European Commission: Brussels, Belgium, 2014.
4. Anand Paul, Naveen Chilamkurti, Alfred Daniel, Seungmin Rho Chapter 1 - Introduction: intelligent vehicular communications // intelligent Vehicular Networks and Communications, 2017. Pp. 1-20.
5. Anand Paul, Naveen Chilamkurti, Alfred Daniel, Seungmin Rho Chapter 2 - intelligent transportation systems // intelligent Vehicular Networks and Communications, 2017. Pp. 21-41.
6. Fan Y, Khattak, A J and Shay E (2007) Intelligent Transportation Systems: What Do Publications and Patents Tell Us? Journal of Intelligent Transportation Systems, 11:2,91-103

7. Stawiarska, E. Analysis of the region specialization in the issue of “ecology” and “transport”; Ecology, economics, education and legislation; environmental economics. In Proceedings of the 17th International Multidisciplinary Scientific Geo Conference, SGEM 2017, Albena, Bulgaria, 29 June–5 July 2017; STEF92 Technology: Sofia, Bulgaria, 2017; Volume 17, pp. 51–59

8. Tarapata, Z. Modeling and analysis of transportation networks using complex networks: Poland case study. Arch. Transp. 2015, 36, 55–65

9. New chemical technologies. [Electronic resource]. Access mode: https://www.newchemistry.ru/letter.php?n_id=7527

10. Center 2M. Intelligent transport systems. [Electronic resource]. Access mode: https://center2m.ru/intellektualnye-transportnye-systemy

РЕФЕРАТ

Дзюба О.П. Аналіз впровадження інтелектуальних транспортних систем в європейських містах / А.А. Корчевська, А.Т. Шевченко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

Вступ. У цій статті розглядається сутність інтелектуальної транспортної системи. Описано його концепцію та визначено основні складові реалізації. Досліджено результати впровадження інтелектуальної транспортної системи в містах Європи

Постановка проблеми. Непередбачуване підвищення рівня автомобілізації щорічно призводить до заторів на дорожній мережі міста. Це призводить до збільшення витрат часу, палива та викидів, а також затримок громадського транспорту, що впливає на його популярність серед місцевих жителів. Таким чином, це погіршує екологічну ситуацію в місті, особливо в його центральній частині, адже саме в ньому спостерігається найбільше скупчення автомобілів. Для вирішення цієї проблеми необхідно розвивати інфраструктуру, але зазвичай це вимагає значних фінансових і тимчасових витрат. Тому необхідно шукати альтернативні рішення проблеми.

Мета. Проаналізувати доцільність впровадження інтелектуальних транспортних систем для зменшення заторів у європейських містах.

Матеріали і методи. Велику увагу питанням удосконалення організації дорожнього руху приділяють такі вітчизняні та зарубіжні вчені, як Ертман С.А., Клінковштейн Г.І., Тараненко С.М.

Відсутність досліджень у сфері впровадження інтелектуальних транспортних систем визначає актуальність статті.

Результати. Після аналізу інтелектуальних транспортних систем європейських міст надано їх характеристики, наведено результати впровадження, що дало позитивний ефект. В умовах стрімкої урбанізації та автомобілізації необхідно використовувати сучасні технології для ефективного функціонування транспортної галузі в цілому. Тому впровадження інтелектуальної транспортної системи є доцільним і виправданим.

Висновок. Транспортна галузь є ключовим фактором розвитку та функціонування економіки. Впровадження інтелектуальної транспортної системи в місті допоможе збільшити пропускну здатність доріг і таким чином зменшити витрати часу та грошей для водіїв.

КЛЮЧОВІ СЛОВА. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА, РЕАЛІЗАЦІЯ, ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ.

ABSTRACT

Dziuba O.P., Korchevskaya A.A., Shevchenko A.T. An analysis of the implementation of intelligent transport systems in european cities. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences» Scientific journal. – Kyiv. National Transport University. 2021. – Issue 1(51).

Introduction. This article discusses the essence of the intelligent transport system. Its concept is described and the main components of implementation are identified. The results of the introduction of the intelligent transport system in European cities are studied

Problem Statement. An unpredictable increase in the level of motorization annually leads to congestion on the city's road network. This leads to increased consumption of time, fuel and emissions, as well as delays in public transport, which affects its popularity among locals. Thus, it worsens the environmental situation in the city, especially in its central part, because it is in it that the largest congestion of cars is observed. Infrastructure needs to be developed to solve this problem, but it usually requires significant financial and time costs. Therefore, it is necessary to look for alternative solutions to the problem.

Purpose. Analyze the feasibility of implementing intelligent transport systems to reduce congestion in European cities.

Materials and Methods. Much attention is paid to the issue of improving the organization of road traffic by domestic and foreign scientists such as Ertman S.A, Klinkovshtein G.I, Taranenko S.M.

Lack of research in the field of implementation of intelligent transport systems determines the relevance of the article.

Results. After analyzing the intelligent transport systems of European cities, their characteristics were provided, the results of implementation were indicated, which had a positive effect. In the conditions of rapid urbanization and motorization, it is necessary to use modern technologies for the effective functioning of the transport industry as a whole. Therefore, the introduction of an intelligent transport system is appropriate and justified.

Conclusion. The transport sector is a key factor in the development and functioning of the economy. Implementing an intelligent transportation system in the city will help increase road capacity and thus reduce the cost of time and money for drivers.

KEY WORDS. INTELLIGENT SYSTEM, IMPLEMENTATION, CONGESTIONS.

АВТОРИ:

Дзюба Олександр Петрович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Транспортні системи та безпека дорожнього руху», e-mail apd@ukr.net, тел. +380442804885, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к.435 orcid.org/0000-0002-4260-2742.

Корчевська Аліна Анатоліївна, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, e-mail: alinakorchevskaja@gmail.com, тел. +380442804885, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к.435. orcid.org/0000-0001-8245-9891

Шевченко Аліса Тарасівна, Національний транспортний університет аспірант кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, e-mail alisashevchenko505@gmail.com, тел. +380442804885, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к.435. orcid.org/0000-0003-2008-7150

AUTHORS:

Dziuba A. P.., Ph.D., Associate professor, National Transport University, e-mail apd@ukr.net, tel. +380442804885, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovicha-Pavlenko str. 1, of. 435, orcid.org/0000-0002-4260-2742

Korchevskaya A.A, National Transport University, Senior teacher transport systems and traffic safety, e-mail alinakorchevskaja@gmail.com, tel. +380442804885, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovicha-Pavlenko str. 1, of. 435 orcid.org/0000-0001-8245-9891

Shevchenko A.T., National Transport University, e-mail alisashevchenko505@gmail.com, tel. +380442804885, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovicha-Pavlenko str. 1, of. 435, orcid.org/0000-0003-2008-7150

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Прокудін Георгій Семенович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю.

Давідіч Юрій Олександрович, доктор технічних наук, професор кафедри транспортних систем та логістики Харківського Національного університету міського господарства ім.Бекетова

REVIEWERS:

Prokudin Georgy Semenovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of International Transportation and Customs Control.

Davidich Yuriy Oleksandrovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Transport Systems and Logistics, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

УДК 621.891 DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-201-208
UDC 621.891

АНАЛІЗ ЗМІШАНОГО МАЩЕННЯ РОБОЧОЇ ПОВЕРХНІ ЛОПАТОК В МЕХАНІЗМАХ РОТОРНИХ КОМПРЕСОРІВ

Дмитриченко М.Ф., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, dmitrichenko@ntu.edu.ua, 0000-0003-4223-1838
Богданов І.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна, gmiller180890@gmail.com, 0000-0001-6346-4388

MIXED LUBRICATION ANALYSIS OF VANE SLIDING SURFACE IN ROTARY COMPRESSOR MECHANISMS

Dmytrychenko M.F., doctor of technical science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, dmitrichenko@ntu.edu.ua, 0000-0003-4223-1838
Bogdanov I.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine, gmiller180890@gmail.com, 0000-0001-6346-4388

Постановка проблеми. У механізмі стиснення роторного компресора для холодильників і кондиціонерів передбачена лопатка, що розділяє камеру всмоктування та камеру стиснення. Лопатка приводиться у зворотно-поступальний рух ексцентриком обертового поршня. На лопатку діє велике навантаження і момент, створюваний різницею тиску між камерою всмоктування і камерою стиску. Отже, ковзна поверхня лопатки знаходиться під змішаним мащенням.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Динаміка та мащення лопатки і поршня були чисельно проаналізовані за допомогою різних методів в попередніх дослідженнях [8-10]. Зокрема, було проаналізовано рух лопатки і гідродинамічне мастило ковзної поверхні.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на значну кількість вітчизняних і зарубіжних публікацій, не було проведено достатньо поглиблених досліджень стосовно процесу оптимального проектування лопатки. Потрібен аналіз змішаного мащення поверхні ковзання лопатки, щоб отримати точні характеристики мастила,.

Постановка завдання. У цьому дослідженні було проведено аналіз змішаного мащення лопатки і досліджені мастильні характеристики. Модифіковане рівняння Рейнольдса і рівняння пружного контакту з урахуванням шорсткості поверхні вирішуються як одна задача. Причому аналізи проводились шляхом зміни параметрів зазору між лопаткою і пазом лопатки, а також довжини паза лопатки. Шляхом порівняння результатів аналізу став очевидним вплив зазору і довжини паза лопатки на характеристики мастила.

Виклад основного матеріалу. На рисунку 1 показана кінематична схема механізму стиснення роторного компресора. На рисунку 2 показана система координат лопатки. Тиск нагнітання p_{dis} діє на хвостову частину лопатки. Лопатки розділяє камеру всмоктування та камеру стиснення. Рухомий поршень, який приводиться в рух кривошипом, обертається ексцентрично. Через це ексцентричне обертання обсяг камери стиснення зменшується, і тиск холодоагенту стає високим.

Як показано на рисунку 1, лопатка піддається навантаженню через різницю тисків p_{dis}, p_{suc} і p_{com}, сили пружності, сил тертя між лопаткою і пазом лопатки і сили тертя між лопаткою і обертовим поршнем. Рівняння руху лопатки і рівняння рівноваги сил і моментів мають вигляд:

$$m_v \ddot{x_v} = F_{vx} + F_{t1} + F_{t2} + F_{vn} \cdot cos\alpha + F_{vt} \cdot sin\alpha - F_s, \quad (1)$$

$$0 = F_{vy} + F_{c1} - F_{c2} + F_{vt} \cdot cos\alpha - F_{vn} \cdot sin\alpha + w_c \cdot \int p_1 \, dx - w_2 \cdot \int p_2 \, dx, \quad (2)$$

$$0 = M_{vt} + M_{t1} - M_{t2} + M_{c1} - M_{c2} + M_v + w_c \cdot \int xp_1 \, dx - w_c \cdot \int xp_2 \, dx, \quad (3)$$

де : m_v – маса лопатки, x_v – зміщення лопатки в напрямку x, α – кут, між точкою контакту поршня і лопатки, w_c – ширина циліндра, p_1 і p_2 – тиск масляної плівки між лопатою і пазом лопатки, що відповідають площині нагнітання і площині всмоктування, F_{vx}, F_{vy} і M_v – сили і момент, що діють на лопатку через різницю тисків холодоагенту, F_{t1}, F_{t2}, M_{t1} і M_{t2} – сили тертя і відповідні моменти між лопаткою і пазом лопатки, F_{c1}, F_{c2}, M_{c1} і M_{c2} – контактні сили і відповідні моменти між лопаткою і пазом лопатки, F_{vn} – нормальна сила, що діє на лопатку при контакті з поршнем, F_{vt} і M_{vt} – сила тертя і відповідний момент, діючий на лопатку при контакті з поршнем, F_s – сила пружності.

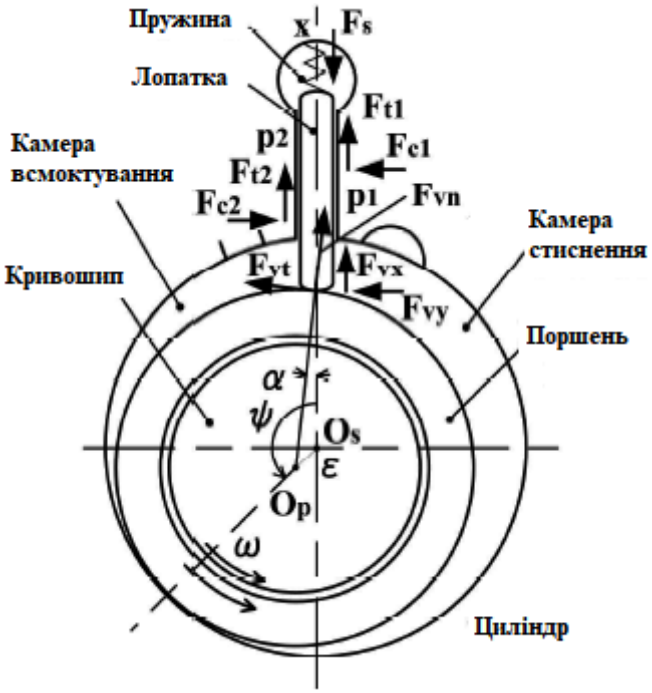


Рисунок 1 – Кінематична схема компресійного механізму роторного компресора
Figure 1 – Brief drawing of compression mechanism in rotary compressor

Поверхня ковзання лопатки розглядається як поверхня, що має нескінченну ширину вздовж перпендикуляра площини (рис. 2). Сили реакції масляної плівки на площині нагнітання і на площині всмоктування між лопаткою і пазом лопатки розраховуються за модифікованим рівнянням Рейнольдса наступним чином [11]:

$$\frac{\delta}{\delta x}\left(\Phi_x \cdot \frac{\overline{h^3}}{\eta} \cdot \frac{\delta p}{\delta x}\right) = 6U \cdot \frac{\delta h_T}{\delta x} + 6U \cdot \sigma \cdot \frac{\delta \Phi_s}{\delta x} + 12 \cdot \frac{\delta h_T}{\delta t} \tag{4}$$

де: $\overline{h}$ – середня товщина масляної плівки, h_T – місцева товщина масляної плівки, η – в'язкість мастила, U – швидкість ковзання лопатки, σ – стандартні відхилення шорсткості композиту, Φ_x – коефіцієнт потоку тиску, Φ_s – коефіцієнт плинності при зсуві. Поверхня ковзання лопатки трактується як поверхня, що має поздовжній тип шорсткості. Використовуваний тут параметр напрямку шорсткості поверхні дорівнює 3,0.

Товщина масляної плівки становить:

$$\overline{h_1} = c_v - \overline{h_0} - kx \tag{5}$$

$$\overline{h_2} = \overline{h_0} + kx \tag{6}$$

де : $\overline{h}_1$ та $\overline{h}_2$ – середня товщина масляної плівки на поверхні нагнітання і на поверхні всмоктування між лопаткою і пазом лопатки, c_v – зазор між лопаткою і пазом лопатки, $\overline{h}_0$ – середня масляна плівка. Товщина на нижньому кінці паза лопатки на поверхні всмоктування при x = 0 (рис. 2), k – кут нахилу лопатки.

Для розрахунку контактних сил між лопаткою і пазом лопатки використовується приблизний вираз Патіра і Ченга, заснований на теорії Грінвуда і Тріппа [12,13],

$$p_c = \begin{cases} k_c \cdot E' \cdot 4.4086 \cdot 10^{-5} \cdot \left(4 - \dfrac{\bar{h}}{\sigma}\right)^{6.804} & (\bar{h} < 4 \cdot \sigma) \\ 0 & (\bar{h} \geq 4 \cdot \sigma) \end{cases} \tag{7}$$

де: p_c – контактний тиск між лопаткою і пазом лопатки, k_c – постійна величина у відношенні «сила – піддатливість», E' – еквівалентний модуль пружності.

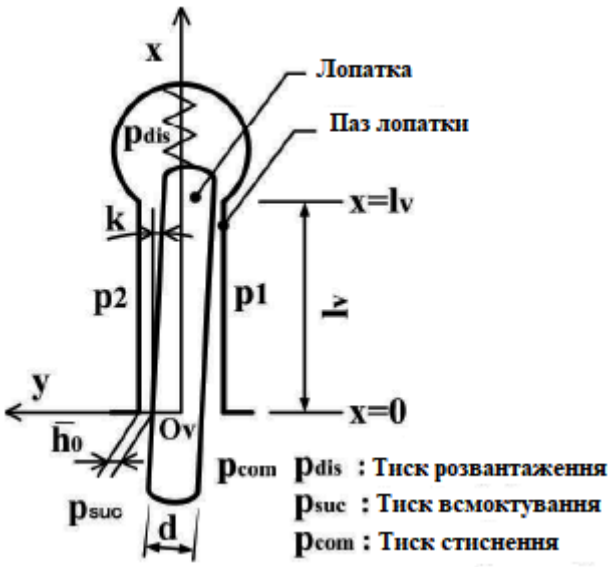


Рисунок 2 – Система координат лопатки
Figure 2 – Coordinate system of vane

Рівняння (1) – (4) і рівняння (7) вирішуються як об'єднана задача, а нахил k і середня товщина масляної плівки на нижньому кінці паза лопатки $\bar{h}_0$ чисельно розраховуються методом Ньютона-Рафсона. У цьому методі часовий диференціал k і часовий диференціал $\bar{h}_0$, що використовуються при розрахунку умов стиснення в модифікованих рівняннях Рейнольдса, приблизно розраховуються за допомогою рівняння (8).

$$\left.\begin{matrix}\dot{k}\\ \dot{h}_0\end{matrix}\right\} = \frac{1}{\Delta t}\left\{\begin{matrix}k_{t+\Delta t} - k_t\\ \bar{h}_{0t+\Delta t} - \bar{h}_{0t}\end{matrix}\right\} \tag{8}$$

Крім того, враховуються варіації сил і моментів, що діють на лопатку. Отже, об'єднана задача вирішується рекурсивно за віссю часу. Рішення $k_{t+\Delta t}$ і $\bar{h}_{0t+\Delta t}$ знаходять за допомогою цього підходу.

Умови та параметри аналізу для кількох прикладів показані в таблиці 1. C_v – це безрозмірний зазор, ($= c_v/d$, d: товщина лопатки), а L_v – безрозмірна довжина паза лопатки ($= l_v/d$). Розрахунки виконані для різних зазорів і різної довжини паза лопатки. Вважаючи, що область міцного контакту між лопаткою і рухомим поршнем знаходиться в граничному мащенні, для коефіцієнта тертя було використано значення 0,12. Крім того, значення 0,12 було використано для коефіцієнта тертя для міцного контакту між лопаткою і пазом лопатки.

Таблиця 1 – Умови аналізу
Table 1 – Conditions of analysis

Радіус циліндра, мм	19,5
Зовнішній радіус поршня, мм	15,9
Ексцентриситет кривошипу, ε мм	3,6
Безрозмірний зазор між лопаткою і пазом лопатки, $C_v(= c_v/d)\ 10^{-3}$	4,7; 5,6; 6,6
Безрозмірна довжина паза лопатки, $L_v(= l_v/d)$	3,8; 4,7; 5,6
Частота обертання ротора, N Гц	60
Тиск розвантаження / Тиск всмоктування, p_{dis} / p_{suc} , Мпа	4,25 / 1,27
В'язкість мастила, $\eta\ 10^{-3}$ Па	2,8

На рисунку 3 показані результати аналізу для випадків, коли безрозмірний зазор між лопаткою і пазом лопатки C_v становить 4,7 × 10^{-3}, 5,6 × 10^{-3} і 6,6 × 10^{-3}. Тоді безрозмірна довжина паза лопатки L_v дорівнює 4,7. Горизонтальна вісь ψ – кут повороту колінчастого валу.

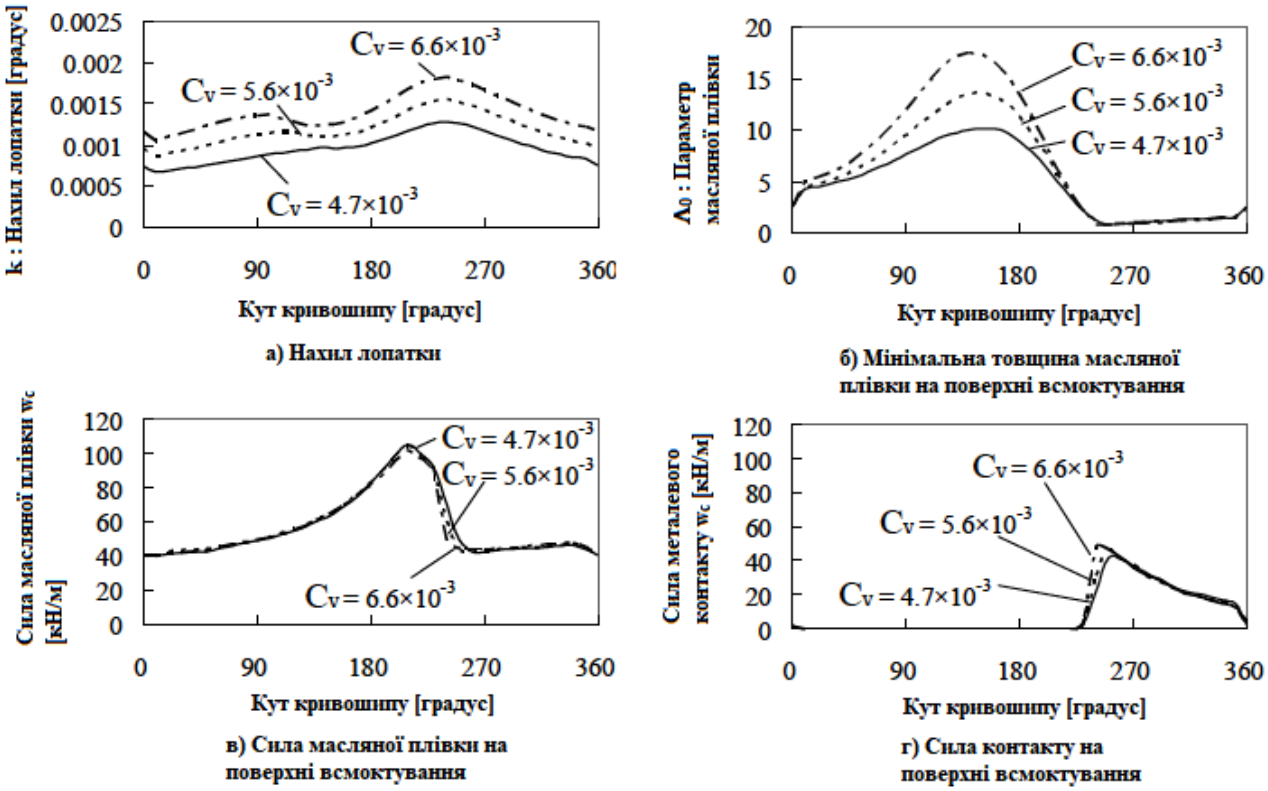


Рисунок 3 – Вплив зазору між лопаткою і пазом лопатки (L_v = 4,7)
Figure 3 – Effects of clearance between vane and vane-slot (L_v = 4.7)

На рисунку 3 (*а*) показана зміна нахилу *k* щодо кута повороту кривошипа за один оберт кривошипу. Видно, що *k* завжди більше 0°. Тобто лопатка завжди нахиляється за годинниковою стрілкою, як показано на рисунку 2. Отже, міцний контакт між лопаткою і пазом лопатки відбувається на нижньому кінці (положення $x = 0$ на рис. 2) на поверхні всмоктування і на верхньому кінці (становище $x = l_v$ на рис. 2) на поверхні нагнітання. У реальних ротаційних компресорах зазвичай спостерігається знос в аналогічних місцях. Видно, що *k* досягає максимального значення приблизно за ψ = 240°, а потім зменшується по відношенню до ψ, поки не досягне значення близько ψ = 360°. Це відбувається з тієї причини, що між лопаткою і пазом лопатки на поверхні всмоктування виникає міцний контакт з ψ = 240°, як показано на рисунку 3 (*г*), і виникає момент сил контакту проти годинникової стрілки на поверхні всмоктування. Виявлено, що k зменшується зі зменшенням зазору.

На рисунку 3 (*б*) показано зміна середньої товщини масляної плівки з використанням параметра масляної плівки $\Lambda_0\left(=\bar{h}_0/\sigma\right)$ на нижньому кінці паза лопатки на поверхні всмоктування за один оборот кривошипа. Оскільки нахил *k* завжди більше 0 °, як показано на рисунку 3 (*а*), з геометрії лопатки (рис. 2) видно, що $\bar{h}_0$ стає мінімальною товщиною масляної плівки на поверхні всмоктування між лопатками і пазом лопаток. Можна бачити, що значення $\bar{h}_0$ збільшується в діапазоні від ψ = 0° до ψ = 180°, оскільки тиск масляної плівки на поверхні всмоктування підвищується за рахунок ефекту клину. $\bar{h}_0$ різко зменшується з ψ = 180°, так як ефект клину зникає при повороті лопатки. Отже, міцний контакт відбувається під час процесу нагнітання (приблизно від ψ = 230° до ψ = 350°), як видно з рисунку 3 (*г*), і міцний контакт виникає на нижньому кінці паза лопатки на поверхні всмоктування. Причому період виникнення міцного контакту не залежить від значень зазору.

На рисунку 3 (*б*) показано зміна середньої товщини масляної плівки з використанням параметра масляної плівки $\Lambda_0\left(=\bar{h}_0/\sigma\right)$ на нижньому кінці паза лопатки на поверхні всмоктування за один оборот кривошипа. Оскільки нахил *k* завжди більше 0 °, як показано на рисунку 3 (*а*), з геометрії лопатки (рис. 2) видно, що $\bar{h}_0$ стає мінімальною товщиною масляної плівки на

поверхні всмоктування між лопатками і пазом лопаток. Можна бачити, що значення $\bar{h}_0$ збільшується в діапазоні від ψ = 0° до ψ = 180°, оскільки тиск масляної плівки на поверхні всмоктування підвищується за рахунок ефекту клину. $\bar{h}_0$ різко зменшується з ψ = 180°, так як ефект клину зникає при повороті лопатки. Отже, міцний контакт відбувається під час процесу нагнітання (приблизно від ψ = 230° до ψ = 350°), як видно з рисунку 3 (*г*), і міцний контакт виникає на нижньому кінці паза лопатки на поверхні всмоктування. Причому період виникнення міцного контакту не залежить від значень зазору.

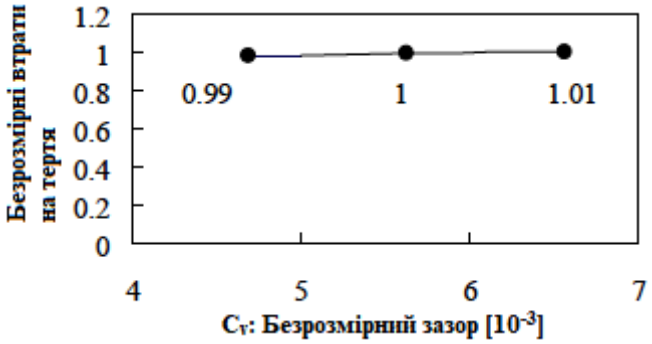


Рисунок 4 – Взаємозв'язок між втратами на тертя і зазором
Figure 4 – Relationship between friction loss and clearance

На рисунку 3 (*в*) показано зміна сил реакції масляної плівки на одиницю ширини циліндра w_c за один оборот кривошипа. На рисунку 3 (*г*) показано зміна контактних сил на одиницю ширини циліндра w_c на поверхні всмоктування між лопаткою і пазом лопатки за один оберт кривошипа. Видно, що міцного контакту між лопаткою і пазом лопатки на поверхні всмоктування від ψ = 0° до ψ = 200 ° не відбувається. Починаючи з ψ = 200°, сили реакції масляної плівки на поверхні всмоктування різко знижуються, і, таким чином, виникають контактні сили. Під час процесу розряду коефіцієнт розподілення навантаження контактних сил великий. При зменшенні зазору контактні сили в період порівняно великих контактних сил (від ψ = 230° до ψ = 260°) зменшуються, а сили реакції масляної плівки збільшуються. Максимальна контактне зусилля для випадку C_v = 4,7 × 10^{-3} за один оберт кривошипа становить близько 85% від C_v = 6,6 × 10^{-3}. Встановлено, що несуча здатність масляної плівки між лопаткою і пазом лопатки збільшується зі зменшенням зазору.

На рисунку 4 показана залежність між безрозмірними втратами на тертя і безрозмірним зазором. Тут безрозмірні втрати на тертя визначаються як відношення до втрат на тертя, коли C_v = 5,6 × 10^{-3}. Міцний контакт так само впливає на втрати тертя. Виявлено, що втрати на тертя незначно зменшуються при зменшенні зазору.

На рисунку 5 показані результати аналізу випадків, коли безрозмірна довжина лопатки L_v становить 3,8, 4,7 і 5,6. Тоді C_v рівно 5,6 × 10^{-3}. Горизонтальна вісь – кут повороту колінчастого валу ψ.

На рисунку 5 (*а*) показано зміна нахилу k щодо кута повороту кривошипа за один оберт кривошипа. Видно, що лопатка завжди нахиляється за годинниковою стрілкою, як і на рисунку 3 (*а*). Виявлено, що k зменшується зі збільшенням довжини паза лопатки.

На рисунку 5 (*б*) показано зміна середньої товщини масляної плівки з використанням параметра Λ_0 масляної плівки на нижньому кінці паза лопатки на поверхні всмоктування за один оберт кривошипа. Можна бачити, що, аналогічно результатам на рисунку 3 (*б*), міцний контакт виникає на нижньому кінці паза лопатки на поверхні всмоктування під час процесу нагнітання. Виявлено, що затримка переходу до змішаного мащення збільшується, а період змішаного мащення зменшується при зменшенні довжини паза лопатки.

На рисунку 5 (*в*) показано зміна сил впливу масляної плівки на одиницю ширини циліндра w_c за один оберт кривошипа. На рисунку 5 (*г*) показано зміна контактних сил на одиницю ширини циліндра w_c на поверхні всмоктування між лопаткою і пазом лопатки і за один оберт кривошипа. З рисунку 5 (*в*), сили реакції масляної плівки зменшуються з ψ = 180°, коли L_v = 3,8, а сили реакції масляної плівки зменшуються з ψ = 240°, коли L_v = 5,6. Встановлено, що період змішаного мащення зменшується, а період гідродинамічного мащення збільшується при зменшенні довжини паза лопатки. З рисунку 5 (*г*) видно, що максимальне контактне зусилля під час одного оберту кривошипа зменшується, коли довжина паза лопатки збільшується.

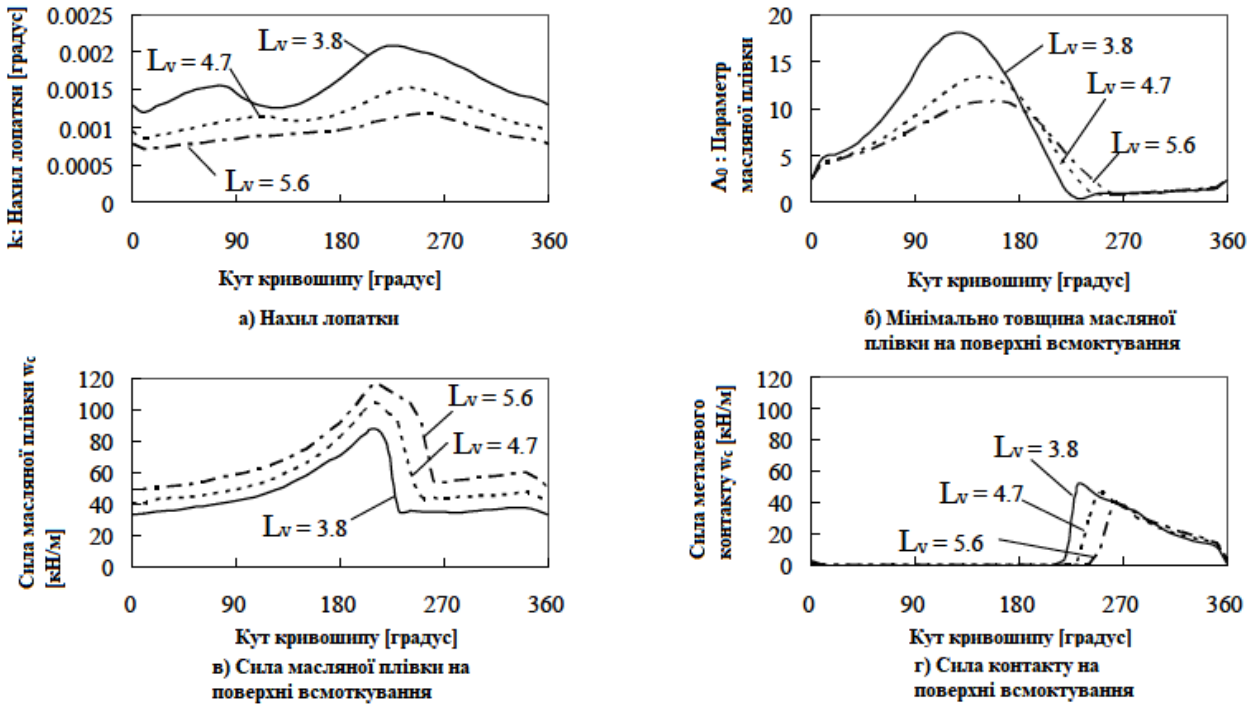


Рисунок 5 – Вплив довжини паза лопатки ($C_v = 5{,}6 \times 10^{-3}$)
Figure 5 – Effects of vane-slot length ($C_v = 5{,}6 \times 10^{-3}$)

На рисунку 6 показано залежність між безрозмірними втратами на тертя і безрозмірною довжиною паза лопатки. Тут безрозмірні втрати на тертя визначаються як відношення до втрат на тертя, коли $L_v = 4{,}7$. При збільшенні паза лопатки, втрати на тертя зменшується, так як зменшується період змішаної мастила (рис. 5 (*г*)).

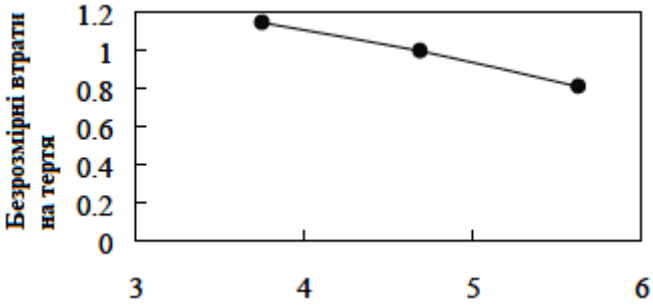


Рисунок 6 – Взаємозв'язок між втратами на тертя і довжиною паза лопатки
Figure 6 – Relationship between friction loss and vane-slot length

Висновки. Чисельний аналіз змішаного мащення було проведено з метою отримання точних характеристик мастила ковзної поверхні лопатки роторних компресорів. Як видно з наступних висновків, за допомогою цього аналізу можна знайти важливі параметри для зменшення втрат на тертя. Таким чином, ця технологія аналізу корисна при практичному проектуванні роторних компресорів.

1. Лопатка завжди нахиляється за часовою стрілкою, як показано на рисунку 2. Отже, щільний контакт між лопатками і пазом лопатки відбувається на нижньому кінці (положення $x = 0$ на рис. 2) на поверхні всмоктування і на верхньому кінці (положення $x = l_v$ на рис. 2) на поверхні нагнітання.

2. У період змішаного мащення під час процесу нагнітання вплив зазору як на контактні сили, так і на сили реакції масляної плівки невеликі. Отже, зміна втрат на тертя щодо зазору невелика.

3. При збільшенні довжини паза лопатки період змішаного мащення зменшується, а втрати на тертя зменшуються. Отже про, вплив довжини паза лопатки на втрати на тертя більше, ніж вплив зазору.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дмитриченко М.Ф. Эластогидродинамика. – Львов: Изд-во Национального университета «Львовская политехника», 2000. – 244 с.

2. Дмитриченко М.Ф., Гохар Р., Уэн Дж. Эластогидродинамическая смазка линейных контактов в условиях обильной смазки и масляного голодания // Трение и износ. – 1993. – т. 14, № 13. – с. 438 – 443.

3. Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Бершадский Л.И., караулов А.К. Надежность и долговечность машин. – К.: Техника, 1975. – 408 с.

4. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.

5. Хэмрок, Даусон. Изотермическая упрогодинамическая смазка точечных контактов. Часть III. – Обильная смазка // Труды Амер. Общ. инж.-мех.: Проблемы трения и смазки. – 1977. – № 2. – с. 130 – 140.

6. Хэмрок, Даусон. Изотермическая упрогодинамическая смазка точечных контактов. Часть IV. – Масляное голодание // Труды Амер. Общ. инж.-мех.: Проблемы трения и смазки. – 1977. – № 1. – с. 16 – 24.

7. Чичинадзе А.В., Матвеевский Р.М., Браун Э.Д. Материалы в триботехнике нестационарных процессов. – М.: Наука, 1986. – 248 с.

8. Padhy, S. K., On the Dynamics of a Rotary Compressor: part1 – Mathematical modeling, Advances in Automation Volume 1, ASME, DE-65-1, 1993, 207-217.

9. Tanaka, S., Kyogoku, K. and Nakahara, T., Lubrication Characteristics of Refrigerator / Air conditioning Rotary Compressor, Tribologist (in Japanese), 41, 3, 1996, 247-254.

10. Yoshimura, T., Ono, K., Inagaki, K., Kotsuka, H. and Korenaga, A., Analysis of Lubricating Characteristics of Rotary Compressor for Domestic Refrigerators, Transaction of the ASME, Journal of Tribology, 121, 7, 1999, 510-516.

11. Patir, N. and Cheng, H. S., An Average Flow Model for Determining Effects of Three Dimensional Roughness on Partial Hydrodynamic Lubrication, Transaction of the ASME, Journal of Lubrication Technology, 100, 1, 1978, 12-17.

12. Greenwood, J. A. and Tripp, J. H., The Contact of Two Nominally Flat Surfaces, Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers, 185, 48, 1970, 625-633.

13. Patir, N. and Cheng, H. S., Effect of Surface Roughness Orientation on the Central Film Thickness in E.H.D. Contacts, Proceeding of the Institute of Mechanical Engineering Part I, 185, 48, 1978, 15-21.

REFERENCES

1. Dmitrichenko M.F. Elastogidrodinamika. – L'vov: Izd-vo Natsional'nogo universiteta «L'vovskaya politekhnika», 2000. – 244 s.

2. Dmitrichenko M.F., Gokhar R., Uen Dzh. Elastogidrodinamicheskaya smazka lineynykh kontaktov v usloviyakh obil'noy smazki i maslyanogo golodaniya // Treniye i iznos. – 1993. – t. 14, № 13. – s. 438 – 443.

3. Kostetskiy B.I., Nosovskiy I.G., Bershadskiy L.I., karaulov A.K. Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin. – K.: Tekhnika, 1975. – 408 s.

4. Kragel'skiy I.V., Dobychin M.N., Kombalov V.S. Osnovy raschetov na treniye i iznos. – M.: Mashinostroyeniye, 1977. – 526 s.

5. Khemrok, Dauson. Izotermicheskaya uprogodinamicheskaya smazka tochechnykh kontaktov. Chast' ÍÍÍ. – Obil'naya smazka // Trudy Amer. Obshch. inzh.-mekh.: Problemy treniya i smazki. – 1977. – № 2. – s. 130 – 140.

6. Khemrok, Dauson. Izotermicheskaya uprogodinamicheskaya smazka tochechnykh kontaktov. Chast' ÍV. – Maslyanoye golodaniye // Trudy Amer. Obshch. inzh.-mekh.: Problemy treniya i smazki. – 1977. – № 1. – s. 16 – 24.

7. Chichinadze A.V., Matveyevskiy R.M., Braun E.D. Materialy v tribotekhnike nestatsionarnykh protsessov. – M.: Nauka, 1986. – 248 s.

8. Padhy, S. K., On the Dynamics of a Rotary Compressor: part1 – Mathematical modeling, Advances in Automation Volume 1, ASME, DE-65-1, 1993, 207-217.

9. Tanaka, S., Kyogoku, K. and Nakahara, T., Lubrication Characteristics of Refrigerator / Air conditioning Rotary Compressor, Tribologist (in Japanese), 41, 3, 1996, 247-254.

10. Yoshimura, T., Ono, K., Inagaki, K., Kotsuka, H. and Korenaga, A., Analysis of Lubricating Characteristics of Rotary Compressor for Domestic Refrigerators, Transaction of the ASME, Journal of Tribology, 121, 7, 1999, 510-516.

11. Patir, N. and Cheng, H. S., An Average Flow Model for Determining Effects of Three Dimensional Roughness on Partial Hydrodynamic Lubrication, Transaction of the ASME, Journal of Lubrication Technology, 100, 1, 1978, 12-17.

12. Greenwood, J. A. and Tripp, J. H., The Contact of Two Nominally Flat Surfaces, Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers, 185, 48, 1970, 625-633.

13.Patir, N. and Cheng, H. S., Effect of Surface Roughness Orientation on the Central Film Thickness in E.H.D. Contacts, Proceeding of the Institute of Mechanical Engineering Part I, 185, 48, 1978, 15-21.

РЕФЕРАТ

Дмитриченко М.Ф. Аналіз змішаного мащення робочої поверхні лопаток в механізмах роторних компресорів / М.Ф. Дмитриченко, І.М. Богданов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

Чисельний аналіз змішаного мастила було проведено з метою дослідження характеристик мастила ковзної поверхні лопатки роторного компресора. Модифіковане рівняння Рейнольдса і рівняння пружного контакту з урахуванням шорсткості поверхні вирішуються як об'єднана задача. Використовуючи цей аналіз, характеристики мастила, що ковзає по поверхні лопатки, досліджуються шляхом аналізу таких параметрів конструкції, як довжина паза лопатки і зазор між лопаткою і пазом лопатки. Встановлено, що вплив довжини паза лопатки на втрати на тертя було більше, ніж вплив зазору.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РОТОРНИЙ КОМПРЕСОР, ЛОПАТКА, ПАЗ ЛОПАТКИ, ЗМІШАНЕ МАЩЕННЯ, ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ, ТЕРТЯ.

ABSTRACT

Dmytrychenko N.F., Bogdanov I.N. Mixed lubrication analysis of vane sliding surface in rotary compressor mechanisms. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

Numerical analysis for mixed lubrication has been performed in order to investigate the lubrication characteristics of the sliding surface of the vane in a rotary compressor. The modified Reynolds equation and the elastic contact equation, considering the surface roughness, are solved as a coupled problem. Using this analysis, the lubrication characteristics of the sliding surface of the vane are investigated by parameter survey on the design parameters such as the vane-slot length and the clearance between the vane and vane-slot. It is found that the influences of the vane-slot length on the friction loss were larger than that of the clearance.

KEY WORDS: ROTARY COMPRESSOR, VANE, VANE-SLOT, MIXED LUBRICATION, SURFACE ROUGHNESS, FRICTION.

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

Богданов Іван Миколайович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: gmiller180890@gmail.com, тел. (044)2809805, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, orcid.org/0000-0001-6346-4388

AUTHORS:

Dmytrychenko Nykolay 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, room 318, orcid.org/0000-0003-4223-1838

Bogdanov Ivan N., National Transport University, postgraduate department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: gmiller180890@gmail.com, tel. (044)2809805, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich Pavlenko str. 1, orcid.org/0000-0001-6346-4388

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мельниченко О.І., кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», Київ, Україна.

Тамаргазін О.А., доктор технічних наук, Національний авіаційний університет, професор кафедри екології та технологій аеропортів, Київ, Україна.

REVIEWER:

Melnichenko O.I., associate professor, National Transport University, professor department of Manufacturing repair and materialoved, Kyiv, Ukraine.

Tamargazin O.A., Ph.D., Engineering (Dr.), National Aviation University, professor department ecology and safety of vital functions, Kyiv, Ukraine.

УДК 502/504
UDC 502/504
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-209-214

ОСОБЛИВОСТІ ЗМАЩУВАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ В УМОВАХ ГРАНИЧНОГО МАЩЕННЯ ПРИ ЛІНІЙНОМУ КОНТАКТІ

Дмитриченко М.Ф., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, dmitrichenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-4223-1838
Косенко М.І., Національний транспортний університет, Київ, Україна, kosenko171194@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5155-1828

FEATURES OF THE LUBRICATION PROCESS IN CONDITIONS OF LIMITING LUBRICATION UNDER LINEAR CONTACT

Dmytrychenko M.F., doctor of technical science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, dmitrichenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-4223-1838
Kosenko M.I., National Transport University, Kiev, Ukraine, kosenko171194@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5155-1828

Постановка проблеми.

Підшипники тертя кочення широко використовуються в машинобудуванні, вони є одними із найбільш навантажених деталей. Вивчення їх зносостійкості дозволяє оптимізувати процес їх експлуатації, що підвищує надійність механізмів в цілому. Визначення зносостійкості таких підшипників залежить від низки чинників, одним з яких є проковзування тіл кочення (роликів, кульок) відносно внутрішнього, зовнішнього або обох кілець підшипника[1]. Під час проковзування тертя кочення переходить до тертя ковзання при цьому значно підвищується інтенсивність зношування, адже коефіцієнт тертя ковзання набагато вищий за коефіцієнт тертя кочення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Під час роботи реальних підшипників тертя кочення контр-тіла можуть приклинювати, якщо зчеплення із кільцями недостатнє, саме в цей момент виникає проковзування[2]. Наприклад, в шарикопідшипниках навіть в процесі роботи відбувається постійне диференційоване проковзування за рахунок нелінійного контакту контр-тіла по жолобу. Для дослідження механізму проковзування ми використали модель у вигляді лінійного контакту двох дисків, притиснутих один до одного по дотичним дуг[3],[4].

Для дослідження пар тертя ковзання при граничному мащенні і лінійному контакті ми використали спеціально обладнану автоматизовану систему наукових досліджень на базі машини тертя МІ-1М. Нижче на (Рис.1) загальний вигляд установки, кінематична схема[5](Рис.2).



Рисунок 1 – Машина тертя МІ-1М
Figure 1 – Machine rubbing MI-1M

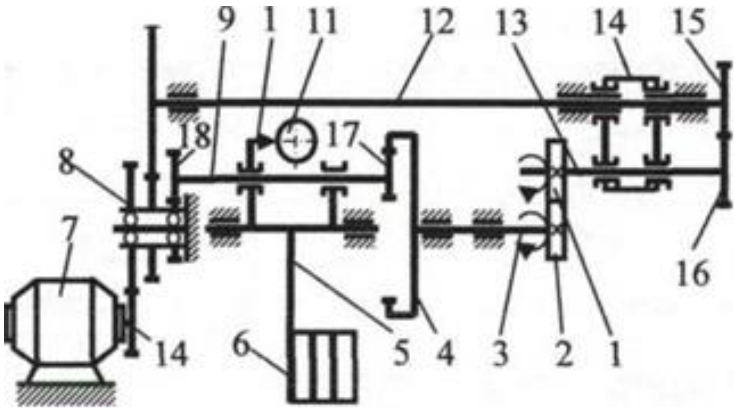


Рисунок 2 – Схема машини тертя МІ-1М: 1 – Індентор; 2 – зразок; 3 – шпиндель; 4 – зубчасте колесо з внутрішнім зачепленням; 5 – маятник; 6 – вантажі; 7 – двигун; 8 – блок зубчастих коліс; 9 і 13 – вали; 10,11 – датчик моменту тертя; 12 – вал каретки; 14 – корпус каретки; 15,16,17 і 18 – зубчасті колеса

Figure 2 – Scheme of the rubbing machine MI-1M: 1 – Indenter; 2 – sample; 3 – spindle; 4 – a gear wheel with internal gearing; 5 – pendulum; 6 – cargoes; 7 – engine; 8 – block of gears; 9 and 13 – shafts; 10,11 – friction moment sensor; 12 – carriage shaft; 14 – carriage body; 15,16,17 and 18 – gears

Технічні характеристики вимірювального комплексу

Параметр	**Значення**
Частота обертання зразка, об / хв	1000 ... 1500
Діапазон навантажень, Н	0….800
Похибка вимірювання навантаження, %	±7
Похибка вимірювання моменту тертя, %	±7
Похибка вимірювання зносу,%	±7
Напруга живлення, В	220
Споживана потужність, кВт	1
Габарити, мм	1150x450x500

Проковзування оцінювалося відношенням частоти обертання (n2) веденого диска діаметром (D2) до частоти обертання ведучого (n1) діаметром (D1) за умови D1 = D2, а саме ή = n2 / n1.[6]

Методика випробувань полягала в наступному:

1 – заповнення робочої масляної ванни експериментальним зразком змащувального матеріалу;

2 – встановлення контактного навантаження 200 та 300Н за допомогою штатної системи установки;

3 – встановлення частоти обертання приводного валу електродвигуна 1000 об/хв;

4 – регулювання гальмівного моменту на вихідному валу до моменту появи проковзування між зразками;

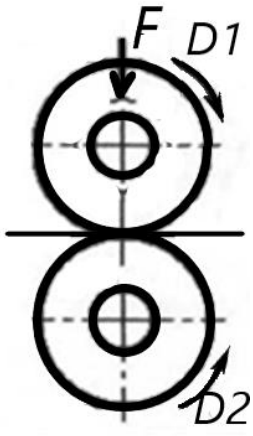


Рисунок 3 – схема обертання роликів

Figure 3 – scheme of wrapping clips

Важливо зазначити, що експериментальна установка дозволяє маніпулювати двома змінними параметрами: гальмівним моментом на вихідному валу, навантаженням на контактні поверхні дисків. За критерій кількісної оцінки приймається величина гальмівного моменту, при якій відбувається проковзування[7].

Описана вище методика випробувань дає можливість визначення проковзування при використанні різних мастильних матеріалів, які використовуються у підшипникових вузлах тертя[8].

Результати модельних випробувань пар тертя кочення з проковзуванням, при граничному мащенні і лінійному контакті

Випробування пар тертя кочення з проковзуванням при граничному мащенні і лінійному контакті проводилися, згідно методики, викладеної вище з наступними вихідними характеристиками:

– ведучий та ведений ролики діаметром D1=D2 = 50мм зі сталі 45 ГОСТ 1050-88 термічно оброблені і відшліфовані до величини шорсткості Ra =1,6;

– частота обертання валу ведучого ролика n_1 = 1000 ... 1500 ± 3% хв'1;

– навантаження на диски N = 200 .. .600 Н;

– досліджувані мастильні матеріали: олива універсальна мінеральна. SAE-90; олива індустріальна І-40А; олива трансмісійна SAE-85.

Випробування проводилися при радіальних навантаженнях 200 і 300Н при частоті обертання веденого диска 1000 ± 3% хв'1. Тривалість випробувань склала 180 хв, шлях тертя кочення приблизно становив 25400 м, частоти обертання веденого і ведучого дисків фіксувалися через кожні 15 хв.

Результати експериментальних випробувань мастильних матеріалів в парах тертя кочення представлені в (Табл.1). За співвідношенням частот обертання веденого і ведучого дисків при навантаженнях 200 і 300Н, моменті опору на валу 6 Нм були розраховані середні значення коефіцієнтів ковзання, які представлені графічно на (Рис.4), в залежності від часу випробувань.

Таблиця 1 – Результати експериментальних випробувань мастильних матеріалів
Table 1 – Results of experimental testing of maternity wards

Мастильний матеріал: олива трансмісійна SAE-90 при навантаженні на диски 300Н												
Час випробувань	**15**	**30**	**45**	**60**	**75**	**90**	**105**	**120**	**135**	**150**	**165**	**180**
Частота ведучого диску n1, Об/хв	**1008**	**1012**	**1003**	**989**	**1002**	**1004**	**1001**	**1009**	**995**	**1000**	**1015**	**1001**
Частота веденого диску n2, Об/хв	**906**	**882**	**870**	**850**	**846**	**841**	**841**	**845**	**828**	**824**	**827**	**823**
Коефіцієнт проковзування ή	**0,899**	**0,872**	**0,867**	**0,859**	**0,844**	**0,838**	**0,840**	**0,837**	**0,832**	**0,824**	**0,815**	**0,822**

Мастильний матеріал: олива індустріальна І-40А при навантаженні на диски 300Н												
Час випробувань	**15**	**30**	**45**	**60**	**75**	**90**	**105**	**120**	**135**	**150**	**165**	**180**
Частота ведучого диску n1, Об/хв	**1014**	**1007**	**1005**	**998**	**1008**	**1009**	**1005**	**1015**	**1005**	**1008**	**1001**	**1003**
Частота веденого диску n2, Об/хв	**893**	**857**	**842**	**831**	**838**	**835**	**827**	**831**	**813**	**815**	**804**	**808**
Коефіцієнт проковзування ή	**0,881**	**0,851**	**0,838**	**0,833**	**0,831**	**0,828**	**0,823**	**0,819**	**0,809**	**0,809**	**0,803**	**0,806**

Мастильний матеріал: олива універсальна мінеральна, SAE-85 при навантаженні на диски 300Н												
Час випробувань	**15**	**30**	**45**	**60**	**75**	**90**	**105**	**120**	**135**	**150**	**165**	**180**
Частота ведучого диску n1, Об/хв	**1005**	**1006**	**1006**	**988**	**1007**	**999**	**1005**	**1006**	**1003**	**998**	**1001**	**1005**
Частота веденого диску n2, Об/хв	**845**	**826**	**808**	**795**	**805**	**797**	**795**	**791**	**790**	**787**	**788**	**784**
Коефіцієнт проковзування ή	**0,841**	**0,821**	**0,803**	**0,805**	**0,799**	**0,798**	**0,791**	**0,786**	**0,788**	**0,789**	**0,787**	**0,780**

Мастильний матеріал: олива трансмісійна SAE-90 при навантаженні на диски 200Н												
Час випробувань	**15**	**30**	**45**	**60**	**75**	**90**	**105**	**120**	**135**	**150**	**165**	**180**
Частота ведучого диску n1, Об/хв	**1008**	**1014**	**993**	**997**	**1008**	**1006**	**1007**	**1014**	**998**	**1006**	**1002**	**1004**
Частота веденого диску n2, Об/хв	**939**	**917**	**893**	**895**	**899**	**898**	**899**	**898**	**887**	**891**	**887**	**895**
Коефіцієнт проковзування ή	**0,932**	**0,904**	**0,899**	**0,898**	**0,892**	**0,893**	**0,893**	**0,886**	**0,889**	**0,886**	**0,885**	**0,891**

Мастильний матеріал: олива індустріальна І-40А при навантаженні на диски 200Н												
Час випробувань	**15**	**30**	**45**	**60**	**75**	**90**	**105**	**120**	**135**	**150**	**165**	**180**
Частота ведучого диску n1, Об/хв	**1005**	**1007**	**998**	**997**	**1001**	**1003**	**1006**	**1004**	**997**	**1002**	**995**	**1008**
Частота веденого диску n2, Об/хв	**921**	**891**	**885**	**878**	**878**	**884**	**884**	**879**	**868**	**874**	**868**	**878**
Коефіцієнт проковзування ή	**0,916**	**0,885**	**0,887**	**0,881**	**0,877**	**0,881**	**0,879**	**0,875**	**0,871**	**0,872**	**0,872**	**0,871**

Мастильний матеріал: олива універсальна мінеральна, SAE-85 при навантаженні на диски 200Н												
Час випробувань	**15**	**30**	**45**	**60**	**75**	**90**	**105**	**120**	**135**	**150**	**165**	**180**
Частота ведучого диску n1, Об/хв	**1005**	**1012**	**1006**	**1008**	**998**	**1007**	**1009**	**1005**	**999**	**1008**	**1005**	**998**
Частота веденого диску n2, Об/хв	**894**	**875**	**868**	**857**	**854**	**857**	**856**	**851**	**845**	**847**	**845**	**840**
Коефіцієнт проковзування ή	**0,890**	**0,865**	**0,863**	**0,850**	**0,856**	**0,851**	**0,848**	**0,847**	**0,846**	**0,840**	**0,841**	**0,842**

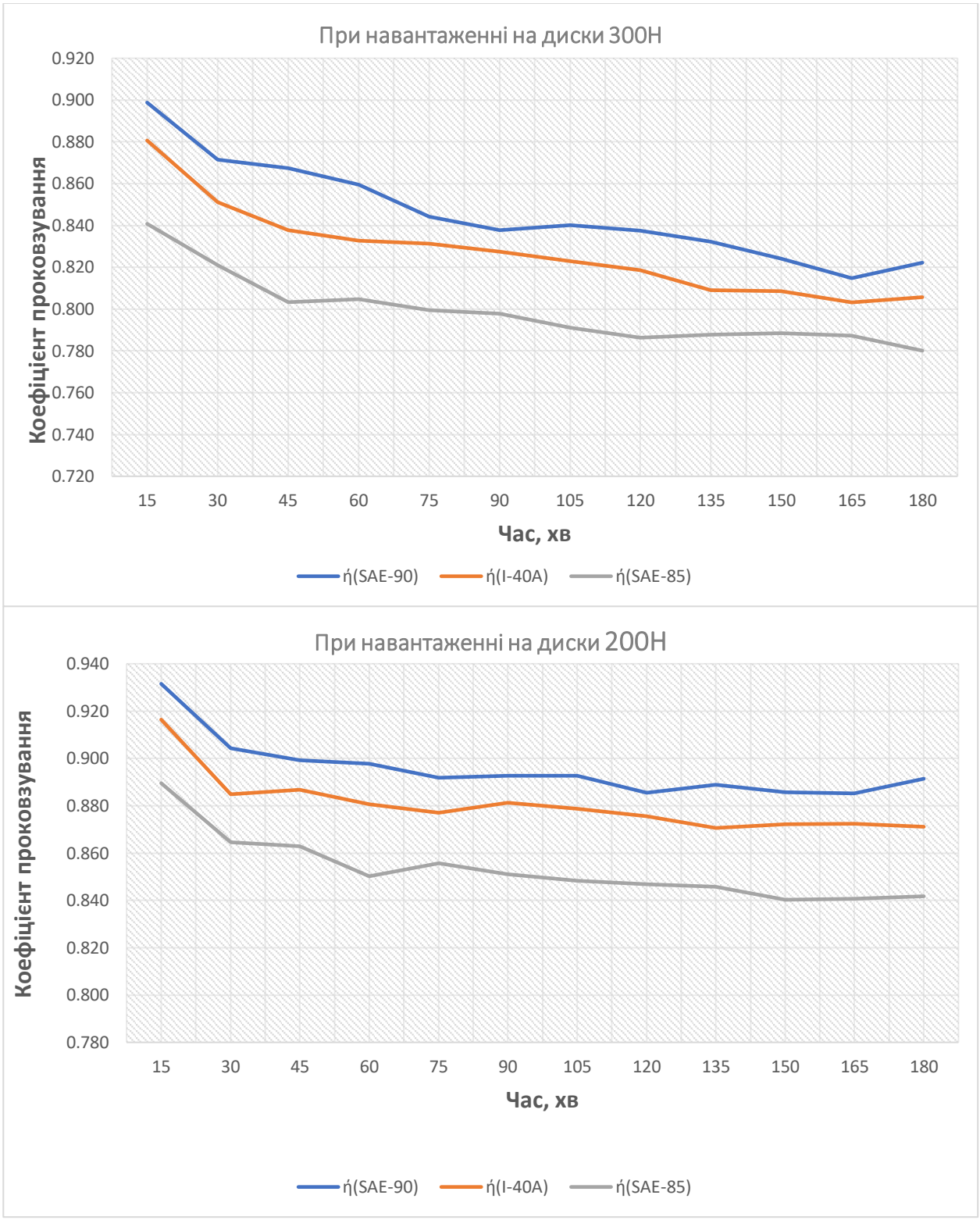


Рисунок 4 – Середні значення коефіцієнтів ковзання
Figure 4 – The middle value of the coded area

Висновки.

На підставі проведених випробувань встановлено, що досліджувані мастильні матеріали SAE-90, I-40A, SAE-85 в парі тертя кочення типу «ролик – ролик» при зміні навантаження від 200 до 300Н знижують коефіцієнт проковзування на 3–4%, аналогічні результати були отримані і в роботі[9] Отже, ми припустили, що в підшипнику тертя кочення при робочій температурі і нормальному

навантаженні, знос матиме оптимальну величину (етап експлуатації), так як процес тертя буде прагнути перейти в сторону чистого кочення з пониженням втрат енергії на тертя.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Анурьев, В.И. Справочник конструктора машиностроителя/ В.И. Анурьев: в 3т. Т.1. 8-е изд., перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестковой. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.
2. Албагачиев, В. Д. Кожемякина, А. В. Чичинадзе // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2010. – N 3. – С. 19-29.
3. Дмитриченко М.Ф. Мнацаканов Р.Г. Триботехніка та основи надійності машин [Текст] : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. /; Національний транспортний ун-т. – К. : ІНФОРМАВТОДОР, 2006. – 216 с. – Бібліогр.: с. 208-209. – ISBN 966-2945-01-6
4. Дрогомирецький, Я. М. Триботехніка і основи надійності машин : лабор. практикум / Я. М. Дрогомирецький. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2004. – 38 с.
5. Браун, Э.Д. Моделирование трения и изнашивания в машинах. / Э.Д. Браун, Ю.А. Евдокимов, А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1982. – 190 с.
6. Курапов, П.А. Прогнозирование противозадирной стойкости смазываемых пар трения/ П.А. Курапов// Трение и смазка в машинах и механизмах – М.: Машиностроение, 2006. №9. С. 29-32.
7. Леликов, О.П. Валы и опоры с подшипниками качения./ О.П. Леликов. Конструирование и расчет. Справочник. М.: Машиностроение, 2006 – 640с.
8. Крагельский, И.В. Основы расчета на трение и износ/ И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комболов.-М.: Машиностроение. 1978.-528 с.
9. Шец С.П. Повышение износостойкости подшипниковых узлов трения машин и механизмов/ Брянск 2011 – 312 с.

REFERENCES

1. Anurev, V.I. Engineering Designer Handbook / V.I. Anurev: in Zt. T.1. 8th ed., Pererab. and add. Ed. I.N. Zhestkova. – M .: Mashinostroenie, 2001. – 920 p.
2. Albagachiev, V.D. Kozhemyakina, A.V. Chichinadze // Friction and lubrication in machines and mechanisms. – 2010. – N 3. – p. 19-29.
3. Dmitrichenko M.F. Mnatsakanov R.G. Tribotechnika and the foundations of machines [Text]: navch. posib for stud. /; National Transport University. – K.: INFORMAVTODOR, 2006. – 216 p.: c. 208-209. – ISBN 966-2945-01-6
4. Drogomiretsky, Ya. M. Tribotechnika and the foundations of the machinery: lab. workshop Ivano-Frankivsk: IFNTUNG, 2004. – 38 p.
5. Brown, E.D. Simulation of friction and wear in machines. / E.D. Brown, Yu.A. Evdokimov, A.V. Chichinadze. – M .: Mashinostroenie, 1982. – 190 p.
6. Kurapov, P.A. Prediction of extreme stability of lubricated friction pairs / P.A. Kurapov // Friction and lubrication in machines and mechanisms – M .: Mashinostroenie, 2006. №9. Pp. 29-32.
7. Lelikov, O.P. Shafts and bearings with rolling bearings. / OP Lelikov. Design and calculation. Directory. M .: Mashinostroenie, 2006 – 640p.
8. Kragelsky, I.V. Basics of calculation for friction and wear / I.V. Kragelsky, M.N. Dobychin, V.S. Kombolov.-M .: Mechanical Engineering. 1978.-528 p.
9. 9. Shets S.P. Increased wear resistance of friction bearing units of machines and mechanisms / Bryansk 2011 – 312 p.

РЕФЕРАТ

Дмитриченко М.Ф. Особливості змащувального процесу в умовах граничного мащення при лінійному контакті / М.Ф. Дмитриченко, М.І. Косенко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

Підшипники тертя кочення широко використовуються в машинобудуванні, вони є одними із найбільш навантажених деталей. Вивчення їх зносостійкості дозволяє оптимізувати процес їх експлуатації, що підвищує надійність механізмів в цілому.

Метою дослідження є визначення впливу навантаження на проковзування в реальних підшипниках тертя кочення.

Матеріали та методи дослідження: для дослідження механізму проковзування ми використали модель у вигляді лінійного контакту двох дисків, притиснутих один до одного по дотичним дуг на базі машини тертя МІ1-М.

На підставі проведених випробувань встановлено, що досліджувані мастильні матеріали в парі тертя кочення типу «ролик – ролик» при зміні навантаження від 200 до 300Н знижують коефіцієнт проковзування на 3 – 4%.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПІДШИПНИК ТЕРТЯ КОЧЕННЯ, ПРОКОВЗУВАННЯ, ЛІНІЙНИЙ КОНТАКТ, КОЕФІЦІЄНТ ПРОКОВЗУВАННЯ.

ABSTRACT

Dmytrychenko M.F., Kosenko M.I. Features of the lubrication process in conditions of limiting lubrication under linear contact. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

Roller friction bearings are widely used in machine-building, they are one of the most loaded parts. Studying their wear resistance allows to optimize the process of their exploitation, which increases the reliability of mechanisms in general.

The purpose of the study is to determine the effect of load on the slip in real bearings of rolling friction.

Materials and methods of research: to study the mechanism of slipping, we used the model in the form of a linear contact of two disks, pressed against each other by tangent arcs on the basis of friction machine MI1-M.

On the basis of the performed tests it was established that the studied lubricants in the friction pairs of the roller – roller type, when changing the load from 200 to 300 N, reduce the slip factor by 3 – 4%.

KEYWORDS: ROLLING FRICTION BEARING, SLIPPING, LINEAR CONTACT, SLIPPING COEFFICIENT.

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

Косенко Максим Ігорович, аспірант, Національний транспортний університет, Київ, Україна, kosenko171194@gmail.com / 0000-0002-5155-1828

AUTHORS:

Dmytrychenko Nykolay 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

Kosenko Maxim Igorovich, master's degree, postgraduate student, NTU, Ukraine, Kyiv, str. Omelyanovicha-Pavlenko 1. Tel. 0669708998 orcid.org / 0000-0002-5155-1828

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гутаревич Ю.Ф, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри двигунів і теплотехніки, Київ, Україна.

Савчук А.М., кандидат технічних наук, доцент, Національний Транспортний Університет, Україна, Київ

REVIEWER:

Gutarevich Y.F. Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, professor department of motors and heating, Kyiv, Ukraine.

Savchuk A.M., Ph.D., associate professor, National Transport University, Ukraine, Kyiv

УДК 539.3
UDC 539.3
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-215-225

БІФУРКАЦІЯ ФРОНТІВ РОЗРИВНИХ ХВИЛЬ В ПРУЖНОМУ ШАРУВАТО НЕОДНОРІДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Заєць Ю.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, yzaets@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1836-2010

BIFURCATION OF DISCONTINUOUS WAVE FRONTS IN ELASTIC LAYERED MEDIA

Zaiets Yu.O., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, yzaets@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1836-2010

В зв’язку з стрімким розвитком енергоспоживання, постає проблема добування корисних копалин, зокрема вугілля та залізних руд, на великих глибинах. Збільшення глибин покладів впливає на можливість експлуатації родовищ за рахунок зростання гірського тиску і динамічних форм його прояву у вигляді гірських ударів. Багаторічна історія розробки таких родовищ знає велику кількість невдач, навіть катастроф на ряді рудників і шахт, які призводять до тимчасової або повної зупинки діяльності окремих підприємств.

Гірські удари відбуваються при певному поєднанні геологічних і гірничотехнічних умов. Вони пов'язані з раптовим вивільненням концентровано накопиченої потенціальної енергії пружного стиснення гірських порід, що супроводжується миттєвим руйнуванням гранично напружених зон вугілля, породи, руди з подальшим проявом деформацій, зміщень і коливань навколишнього масиву порід. Практика ведення гірничих робіт говорить про те, що такі причини, по мірі збільшення глибини і площі їх проведення, можуть призвести до гірських ударів з важкими наслідками [14].

Варто також відмітити, що в світі зростає число техногенних катастроф, котрі зумовлюють масштабні аварії на промислових об’єктах, наслідками яких є загибель людей і серйозні екологічні впливи. Однією з причин виникнення техногенних катастроф на Землі є землетруси. Як природнього походження, так і внаслідок господарської діяльності людства. Так, тільки протягом року на планеті відбувається до мільйона землетрусів. Вони несуть катастрофічні наслідки для населення і навколишнього середовища. Відомо, що механізм землетрусів включає явище суттєвої деформації земної кори, в результаті активних тектонічних рухів, а також процеси розповсюдження пружних поздовжніх та поперечних хвиль деформації, дифрагуючих на тектонічних неоднорідностях. Тому постає актуальною проблема захисту, зокрема вибухонебезпечних об’єктів (ядерних, хімічних), а також великих гідротехнічних споруд, руйнування яких носять катастрофічний характер, від згенерованих землетрусами сейсмічних хвиль.

Теоретичні дослідження створення екранів на шляху розповсюдження хвильових впливів сейсмічного, вибухового та ударного характерів представлені в роботах як вітчизняних, так і закордонних фахівців в галузі сейсмодинаміки та сейсморозвідки. Одним з найперших дослідників екранування сейсмічних хвиль був Barkan D.D. У 1962 була опублікована його праця «Dynamics of bases and foundations» [16], в якій автор досліджував використання траншей та шпунтових бар’єрів для захисту фундаменту споруд. Але недостатність інформації про розповсюдження поверхневих хвиль не дали йому змогу чітко відповісти на питання ефективності таких бар’єрів. R. D. Woods [18] розробив основні положення технічної теорії екранування пружних хвиль траншейним методом для ефективного захисту важливих об’єктів. Результати розрахунків фронту поздовжньої хвилі, яка пройшла через пружний шар середовища, та особливості поширення фронту такої хвилі, представлені в роботах Н.С. Смірнової, Кузнєцова С.В., E.N. Its, Cai Y.

У 2012 році під Греноблем на спеціально відведеній для експериментів площадці з м’яким однорідним глинистим ґрунтом будівельною компанією Menared проводились випробні дослідження екранування споруд від низькочастотних коливань ґрунту. Результати даного експерименту опубліковані в роботі **[**17**]**. У ній приведені результати вимірювань для сейсмічного тесту, який

відбувався за допомогою гармонічних хвиль, згенерованих монохромним вібропресованим зондом. Автори статті звертають увагу на необхідність проведення такого масштабного експерименту з метою показати можливість практичного впровадження сейсмічних метаматеріалів, підкреслити їх важливість для використання в цивільному будівництві.

Огляд стану проблеми управління інтенсивністю хвильових процесів та ідей екранування сейсмічних хвиль дає змогу зробити висновок, що цей напрям заснований на використанні спрощених (інженерних та експериментальних) методів і досі перебуває на початковому етапі свого розвитку.

Вивчення ефектів екранування і відбиття в неоднорідних пружних середовищах також може бути проведене за допомогою методів дослідження їх дифракції. Загальні питання аналізу цих явищ в деформівних середовищах розглядаються протягом багатьох років. Зокрема в роботах Б.К. Жена [11] і Вайнберга М. М.[4] вивчені питання дифракції гармонічних хвиль на неоднорідностях різної природи. Питаннями розповсюдження нестаціонарних хвиль в анізотропних середовищах займались В.С. Будаєв [3], О.Ю. Жарій **[**10**]**, Г.І. Петрашень **[**13**]** та ін. Питанням вивчення динамічних процесів в анізотропних пружних середовищах приділяли увагу Дж.Д. Ахенбах **[**1, 15**]**, В.М. Бабич **[**2**]**, Г.І. Петрашень [12, 13]. Безпосередньо задача дифракції пружних хвиль на різних видах неоднорідностях розглянута в роботах Ломухіна Ю.Л., Назарова С.А.

Відзначимо, що в проаналізованих роботах розглядається, як правило, питання дифракції неперервних гармонічних хвиль або розривних хвиль з плоскими фронтами, які при розповсюдженні не перебудовуються. Але в природі і на практиці часто зустрічаються хвилі, наближені до розривних, з криволінійними поверхнями їх фронтів. Із поширенням вони перебудовуються і змінюють свою форму, змінюючи, безпосередньо при цьому, інтенсивність самих хвиль. Трансформування розривних хвиль з їх поширенням суттєво ускладнює задачу їх розв’язку, тому загальні закономірності їх розповсюдження залишаються мало вивченими. Для дослідження таких хвиль ефективним виявляється променевий метод. Основоположником променевого методу для анізотропних середовищ можна вважати В.М. Бабича. Його робота **[**2**].**

Проблематикою розповсюдження квазіпоздовжних та квазіпоперечних пружних хвиль займались В.І. Гуляєв, Г.М. Іванченко і О.В. Яковенко. В свої роботах вони розглядали еволюцію фронтів розривних хвиль, сформованих при падінні початкової плоскої ударної хвилі на криволінійну поверхню поділу пружних трансверсально-ізотропних середовищ з різними фізичними властивостями [5, 6, 7].

Мета даної роботи полягає в постановці задачі про трансформацію слабких ударних хвиль в пружних середовищах шаром неоднорідності, а також аналізі отриманих результатів в залежності від характеру зміни пружних характеристик проміжного шару.

Розглянемо анізотропне пружне середовище.

Умова статичної рівноваги елемента пружного середовища встановлюється рівняннями:

$$\sum_{k=1}^{3}\frac{\partial t_{ik}}{\partial x_k}+f_i=0 \quad (i=1,2,3), \tag{1}$$

де t_{ik} – компоненти тензора пружних напружень, причому $t_{ik}=t_{ki}$;

x_k – декартові координати;

f_i – компоненти вектора щільності масових сил.

Для випадку, коли елемент пружного середовища знаходиться в русі, до компонентів рівнянь (1) (об’ємних сил) додаються ще сили інерції і вирази набувають вигляду [13]

$$\sum_{k=1}^{3}\frac{\partial t_{ik}}{\partial x_k}+f_i=\rho\frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} \qquad (i=1,2,3), \tag{2}$$

де ρ – густина середовища;

u_i – компоненти вектора пружних переміщень;

t – час.

Таким чином збурений стан ідеально пружного середовища характеризується трьома координатними векторами напруження $\mathbf{t}_i$ $(i=1,2,3)$, які є функціями від x_1, x_2, x_3 та часу t [9].

Для обчислення компонентів (лінійного) тензора деформацій ε_{ik} суцільного середовища використаємо рівняння Коші:

$$\varepsilon_{ik}=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_k}+\frac{\partial u_k}{\partial x_i}\right) \qquad (i,\ k=1,\ 2,\ 3). \tag{3}$$

Як відомо, закон Гука встановлює залежність між складовими напружень та переміщень. Так, для анізотропного середовища він має вигляд:

$$t_{ik}=\sum_{p,q=1}^{3} c_{ik,pq}\frac{\partial u_q}{\partial x_p} \qquad (i,\ k=1,\ 2,\ 3), \tag{4}$$

де коефіцієнти $c_{ik,pq}$ утворюють симетричну таблицю. Вона визначає тензор четвертого рангу відносно афінних ортогональних перетворень координат і називається тензором пружних сталих, який містить вісімдесят одну компоненту, за рахунок того, що в (4) міститься дев'ять рівнянь з дев'ятьма невідомими.

Так як існує додатньо-орієнтовна квадратична функція

$$W=\frac{1}{2}\sum_{i,k,p,q}^{3} c_{ik,pq}\varepsilon_{ik}\varepsilon_{pq}\geq 0, \tag{5}$$

яка характеризує щільність потенціальної енергії деформації ідеально пружного середовища, то $c_{ik,pq}=c_{pq,ik}=c_{ki,pq}=c_{ki,qp}$. А враховуючи ще й симетричність $t_{ik}=t_{ki}$ та $\varepsilon_{ik}=\varepsilon_{ki}$, кількість компонент тензора пружності зменшується до двадцяти одного. Задавши відповідним чином напрям осей декартової системи координат, отримаємо вісімнадцять неусувних коефіцієнтів системи.

Для наочного представлення, запишемо таблицю величин $c_{ik,pq}$ у вигляді квадратної шестирядної матриці, використовуючи відповідність між парами значків (ik) та (pq) симетричної матриці $c_{ik,pq}$ і значення значка α, що змінюється від одного до шести, за правилом [13]

$$\begin{gathered}(11)\leftrightarrow 1;\ (22)\leftrightarrow 2;\ (33)\leftrightarrow 3;\\ (23)=(32)\leftrightarrow 4;\ (31)=(13)\leftrightarrow 5;\ (12)=(21)\leftrightarrow 6.\end{gathered} \tag{6}$$

Крім цього, введемо позначення

$$\begin{gathered}t_{ik}=t_\alpha,\ \ c_{ik,pq}=c_{\alpha\beta},\\ \varepsilon_{ii}=\varepsilon_\alpha,\ (\alpha=i=1,2,3),\\ 2\varepsilon_{ik}=\varepsilon_\alpha,\ \ (i\neq k,\ \alpha=4,5,6).\end{gathered} \tag{7}$$

І тоді формули (4) та (5) перепишемо у вигляді

$$\begin{gathered}W=\frac{1}{2}\sum_{\alpha,\beta}^{6} c_{\alpha,\beta}\varepsilon_\alpha\varepsilon_\beta\geq 0,\\ \sigma_\alpha=\sum_{\beta=1}^{6} c_{\alpha,\beta}\varepsilon_\beta \quad (\alpha=1,2,3),\end{gathered} \tag{8}$$

а тензор пружних сталих перетворюється в матрицю розмірності 6×6

$$c_{ik,pq}=\left(c_{\alpha\beta}\right)=\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{16} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{26} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{61} & c_{62} & \dots & c_{66} \end{pmatrix}, \qquad c_{\alpha,\beta}=c_{\beta,\alpha}, \tag{9}$$

елементи якої задовольняють умови

$$c_{11}>0,\ \begin{vmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{vmatrix},\ \begin{vmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{vmatrix}>0,$$

$$\begin{vmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} & c_{14} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} & c_{24} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} & c_{34} \\ c_{41} & c_{42} & c_{43} & c_{44} \end{vmatrix}>0,\ \left|c_{\alpha\beta}\right|>0,$$

та забезпечують додатність квадратичної форми W з (8).

Для ізотропного середовища вигляд W має залишатись незмінним для будь-якої системи координат L, тобто

$$W=\frac{1}{2}\sum_{i,k,p,q}^{3} c_{ik,pq}\varepsilon_{ik}\varepsilon_{pq}=\text{інв}. \tag{10}$$

Отже, в довільній L таблиця $c_{ik,pq}$, визначається одним і тим же набором незалежних пружних параметрів $\bar{a},\bar{b},\bar{c}$ і т.д., значення яких не змінюються при переході від однієї L до іншої. Представляючи W у вигляді суми по параметрам, отримуємо

$$2W=\bar{a}f_1\left(\varepsilon\right)+\bar{b}f_2\left(\varepsilon\right)+\dots, \tag{11}$$

де $f_k\left(\varepsilon\right)$ – квадратичні форми відносно ε_{ik}, які не залежать від пружних параметрів середовища та інваріантні відносно будь-яких афінних ортогональних перетворень координат. Існує лише дві такі інваріантні форми:

$$J_1=\left(\sum_{k=1}^{3}\varepsilon_{kk}\right)^2=\text{інв}, \qquad J_2=\sum_{i,k=1}^{3}\varepsilon_{ik}^2=\text{інв}. \tag{12}$$

Тому (10) запишемо у вигляді $2W=\bar{a}J_1+\bar{b}J_2$.

Нехай $\bar{a}=\lambda$, а $\bar{b}=2\mu$. Тоді

$$W=\frac{\lambda}{2}I_1+\mu I_2=$$
$$=\frac{\lambda+2\mu}{2}\left(\varepsilon_{11}+\varepsilon_{12}+\varepsilon_{13}\right)^2+2\mu\left[\varepsilon_{12}^2+\varepsilon_{13}^2+\varepsilon_{23}^2-\left(\varepsilon_{11}\varepsilon_{22}+\varepsilon_{11}\varepsilon_{33}+\varepsilon_{22}\varepsilon_{33}\right)\right]. \tag{13}$$

Таким чином закон Гука для ізотропного пружного середовища та відповідна матриця пружних сталих набувають вигляду:

$$t_{ik} = \lambda \sum_{q=1}^{3} \varepsilon_{qq} + 2\mu\varepsilon_{ik}, \qquad (i = k = 1, 2, 3),$$
$$t_{ik} = 2\mu\varepsilon_{ik}, \qquad (i \neq k = 1, 2, 3). \tag{14}$$

$$\left(C_{\alpha\beta}\right) = \begin{pmatrix} \lambda+2\mu & \lambda & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda+2\mu & \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda & \lambda+2\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu \end{pmatrix}. \tag{15}$$

Співвідношення (14), (15) є найбільш типовими для геологічних порід.

Розглянемо неоднорідне трансверсально-ізотропне середовище з віссю симетрії Ox_2. Провівши аналогічні міркування, встановимо, що

$$2W = a_1\left(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}\right)^2 + 2a_2\left(\varepsilon_{11}^2 + \varepsilon_{12}^2 + \varepsilon_{22}^2\right) + a_0\varepsilon_{33}^2 +$$
$$+2a_3\varepsilon_{33}\left(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22}\right) + 4a_4\left(\varepsilon_{13}^2 + \varepsilon_{23}^2\right), \tag{16}$$

де $a_0 = \overline{a}$, $a_1 = \overline{b}$, $a_2 = \overline{c}$ і т.д. Для кращого співставлення хвильових процесів в ізотропному та трансверсально-ізотропному середовищах позначимо

$$a_0 = \lambda + 2\mu - p, a_1 = \lambda,$$
$$a_2 = \mu, \quad a_3 = \lambda - l, \qquad a_4 = \mu - m. \tag{17}$$

Тоді матриця $\left(C_{\alpha\beta}\right)$, з врахуванням рівностей (16) та (17), для трансверсально-ізотропного середовища набуде вигляду

$$\left(C_{\alpha\beta}\right) = \begin{pmatrix} \lambda+2\mu & \lambda & \lambda-l & 0 & 0 & 0 \\ \lambda & \lambda+2\mu-p & \lambda-l & 0 & 0 & 0 \\ \lambda-l & \lambda-l & \lambda+2\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu-m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu-m \end{pmatrix}, \tag{18}$$

а трансверсально-ізотропне середовище буде характеризуватись п’ятьма неусувними параметрами λ, μ, l, m і p.

Закон Гука для анізотропного середовища запишемо наступним чином

$$t_{ik} = \sum_{p,q=1}^{3} c_{ik,pq} \frac{\partial u_q}{\partial x_p}, \qquad (i = k = 1, 2, 3). \tag{19}$$

Підставляючи (19) в (2), отримаємо рівняння руху для однорідного анізотропного середовища

$$\sum_{k,p,q=1}^{3} c_{ik,pq} \frac{\partial^2 u_q}{\partial x_k \partial x_p} - \rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = 0, \quad (i = 1, 2, 3). \tag{20}$$

Позначимо $\lambda_{ik,pq} = \frac{1}{\rho} c_{ik,pq}$, тоді

$$\sum_{k,p,q=1}^{3} \lambda_{ik,pq} \frac{\partial^2 u_q}{\partial x_k \partial x_p} - \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} = 0, \quad (i = 1, 2, 3). \tag{21}$$

У випадку неоднорідного анізотропного середовища отримаємо складнішу систему рівнянь динаміки анізотропного пружного середовища

$$\sum_{k,p,q=1}^{3} \lambda_{ik,pq} \frac{\partial^2 u_q}{\partial x_k \partial x_p} - \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} + \sum_{k,p,q=1}^{3} \frac{\partial c_{ik,pq}}{\rho \partial x_k} \frac{\partial u_q}{\partial x_p} = 0, \quad (i = 1, 2, 3). \tag{22}$$

Розв'язок систем рівнянь (21) і (22) з відомими початковими умовами $\vec{u}\big|_{t=0} = \vec{u}_0(x_1, x_2, x_3, 0)$, $\left.\frac{\partial \vec{u}_0}{\partial t}\right|_{t=0} = \vec{v}_0(x_1, x_2, x_3, 0)$,будується у вигляді плоскої монохроматичної хвилі із хвильовим числом k і фазовою швидкістю v, фронтами якої є поверхні постійних фаз [13]

$$\vec{n} \cdot \vec{r} - vt = const, \tag{23}$$

котрі рухаються зі швидкістю $\vec{v} = v \cdot \vec{n}$ та локально перпендикулярні до орта $\vec{n}$.

Для будь-якого вибраного напрямку $\vec{n}$ фазова швидкість хвилі v та вектор її поляризації $\vec{A}$ визначається із системи лінійних алгебраїчних рівнянь [13]

$$\sum_{k,p,q=1}^{3} \lambda_{ik,pq} n_k n_p A_q - v^2 A_i = 0, \quad (i = 1, 2, 3). \tag{24}$$

Розв'язуючи задачі на власні значення симетричної додатньо визначеної матриці коефіцієнтів системи (24)

$$\Lambda_{iq} \equiv \sum_{k,p}^{3} \lambda_{ik,pq} n_k n_p \qquad (i, q = 1, 2, 3), \tag{25}$$

для кожного напрямку $\vec{n}$ визначаються квадрати швидкостей трьох по різному поляризованих хвиль $\left[v^{(r)}\right]^2$, $r = 1, 2, 3$, та для кожного значення фазової швидкості компоненти вектора поляризації $\vec{A}$ хвилі, як власні вектори матриці (25). Для будь-якого напрямку $\vec{n}$ вектори поляризації мають задовольняти умови ортогоналізації $\vec{A}^{(i)}(\vec{n}) \cdot \vec{A}^{(k)}(\vec{n}) = \delta_{ik}$, $(i, k = 1, 2, 3)$.

Величини фазових швидкостей нумеруються в послідовності зменшення їх модулів. Хвиля, що має найбільшу фазову швидкість та номер $r = 1$, називається квазіпоздовжньою. Дві інші, $r = 2, 3$ – квазіпоперечні, фронти яких, зрозуміло, завжди відстають від фронту квазіпоздовжньої хвилі.

Поверхня фронту ударної хвилі з урахуванням (23) може бути представленою співвідношенням

$$\tau(x_1, x_2, x_3) - t = 0,$$

де τ - функція, що задовольняє диференціальне рівняння

$$\sum_{i,k,p,q=1}^{3} \lambda_{ik,pq} p_k p_p A_q^{(r)} A_i^{(r)} = 1, \tag{26}$$

в яких позначено: $p_k \equiv \partial\tau / \partial x_k = n_k / \mathrm{v}_r(\vec{n})$ – компоненти вектора рефракції [13].

Рівняння (26) за допомогою метода характеристик зводиться до системи звичайних диференціальних рівнянь

$$\begin{gathered} \frac{dx_m^{(r)}}{d\tau} = \xi_m \equiv \sum_{i,p,q=1}^{3} \lambda_{im,pq}\ p_p A_q^{(r)} A_i^{(r)},, \\ \frac{dp_m^{(r)}}{d\tau} = \eta_m \equiv -\frac{1}{2} \sum_{i,k,p,q=1}^{3} \frac{\partial \lambda_{ik,pq}}{\partial x_m} p_k\ p_p A_q^{(r)} A_i^{(r)}\ \ (r,m = 1,2,3) \end{gathered} \tag{27}$$

з початковими умовами $x_k^{(r)}\big|_{t=0} = x_k^0,,\ p_k^{(r)}\big|_{t=0} = \frac{n_k}{v_k^{(r)}}$, інтегруючи які, для послідовності заздалегідь вибраних початкових напрямків, можна побудувати сімейство m променів, вздовж яких у пружному анізотропному середовищі зі швидкостями $\vec{\xi}_m$ розповсюджується енергія хвильового поля.

Як було відмічено раніше, метою даної роботи є дослідження ефектів біфуркацій розривних хвиль, зокрема, стосовно задач поширення в неоднорідних гірських породах сейсмічних хвиль, спровокованих вибухами, а також гірськими ударами. При цьому, в загальному випадку, можемо спостерігати неоднорідності порід двох типів. В першому випадку пружні характеристики тектонічних середовищ (густина і компоненти тензора пружних сталих) можуть бути неперервними функціями просторово-часових змінних x_1, x_2, x_3. Неоднорідності другого типу деформованого середовища можуть бути обумовлені розривним характером змін механічних властивостей середовища. Такі неоднорідності зустрічаються, наприклад, коли гірська порода є комбінацією двох або більше пружних середовищ з різними механічними властивостями, які контактують на певних поверхнях розділу. В цьому випадку параметри пружності системи є функціями, які зазнають розривів на поверхнях розділу

Найчастіше властивості неоднорідності середовища проявляються зі зміною параметра m [8], який входить до двох діагональних елементів матриці пружних сталих (18). Нехай m змінюється за законом неперервної функції, а густина та два інших параметра анізотропії l і p залишаються незмінними. Припустимо, що $m(x_3)$, наприклад, змінюється за законом

$$\begin{gathered} m = m_0\mu = \left(m^0 + \beta\left(-\sqrt{1\cdot 10^6 + \left(x_3 + 11250\right)^2} + \sqrt{1\cdot 10^6 + \left(x_3 + 11000\right)^2} \right) + 0,4 \right)\mu, \\ x_3 \in \left[-15000; -7500\right); \\ m = m_0\mu = \left(m^0 + \beta\left(\sqrt{1\cdot 10^6 + \left(x_3 + 11250\right)^2} - \sqrt{1\cdot 10^6 + \left(x_3 + 11000\right)^2} \right) + 0,4 \right)\mu, \\ x_3 \in \left[-15000; -7500\right); \\ m = m_0\mu, \qquad x_3 < -15000, \end{gathered} \tag{28}$$

де $\beta = 2,49\cdot 10^{-3}$ м$^{-1}$, $\rho = 2760 кг/м^3$. На рис.1 та рис.2 зображені сітки променів та фронтів *qP*- і *qS*-хвиль при наступних варіаціях m^0, l і p: рис. 1 – m^0=0,1, l=0,3λ і p=0,5$(\lambda+2\mu)$; рис. 2 – m^0=0,1, l=0,5λ і p=0,3$(\lambda+2\mu)$.

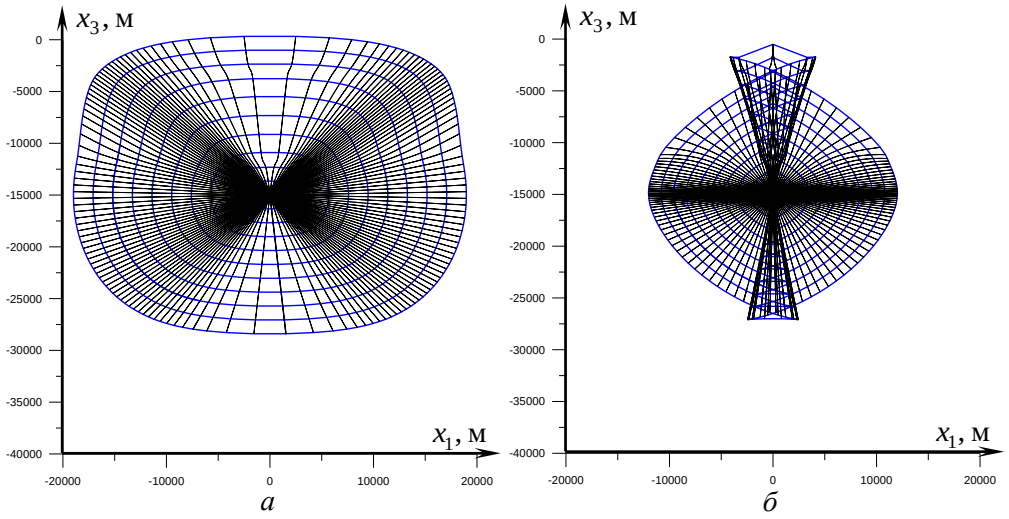


Рисунок 1 − Система променів та фронтів квазіпоздовжньої (а) та квазіпоперечної (б) хвилі при зміні параметра m за законом (28) та значеннях $m^0 = 0{,}1$, $l = 0{,}3\lambda$, $p = 0{,}5(\lambda + 2\mu)$

Figure 1 − The system changing and fronting the quasi-longitudinal (a) and quasi-shear (b) waves when changing the parameter m according to the law (28) and the values $m^0 = 0{,}1$, $l = 0{,}3\lambda$, $p = 0{,}5(\lambda + 2\mu)$

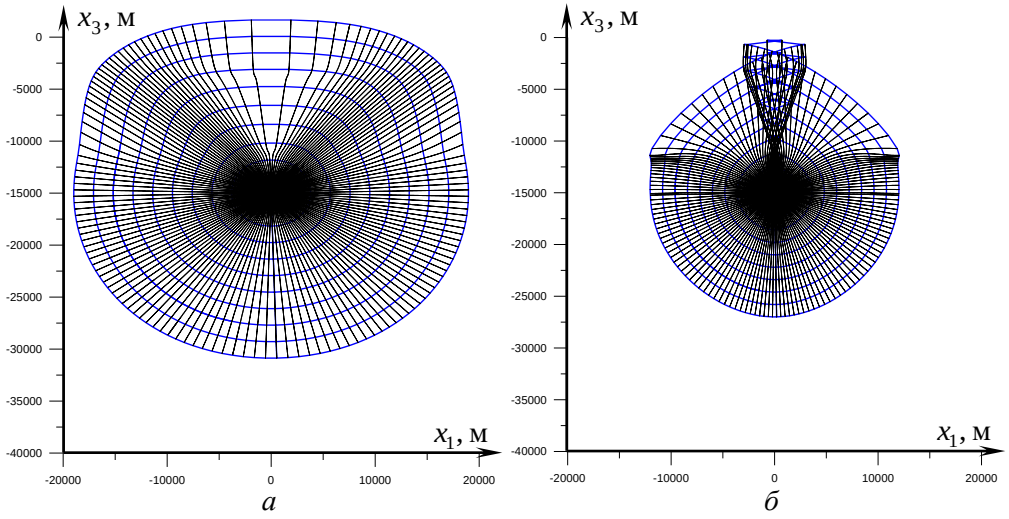


Рисунок 2 − Система променів та фронтів квазіпоздовжньої (а) та квазіпоперечної (б) хвилі при зміні параметра m за законом (28) та значеннях $m^0 = 0{,}1$, $l = 0{,}5\lambda$, $p = 0{,}3(\lambda + 2\mu)$

Figure 2 − The system changing and fronting the quasi-longitudinal (a) and quasi-shear (b) waves when changing the parameter m according to the law (28) and the values $m^0 = 0{,}1$, $l = 0{,}5\lambda$, $p = 0{,}3(\lambda + 2\mu)$

Відзначаємо, що у всіх наведених випадках спостерігаємо ефект відхилення променів квазіпоздовжніх хвиль (рис. 1, рис. 2, позиція а) від додатного напряму осі Ox_3. Для *qS*-хвиль (рис. 1, рис. 2 позиція б) є характерним утворення каустик. Результатом такої поведінки променів *qP*-хвиль є виникнення ефекту екранування розривної хвилі при наявності в пружному середовищі шару неоднорідності утвореного в результаті неперервної зміни параметра анізотропії m за законом неперервної функції (28), що передбачає спочатку зменшення значення m, а потім його повернення до початкового значення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ахенбах Дж. Д. Задачи о распространении упругих волн при неразрушающих испытаниях / Дж. Д. Ахенбах // Механика деформ. тверд. тел: направление развития: сб. науч. статей. − М.: Мир, 1983. − С. 324-345.

2. Бабич В. М. Асимптотические методы в задачах дифракции коротких волн / В. М. Бабич, В. С. Булдырев. − М.: Наука, 1972. − 456 с.

3. Будаев В. С. К задаче о точечном источнике в анизотропной упругой среде / В. С. Будаев, И. Г. Филиппов // Прикл. мат. и программирование. − Кишенев: Штиница, 1975. − Вып. 13. С. 26-31.

4. Вайнберг М. М. Теория ветвления решений нелинейных уравнений / М. М. Вайнберг, В. А. Треногин. − М.: Наука, 1969. − 527 с.

5. Взаимодействие фронтов ударных волн с плоскостью раздела трансверсально-изотропных упругих сред / [В. И. Гуляев, П. З. Луговой, Г. М. Иванченко, Е. В. Яковенко] // Прикладная механика. − 1999. − Т. 35, № 4. – С. 30-36.

6. Гуляев В. И. Отражение и преломление плоских разрывных волн параболоидными поверхностями раздела анизотропных упругих сред / В. И. Гуляев, П. З. Луговой, Г. М. Иванченко // Геофизический журнал − 2005. − Т. 27, № 3. − С. 418-427.

7. Гуляев В. И. Дифракция разрывных волн на эллипсоидальных поверхностях раздела трансверсально-изотропных упругих сред / В. И. Гуляев, П. З. Луговой, Г. М. Иванченко // Прикладная механика. − 2004. − Т. 40, № 10. − С. 98-106.

8. Гуляев В. И. Перестройка фронтов квазипродольных и квазипоперечных разрывных волн в неоднородных трансверсально изотропных упругих середах / В. И. Гуляев, П. З. Луговой, Ю. А. Заец, М. Набиль // Прикладная механика. – 2011. – Т.47, № 1. – С. 73-80.

9. Гуляєв В.І. Перетворення фронтів розривних хвиль в пружному шаруватому середовищі змінної густини. / В.І. Гуляєв, Ю.О. Заєць // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2016. – Вип. 1 (34).

10. Жарий О. Ю. Введение в динамику нестационарных колебаний и волн / О. Ю. Жарий, А. Ф. Улитко. − К.: Выща школа, 1989. − 184 с.

11. Жэн Б.-К. Нормальные волны в упругом слоистом полупространстве / Б.-К. Жэн, Л.-Ю. Лу // Акустический журнал. – 2003. – Т. 49, № 4 – С. 501-513.

12. Петрашень Г. И. Продолжение волновых полей в задачах сейсморазведки / Г. И. Петрашень, С. А. Нахамкин. − Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1973. − 170 с.

13. Петрашень Г. И. Распространение волн в анизотропных упругих средах / Г. И. Петрашень. − Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1990. − 280 с.

14. Петухов И. М. Прогноз и предотвращение горных ударов на рудниках / И. М. Петухов, А. М. Ильин, К. Н. Трубецкой. – М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. – 377 с.

15. Achenbach J. D. Geometrical theory of diffraction for three-D elastodynamics / J. D. Achenbach, A. K. Caustesen // J. Acoust. Soc. Amer. − 1977. − V. 61, № 2. − P. 413-421.

16. Barkan D.D. Dynamics of bases and foundations / D. D. Barkan. − New York: McGraw Hill Book, 1962. − 476 p.

17. Brule S. Experiments on seismic materials: molding surface waves / S. Brule // Physycal review letters. – 2014. – V. 112. – P. 1-5.

18. Woods R. D. Screening of surface waves in soils / R. D. Woods // Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. Proceedings, ASCE. – 1968. – V. 94, № 4. – P. 951-979.

REFERENCES

1. Akhenbakh Dzh. D. (1983) Zadachi o rasprostranenii uprugikh voln pri nerazrushayushchikh ispytaniyakh [Problems of elastic wave propagation in non-destructive testing]. Mekhanika deform. tverd. tel – Mechanics of deformable solids, 324-345 (Rus)

2. Babich V. M., & Buldyrev.V.S. (1972) Asimptoticheskiye metody v zadachakh difraktsii korotkikh voln [Asymptotic methods in short wave diffraction problems]. Moscow: Nauka, 456 (Rus).

3. Budayev V. S. & Filippov I. G. (1975) K zadache o tochechnom istochnike v anizotropnoy uprugoy srede [On the problem of a point source in an anisotropic elastic medium]. Prikladnaya matematika i programmirovaniye – [Applied mathematics and programming], Kishenev: Shtinitsa, 13, 26-31 (Rus).

4. Vaynberg M. M. & Trenogin V.A. (1969) Teoriya vetvleniya resheniy nelineynykh uravneniy [Theory of branching of solutions of nonlinear equations], Moscow: Nauka, 527 (Rus).

5. Gulyayev V.I., Lugovoi P.Z., Ivanchenko G.M. & Yakovenko E.V. (1999) Vzaimodeystviye frontov udarnykh voln s ploskost'yu razdela transversal'no-izotropnykh uprugikh sred [Interaction of shock wave fronts with a transversally isotropic elastic media interface] Prikladnaya mekhanika. – [Applied Mechanics], 35(4), 30-36 (Rus).

6. Gulyayev V. I., Lugovoy P. Z. & Ivanchenko G. M. (2005) Otrazheniye i prelomleniye ploskikh razryvnykh voln paraboloidnymi poverkhnostyami razdela anizotropnykh uprugikh sred [Reflection and refraction of plane waves of discontinuous paraboloidal surfaces of anisotropic elastic media] Geofizicheskiy zhurnal – [Geophysical Journal], 27(3), 418-427 (Rus).

7. Gulyayev V. I., Lugovoy P. Z. & Ivanchenko G. M. (2004) Difraktsiya razryvnykh voln na ellipsoidal'nykh poverkhnostyakh razdela transversal'no-izotropnykh uprugikh sred [Diffraction of discontinuous waves on the ellipsoidal surfaces of section transversely isotropic elastic media.] Prikladnaya mekhanika. – [Applied Mechanics], 40(10), 98-106 (Rus).

8. Gulyayev V. I., Lugovoy P. Z., Zayets YU. A. & Nabil M. (2011) Perestroyka frontov kvaziprodol'nykh i kvazipoperechnykh razryvnykh voln v neodnorodnykh transversal'no izotropnykh uprugikh sredakh [Evolution of the fronts of quasi-compressional and quasi-shear discontinuous waves in inhomogeneous transversely isotropic elastic media] Prikladnaya mekhanika – [Applied Mechanics], 47(1), 73-80 (Rus).

9. Gulyayev V. I. & Zaiets YU. O. (2016) Peretvorennya frontiv rozryvnykh khvyl′ v pruzhnomu sharuvatomu seredovyshchi zminnoyi hustyny [Ttransformation of discontinuous wave fronts in elastic layered media with variable density] Visnyk Natsional′noho transportnoho universytetu. – [Herald of National Transport University.], 1 (34), 130-137 (Ukr).

10. Zhariy O. YU. & Ulitko A. F. (1989) Vvedeniye v dinamiku nestatsionarnykh kolebaniy i voln [Introduction to the dynamics of non-stationary oscillations and waves] − Kyiv: Vyshcha shkola, 184 (Rus).

11. Zhen B.K. & Lu L.-YU. (2003) Normal'nyye volny v uprugom sloistom poluprostranstve [Normal waves in an elastic layered half-space], Akusticheskiy zhurnal – [AcousticJournal], 49(4), 501-513 (Rus).

12. Petrashen G. I. & Nakhamkin S. A. (1973) Prodolzheniye volnovykh poley v zadachakh seysmorazvedki [Continuation of wave fields in seismic exploration problems.] Leningrad: Nauka, 170 (Rus).

13. Petrashen' G. I. (1980) Rasprostraneniye voln v anizotropnykh uprugikh sredakh [Wave propagation in anisotropic elastic media] Leningrad: Nauka, 280 (Rus).

14. Petukhov I. M., Il'in A. M. & Trubetskoy K. N. (1997) Prognoz i predotvrashcheniye gornykh udarov na rudnikakh [Forecast and prevention of rock bursts at mines] – Moscow: Izd-vo Akademii gornykh nauk, 377 (Rus).

15. Achenbach J. D. (1997) Geometrical theory of diffraction for three-D elastodynamics. J. Acoust. Soc. Amer. – 61, 2, 413-421 (Eng).

16. Barkan D.D. (1962) Dynamics of bases and foundations – New York: McGraw Hill Book, 476 (Eng).

17. Brule S. (2014) Experiments on seismic materials: molding surface waves. Physycal review letters. – 112, 1-5 (Eng).

18. Woods R. D. (1968) Screening of surface waves in soils. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. Proceedings, ASCE. – 94, 4, 951-979 (Eng).

РЕФЕРАТ

Заєць Ю.О. Біфуркація фронтів розривних хвиль в пружному шарувато неоднорідному середовищі / Ю.О. Заєць // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

В роботі розглянуто задачу про перетворення фронтів слабких ударних хвиль у неоднорідних пружних середовищах із майже шаруватою структурою.

Об'єкт дослідження – явище поширення нестаціонарних розривних (слабких ударних) хвиль, збурених у неоднорідних трансверсально-ізотропних пружних середовищах.

Метою даної роботи є дослідження ефектів біфуркацій розривних хвиль, зокрема, по завданням поширення у неоднорідних гірських породах сейсмічних хвиль, спровокованих вибухами, а також гірськими ударами.

Метод дослідження – метод нульового наближення променевого методу.

У роботі розглянуто питання перебудови систем променів та фронтів слабких ударних хвиль у пружних середовищах. Неоднорідність яких викликана зміною пружних характеристик середовища за законом неперервної функції, підібраної таким чином, щоб пружне середовище набуло властивостей шаруватої структури, проте властивості якої описуються неперервними диференційованими функціями. Показано, що ці процеси можуть супроводжуватися явищами розходження променів, їх викривленням, відхиленням від певної зони середовища та зміною напряму поширення, а також збільшенням або зменшенням інтенсивності хвилі за рахунок їх перетворення та екранування.

Результати статті можуть бути упровадженні в науково-дослідних і промислових організаціях, при проектуванні споруд енергетичного, транспортного та гірничого призначення з метою їх сейсмозахисту та захисту від впливу розривних хвиль збурених техногенними чинниками.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕКРАНУВАННЯ, РОЗРИВНІ ХВИЛІ, АНІЗОТРОПНЕ СЕРЕДОВИЩЕ, ПРУЖНЕ СЕРЕДОВИЩЕ, ПРОМЕНЕВИЙ МЕТОД.

ABSTRACT

Zaiets Yu. O. Bifurcation of discontinuous wave fronts in elastic layered media. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The paper considers the problem of the transformation of the fronts of weak shock waves in inhomogeneous elastic media with an almost layered structure.

The research object is nonstationary wave with strong discontinuity generated in in inhomogeneous transversely isotropic elastic media

The aim of this work is to study the effects of bifurcations of discontinuous waves, in particular, on the tasks of propagation in inhomogeneous rocks of seismic waves provoked by explosions, as well as mountain shocks.

The research method is the zeroth approximation of the ray method.

The paper considers the issue of restructuring of ray systems and fronts of weak shock waves of elastic media. The heterogeneity of which is caused by the variable characteristics of the medium for the regularity of a continuous function, selected in such a way as to ensure that the medium has acquired the properties of a layered structure, but the properties are described by continuous differentiated functions.

The work results can be inculcated in research and projection institutes for design of construction of structures, transport and mine destination with the aim of their seismic protection and their screening from action of discontinuous waves generated by different technical failures.

KEYWORDS: SHIELDING, DISCONTINUOUS WAVES, ANISOTROPIC LAYERED MEDIA, ELASTIC MEDIUM, RAY METHOD.

АВТОР:

Заєць Юлія Олександрівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет доцентнт кафедри вищої математики, e-mail: yzaets@gmail.com, тел. +380979712351, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, orcid.org/0000-0002-5748-9527

AUTHOR:

Zaiets Yu. O., Ph. D., National Transport University, e-mail: yzaets@gmail.com, tel. +380979712351, Ukraine, 01103, Kyiv, Boichuk str., 42, 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.

Мозговий В. В., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, Київ, Україна.

REVIEWER:

Gaidaichuk V.V., Dr. Sc. (Engineering), Professor, Kyiv National University of Structures and Architecture, Head of Department of Theoretical Mechanics, Kyiv, Ukraine.

Mozgovyy V.V., Dr. Sci., (Engineering), Professor, National Transport University, Head of Department of Road Construction Materials and Chemistry, Kyiv, Ukraine.

УДК 539.3
UDC 539.3
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-226-233

МАТЕМАТИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ПРИ ПЕРЕМІЩЕННІ ЖОРСТКОГО КРУГОВОГО ДИСКУ У П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОМУ ПРОСТОРІ

Кирилюк В.С., Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАНУ, Київ, Україна, kirilyuk_v@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8513-0378
Левчук О.І., Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАНУ, Київ, Україна, 2013levchuk@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6514-6225
Гавриленко В.В. Національний транспортний університет, Київ, Україна, v_gavr@ukr.net, orcid.org/0000-0001-9682-4204
Вітер М.Б., Національний транспортний університет, Київ, Україна, mbviter@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4109-005X

MATHEMATICAL AND COMPUTER SIMULATION OF THE STRESS STATE CAUSED BY THE DISPLACEMENT OF A RIGID CIRCLE DISC IN A PIEZOELECTRIC SPACE

Kirilyuk V.S., S.P. Timoshenko Institute of mechanics of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, kirilyuk_v@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8513-0378
Levchuk O.I., Ph.D., S.P. Timoshenko Institute of mechanics of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, 2013levchuk@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6514-6225
Gavrilenko V.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, v_gavr@ukr.net, orcid.org/0000-0001-9682-4204
Viter M.B., National Transport University, Kyiv, Ukraine, mbviter@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4109-005X

Постановка проблеми. Широке використання п'єзоелектричних матеріалів (смарт-матеріалів) при створенні перетворювачів енергії та елементів вимірювальних приладів для різних галузей промисловості обумовлює значний інтерес до аналізу силових і електричних полів у електропружних тілах поблизу концентраторів напружень. В той же час, дослідження розподілу напружень на основі розв'язків просторових задач електропружності для анізотропних п'єзоелектричних тіл для строгої математичної моделі, яка враховує зв'язаність силових і електричних полів, суттєво ускладнюється. У такій постановці виникає необхідність розв'язувати граничну задачу для системи рівнянь, що має значно складнішу структуру (у порівнянні з системою рівнянь теорії пружності). Зауважимо, що, на відміну від досліджень задач про напружений стан для чисто пружних трансверсально-ізотропних тіл, просторові задачі електропружності у строгій постановці досліджено зі значно меншою повнотою. В той же час, при значному впливі зв'язаності силових і електричних полів на напружений стан використання спрощуючих гіпотез та спрощених підходів може призвести до значних похибок в аналізі результатів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми зв'язаних силових і електричних полів у анізотропних п'єзоелектричних матеріалах вивчались у низці наукових робіт вітчизняних і закордонних авторів, в тому числі Л. Дао [1], А. Ходеса [2], С. Калоерова [3], В. Карнаухова [4], В. Кирилюка [5, 6], О. Левчук [7], Ю. Подільчука [8, 9], М. Зао [10] та інших, проблеми аналізу напруженого стану у чисто пружнимх трансверсально-ізотропних тіл при переміщенні жорсткого диску - у роботах А. Селвадураї [11, 12] та інших.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. На сьогодні використання п'єзоелектричних матеріалів у різних галузях промисловості (сенсори, перетворювачі енергії, актуатори) стимулює інтерес до дослідження розподілу напружень у електропружних тілах поблизу концентраторів напружень типу порожнин, включень, тріщин, що дозволить прогнозувати міцність та надійність елементів конструкцій на основі п'єзоелектричних матеріалів за наявності можливих дефектів. Важливим є і оцінка впливу зв'язаності силових і електричних полів на напружений стан для конкретних п'єзоелектричних матеріалів, оскільки при значному впливі зв'язаності полів спроби використання спрощених підходів та теорій призведуть до значних похибок в оцінці розподілу напружень. Однією з невирішених проблем є задача про переміщення жорсткого диску у

п’єзоелектричному просторі, математичне та комп’ютерне моделювання напруженого стану поблизу диска

Мета статті. Основною метою написання статті є розв’язання нової проблеми про переміщення жорсткого круглого диску у п’єзоелектричному матеріалі на основі строгої математичної моделі, яка враховує зв’язаність силових і електричних полів. Аналітичний розв’язок задачі і подальше комп’ютерне моделювання дозволять отримати достовірну оцінку розподілу напружень у електропружному матеріалі під жорстким диском, дослідити вплив зв’язаності силових і електричних полів на напружений стан для конкретних п’єзоелектричних матеріалів.

Виклад основного матеріалу.

Постановка задачи. Розглянемо математичну модель, за допомогою якої вивчимо розподіл напружень, що виникає при переміщенні жорсткого кругового диску у п’єзоелектричному трансверсально-ізотропному просторі вздовж осі симетрії матеріалу (рис. 1).

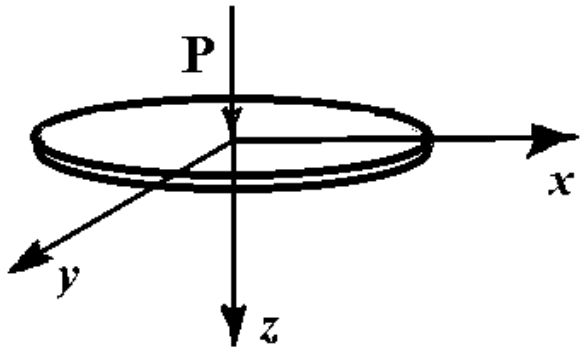


Рисунок 1 – Переміщення жорсткого кругового диску вздовж осі симетрії п’єзоелектричного матеріалу
Figure 1 – Displacement of rigid circle disc along the symmetry axe of piezoelectric material

Припускаємо, що площина $z = 0$ (рис. 1) у електропружному трансверсально-ізотропному просторі, у якій розміщується жорсткий круговий диск, що займає область Ω, є перпендикулярною осі симетрії електропружного трансверсально-ізотропного матеріалу. Також вважаємо, що двостороння поверхня жорсткого диску не містить електродного покриття (є неелектродованою). Під дією сили P круговий диск здійснює переміщення w_0 вздовж осі $0z$. Граничні умови у площині $z = 0$ приймають наступний вигляд:

$$u_z = w_0,\ (x,y) \in \Omega,\quad \sigma_{zz} = 0,\ (x,y) \notin \Omega;\quad u_x = u_y = 0,\ z = 0; \tag{1}$$

$$D_z(x,y) = 0,\ z = 0, \tag{2}$$

де $\Omega: x^2/a^2 + y^2/a^2 \le 1$, D_z – нормальна компонента вектора електричної індукції (електричних переміщень). Умова (2) по електричному стану відповідає випадку відсутності електричного покриття на поверхні кругового диску.

Основні рівняння і співвідношення. Рівняння статики електропружності для п’єзоелектричного трансверсально-ізотропного тіла стосовно компонентів вектора переміщень і електричного потенціалу Ψ приймають наступний вигляд [8, 9]:

$$+(e_{31}+e_{15})\Psi_{,xz} = 0;$$

$$c_{11}^E u_{y,yy} + \frac{1}{2}(c_{11}^E - c_{12}^E)u_{y,xx} + c_{44}^E u_{y,zz} + \frac{1}{2}(c_{11}^E + c_{12}^E)u_{x,xy} + (c_{13}^E + c_{44}^E)u_{z,yz} +$$

$$+(e_{31}+e_{15})\Psi_{,yz} = 0;$$

$$(c_{13}^E + c_{44}^E)(u_{x,xz} + u_{y,yz}) + c_{44}^E(u_{z,xx} + u_{z,yy}) + c_{33}^E u_{z,zz} +$$

$$+ e_{15}(\Psi_{,xx} + \Psi_{,yy}) + e_{33}\Psi_{,zz} = 0;$$

$$(e_{31}+e_{15})(u_{x,xz} + u_{y,yz}) + e_{15}(u_{z,xx} + u_{z,yy}) + e_{33}u_{z,zz} -$$

$$-\varepsilon_{11}^{S}(\Psi_{,xx}+\Psi_{,yy})-\varepsilon_{33}^{S}\Psi_{,zz}=0\,. \tag{3}$$

В рівняннях (3) використані наступні позначення: $c_{11}^{E}, c_{12}^{E}, c_{13}^{E}, c_{33}^{E}, c_{44}^{E}$ - незалежні модулі пружності; e_{31}, e_{15}, e_{33} - п'єзомодулі; $\varepsilon_{11}^{S}, \varepsilon_{33}^{S}$ - діелектричні проникності. Отже, електропружні властивості п'єзоелектричного трансверсально-ізотропного матеріалу описуються за допомогою десяти незалежних сталих.

Розв'язок системи рівнянь (3) згідно [8] можна представити за допомогою чотирьох потенціальних функцій Φ_j $(j=\overline{1,4})$

$$u_x=\sum_{j=1}^{3}\Phi_{j,x}+\Phi_{4,y}\,;\ u_y=\sum_{j=1}^{3}\Phi_{j,y}-\Phi_{4,x}\,;\ u_z=\sum_{j=1}^{3}k_j\Phi_{j,z}\,;\ \Psi=\sum_{j=1}^{3}l_j\Phi_{j,z}\,, \tag{4}$$

де k_j, l_j - деякі сталі, а функції Φ_j задовольняють рівнянням

$$\Phi_{j,xx}+\Phi_{j,yy}+\nu_j\Phi_{j,zz}=0\ \ (j=1,2,3), \tag{5}$$

$\nu_4=2c_{44}^{E}/\left(c_{11}^{E}-c_{12}^{E}\right)$, а значення ν_i $(i=1,2,3)$ згідно [8] є коренями наступного алгебраїчного рівняння третього порядку:

$$\begin{aligned}&\nu^3(A_1B_2-C_1D_2)+\nu^2(A_1B_3+A_2B_2-C_1D_3-C_2D_2)+\\&+\nu(A_2B_3+A_3B_2-C_2D_3-C_3D_2)+A_3B_3-C_3D_3=0\,.\end{aligned} \tag{6}$$

Значення k_j, l_j у виразах (4) пов'язані зі значеннями ν_j, що входять до рівнянь (5) та визначаються з алгебраїчного рівняння (6), наступними співвідношеннями:

$$\frac{a_j+c_{13}^{E}k_j+e_{31}l_j}{c_{11}^{E}}=\frac{c_{33}^{E}k_j+e_{33}l_j}{c_{13}^{E}+a_j}=\frac{c_{33}^{E}k_j-\varepsilon_{33}^{S}l_j}{e_{31}+d_j}=\nu_j\ \ (j=1,2,3), \tag{7}$$

$$a_j=c_{44}^{E}(1+k_j)+e_{15}l_j;\ d_j=e_{15}(1+k_j)-\varepsilon_{11}^{S}l_j\ \ (j=1,2,3,4), \tag{8}$$

де вирази (7), (8) використовуються при подальших обчисленнях.

Зауважимо, що при введенні позначень $z_j=zn_j^{-1/2}$ $(j=\overline{1,4})$ функции $\Phi_1(x,y,z_1)$, $\Phi_2(x,y,z_2)$, $\Phi_3(x,y,z_3)$, $\Phi_4(x,y,z_4)$ згідно виразів (5) стають гармонічними функціями у відповідних системах координат.

Метод розв'язання. При побудові розв'язку граничної задачі електропружності для п'єзоелектричного матеріалу скористаємося представленням (4) - (8). Функції $\Phi_i(x,y,z_i)$ візьмемо у вигляді

$$\Phi_i(x,y,z_i)=\alpha_i^{*}f(x,y,z_i)\,,\ (i=1,2,3);\qquad \Phi_4\equiv 0\,,$$

де α_i^{*} - невідомі сталі, $f(x,y,z)$ – гармонічна функція виду

$$f(x,y,z)=\int_{\xi}^{\infty}[z-z(s)]\frac{ds}{\sqrt{(a^2+s)(a^2+s)s}}, \tag{9}$$

Де $z(s)=\sqrt{s}\sqrt{1-\frac{x^2}{a^2+s}-\frac{y^2}{a^2+s}}$, ξ - еліпсоїдальна координата.

Для цієї функції маємо

$$\partial f/\partial z=\int_{\xi}^{\infty}\frac{ds}{\sqrt{(a^2+s)(a^2+s)s}}.$$

З граничних умов (1)-(3), використовуючи (9), отримуємо

$$\sum_{j=1}^{3}\alpha_j^*=0;\quad \sum_{j=1}^{3}\alpha_j^*\left[e_{15}(1+k_j)-\varepsilon_{11}^S l_j\right]=0;\ \sum_{j=1}^{3}\alpha_j^*\frac{k_j}{\sqrt{v_j}}\frac{\pi}{a}=w_0. \tag{10}$$

Введемо нові невідомі $\alpha_j=\alpha_j^*\pi/(aw_0)$. Тоді з системи (10) для пошуку невідомих α_j $\left(j=\overline{1,3}\right)$ маємо

$$\sum_{j=1}^{3}\alpha_j=0;\ \sum_{j=1}^{3}\alpha_j\left[e_{15}(1+k_j)-\varepsilon_{11}^S l_j\right]=0;\quad \sum_{j=1}^{3}\alpha_j\frac{k_j}{\sqrt{v_j}}=1 \tag{11}$$

Після подальших обчислень, використовуючи (9), отримуємо вирази напружень під круговим диском (при його переміщенні вздовж осі симетрії) у вигляді

$$\sigma_{zz}\left(x,y,0^{\pm}\right)=\mp\frac{\sum_{j=1}^{3}\alpha_j\left[c_{44}^E(1+k_j)+e_{15}l_j\right]}{\sum_{j=1}^{3}\alpha_j\frac{k_j}{\sqrt{v_j}}}\times\left\{-\frac{2w_0}{a\pi}\left[1-\frac{x^2}{a^2}-\frac{y^2}{a^2}\right]^{-1/2}\right\}$$

або

$$\sigma_{zz}\left(r,\theta,0^{\pm}\right)=\mp\frac{\sum_{j=1}^{3}\alpha_j\left[c_{44}^E(1+k_j)+e_{15}l_j\right]}{\sum_{j=1}^{3}\alpha_j\frac{k_j}{\sqrt{v_j}}}\times\left\{-\frac{2w_0}{\pi}\frac{1}{\sqrt{a^2-r^2}}\right\} \tag{12}$$

За допомогою формули (12) зв'язок між переміщенням кругового диску та прикладеної до нього сили отримаємо у вигляді

$$P=\iint_{\Omega}\left[\left(\sigma_{zz}\right)_{z=0^-}-\left(\sigma_{zz}\right)_{z=0^+}\right]dxdy=\frac{\sum_{j=1}^{3}\alpha_j\left[c_{44}^E(1+k_j)+e_{15}l_j\right]}{\sum_{j=1}^{3}\alpha_j\frac{k_j}{\sqrt{v_j}}}8aw_0. \tag{13}$$

З виразу (13) видно, що співвідношення між прикладеною силою і переміщенням у п'єзоелектричному просторі залежить від електропружних властивостей п'єзоелектричного матеріалу та геометричних параметрів жорсткого диску. Відзначимо, що при граничному переході до чисто пружного трансверсально-ізотропного матеріалу з виразів (12), (13) випливають результати роботи [11].

Аналіз результатів числових досліджень. За допомогою отриманих аналітичних виразів вивчимо розподіл напружень під жорстким диском, а також вплив зв'язаності силових і електричних полів на переміщення диску у матеріалі. Скористаємось даними роботи [5], у якій наведено властивості ряду п'єзокерамічних матеріалів.

Після проведення обчислень отримуємо, що для того, щоб здійснити переміщення жорсткого диску кругової форми на одне й теж значення вздовж осі симетрії матеріалу для різних п'єзоелектричних матеріалів потрібно прикласти різні значення сили P. Так, сила P для матеріалів PZT-7A, PZT-5H перевищує її відповідне значення для здійсненні такого ж переміщення у матеріалі PZT-5 на 26,02%, 36,81%.

Вивчимо також вплив зв'язаності силових і електричних полів на переміщення кругового диску у п'єзоелектричному просторі. Для цього проведемо порівняння переміщення диску у електропружному матеріалі та чисто пружному трансверсально-ізотропному матеріалі, який має такі ж самі пружні властивості, що й електропружний матеріал. В результаті порівняння знаходимо, що для того, щоб перемістити круговий диск у чисто пружному трансверсально-ізотропному просторі потрібно прикласти меншу за значенням силу. Так для матеріалів PZT-5, PZT-7A, PZT-5H відношення P^{Elast} / P^{Piezo} = 61,39%, 64,99%, 69,21%.

На рис.2 відображено вплив зв'язаності силових і електричних полів на розподіл напружень під круговим диском при його переміщенні у електропружному просторі. Лінія 1 на рис.2 відповідала випадку переміщення диску у п'єзоелектричному матеріалі PZT-5H, а лінія 2 – переміщенню у чисто пружному трансверсально-ізотропному матеріалі, пружні властивості якого співпадають з властивостями електропружного матеріалу PZT-5H.

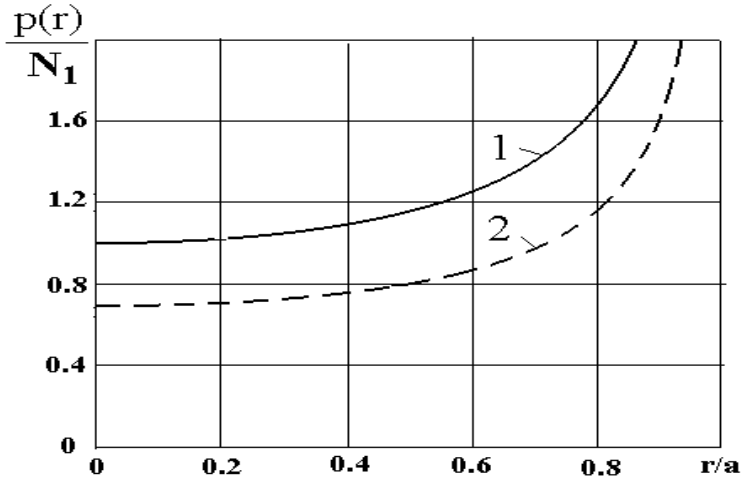


Рисунок 2 – Розподіл напружень при переміщенні кругового диску
Figure 2 – Stress distribution for displacement of a circular disc

На рис. 2 було використано позначення а значення $N_1 = 2N^*\delta/(\pi a)$, де N^* визначалось виразом $N^* = \dfrac{1}{\left(\sum\limits_{j=1}^{3}\alpha_j \dfrac{k_j}{\sqrt{v_j}}\right)} \sum\limits_{j=1}^{3}\alpha_j \left[c_{44}^E(1+k_j)+e_{15}l_j\right]$.

Видно, що зв'язаність силових і електричних полів суттєво впливає на переміщення жорсткого диску вздовж осі симетрії електропружного матеріалу, значно зменшуючи його у порівнянні з чисто пружним трансверсально-ізотропним матеріалом (при однаковій силі *P*). Вплив зв'язаності полів на розподіл напружень під диском для п'єзокерамічного матеріалу PZT-7A - близько 35% (у порівнянні з чисто пружним матеріалом, з тими ж пружними характеристиками, що й електропружний матеріал PZT-7A).

Відзначимо, що у частиннному випадку, коли жорсткий круговий диск переміщується у пружному трансверсально-ізотропному просторі (вздовж осі симетрії матеріалу), з отриманих результатів випливають дані робіт [11, 12].

Висновки. У роботі за допомогою строгої математичної моделі, що враховує зв'язаність силових і електричних полів, проведено математичне та комп'ютерне моделювання розподілу напружень під жорстким круговим диском при його переміщенні у п'єзоелектричному просторі вздовж осі симетрії матеріалу. Проведено комп'ютерне моделювання, досліджено вплив електропружних властивостей матеріалу і геометричних параметрів диску на розподіл напружень. Виявлено значний вплив зв'язаності силових і електричних полів на напружений стан, що обмежує можливості використання спрощених підходів та теорій для задач характерного класу, а потребує використання строгої математичної моделі (з врахуванням зв'язаності полів).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Dai L. Stress concentration at an elliptic hole in transversely isotropic piezoelectric solids / Guo W., Wang X. // Int. J. Solids and Struct. – 2006. – 43, № 6. – P. 1818–1831.
2. Hodes A.Y. A contact zone approach for an arc crack at the interface between two electrostrictive materials / Loboda V.V. // Int. J. Solids Structures. – 2017. – 128, № 1. – P.262–271.
3. Kaloerov S.A. Determination of intensity factors for stresses, induction and field strength in multi-connected electro - elastic anisotropic media / Kaloerov S.A. // Int. Appl. Mech. – 2007. – 43, № 6. – P. 77–84.
4. Karnaukhov V.G. Critical electric load on a hinged thermoviscoelastic rectangular plate with piezoelectric sensors and actuators / Kozlov V.I., Karnaukhova T.V. // Int. Appl. Mech.– 2019.– 55, № 6.– P. 596–600.
5. Kirilyuk V.S. On the relationship between the solutions of static contact problems of elasticity and electroelasticity for a half-space / Kirilyuk V.S. // Int. Appl. Mech. – 2006. - 42, № 11. – P.1256–1269.
6. Kirilyuk V.S. Stress state of an orthotropic piezoelectric body with a triaxial ellipsoidal inclusion subject to tension crack / Kirilyuk V.S., Levchuk O.I. // Int. Appl. Mech. – 2019. – 55, №. 3. – P.305–310.
7. Kyryliuk V.S. Stress state of an orthotropic electroelastic medium with an arbitrarily oriented elliptic crack under uniaxial tension / Kirilyuk V.S., Levchuk O.I. // Int. Appl. Mech. – 2021. – 57, №. 1. – P.53–62.
8. Podil'chuk Yu.N. Representation of the general solution of statics equations of the electroelasticity of a transversally isotropic piezoceramic body in terms of harmonic functions / Podil'chuk Yu.N.. // Int. Appl. Mech. – 1998. – 34, №. 7. – P.623–628.
9. Podil'chuk Yu.N. Exact analytical solutions of static electroelastic and thermoelectroelastic problems for a transversely isotropic body in curvilinear coordinate systems crack / Podil'chuk Yu.N.. // Int. Appl. Mech. – 2003. – 39, №. 2. – P.132–170.
10. Zhao M.H. Extended displacement discontinuity method for analysis of cracks in 2D piezoelectricsemiconductors / Zhao M.H., Pan Y.B, Fan C.Y., Xu G.T. // International Journal of Solids and Structures. - 2016. – 94–95, №. 1. – P. 50-59)
11. Selvadurai, A.P.S. On the displacement of a penny-shaped rigid inclusion embedded in a transversely isotropic elastic medium / Selvadurai A.P.S. // Solid Mechanics Archives – 1979. –4, №.3, – P.163-172.
12. Selvadurai, A.P.S. Asymmetric displacements of a rigid disc inclusion embedded in a transversely isotropic elastic medium of infinite extent / Selvadurai A.P.S. // Int. J. Eng. Sci. – 1980. – 18, №. 7. – P.979-986.

REFERENCES

1. Dai L., Guo W., Wang X. (2006) Stress concentration at an elliptic hole in transversely isotropic piezoelectric solids. *Int. J. Solids and Struct.*, 6 (43), 1818–1831.
2. Hodes A.Y., Loboda V.V. (2017) A contact zone approach for an arc crack at the interface between two electrostrictive materials. *Int. J. Solids Structures*, 1 (128), 262–271.
3. Kaloerov S.A. (2007) Determination of intensity factors for stresses, induction and field strength in multi-connected electro - elastic anisotropic media. *Int. Appl. Mech.* 6 (43), 77–84.
4. Karnaukhov V.G., Kozlov V.I., Karnaukhova T.V. (2019) Critical electric load on a hinged thermoviscoelastic rectangular plate with piezoelectric sensors and actuators. *Int. Appl. Mech.* 6 (55), 596–600.

5. Kirilyuk V.S. (2006) On the relationship between the solutions of static contact problems of elasticity and electroelasticity for a half-space. *Int. Appl. Mech.,* 11 (42), 1256–1269.

6. Kirilyuk V.S. Levchuk O.I. (2019) Stress state of an orthotropic piezoelectric body with a triaxial ellipsoidal inclusion subject to tension crack. *Int. Appl. Mech.* 3 (55), 305–310.

7. Kyryliuk V.S., Levchuk O.I. (2021) Stress state of an orthotropic electroelastic medium with an arbitrarily oriented elliptic crack under uniaxial tension. *Int. Appl. Mech.,* 1 (57), 53–62.

8. Podil'chuk Yu.N. (1998) Representation of the general solution of statics equations of the electroelasticity of a transversally isotropic piezoceramic body in terms of harmonic functions. *Int. Appl. Mech.,* 7 (34), 623–628.

9. Podil'chuk Yu.N. (2003) Exact analytical solutions of static electroelastic and thermoelectroelastic problems for a transversely isotropic body in curvilinear coordinate systems crack. *Int. Appl. Mech.,* 2 (39), 132–170.

10. Zhao M.H. (2016) Extended displacement discontinuity method for analysis of cracks in 2D piezoelectricsemiconductors. *International Journal of Solids and Structures*, 1 (94–95), 50-59.

11. Selvadurai, A.P.S. (1979.) On the displacement of a penny-shaped rigid inclusion embedded in a transversely isotropic elastic medium. *Solid Mechanics Archives*, 3 (4), 163-172.

12. Selvadurai, A.P.S. (1980) Asymmetric displacements of a rigid disc inclusion embedded in a transversely isotropic elastic medium of infinite extent. *Int. J. Eng. Sci.,* 7 (18), 979-986.

РЕФЕРАТ

Кирилюк В.С. Математичне та комп’ютерне моделювання напруженого стану при переміщенні жорсткого кругового диску у п’єзоелектричному просторі / В.С. Кирилюк, О.І. Левчук, В.В. Гавриленко, М.Б. Вітер // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

За допомогою математичної моделі, яка враховує зв’язаність силових і електричних полів у п’єзоелектричних тілах, вивчено розподіл напружень, що виникає при переміщенні жорсткого тонкого кругового диску вздовж осі симетрії електропружного трансверсально-ізотропного матеріалу. Точний розв’язок просторової задачі електропружності отримано на основі представлення розв’язку статичних рівнянь електропружності для трансверсально-ізотропного тіла через гармонійні функції і використанням гармонічного потенціалу спеціального вигляду. Як частинний випадок, із знайденого аналітичного розв’язку випливає вираз для напруженого стану у пружному трансверсально-ізотропному матеріалі при переміщенні жорсткого кругового диска. Проведено комп’ютерне моделювання, вивчено вплив зв’язаності силового та електричного полів на розподіл напружень під жорстким круговим диском.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, КОМП’ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, П’ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИЙ ПРОСТІР, ЖОРСТКИЙ КРУГОВИЙ ДИСК, ЕЛЕКТРИЧНИЙ І НАПРУЖЕНИЙ СТАН, РОЗПОДІЛ НАПРУЖЕНЬ, ЕФЕКТ ЗВ’ЯЗАНОСТІ ПОЛІВ.

ABSTRACT

Kirilyuk V.S., Levchuk O.I., Gavrilenko V.V., Viter M.B. Mathematical and computer simulation of the stress state caused by the displacement of a rigid circle disc in a piezoelectric space. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

Using the mathematical model that takes into account the coupling of force and electric fields in piezoelectric bodies, the stress distribution that occurs when a rigid thin circle disk moves along the axis of symmetry of an electroelastic transversely isotropic material is studied. The exact solution of the space problem of electroelasticity is obtained on the basis of the solution representing of the static equations of electroelasticity for a transversely isotropic body through harmonic functions and using a harmonic potential of a special type. As special cases, from the found analytical solution follow the expressions for evaluating the stress state in an elastic transversely isotropic material for the displacement of a circle hard disk. Computer simulation have been carried out, the influence of the coupling of the force and electric fields on the distribution of stresses under a rigid circle disk.

KEY WORDS: MATHEMATICAL MODEL, COMPUTER SIMULATION, PIEZOELECTRIC SPACE, HARD CIRCLE DISK, ELECTRICAL AND STRESS STATE, STRESS DISTRIBUTION, FIELD COUPLING EFFECT.

АВТОРИ:

Кирилюк Віталій Семенович, Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАНУ, д.ф.-м.н., с.н.с., провідний науковий співробітник, відділ теорії коливань, e-mail: kirilyuk_v@ukr.net, . тел. +380445967715, Україна, 03057, м. Київ, вул. Нестерова, 3orcid.org/0000-0002-8513-0378

Левчук Ольга Іванівна, Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАНУ, к.ф.-м.н., с.н.с., старший науковий співробітник, відділ теорії коливань, e-mail: 2013levchuk@gmail.com, тел. +38044596 77 15, Україна, 03057, м. Київ, вул. Нестерова, 3, orcid.org/0000-0002-6514-6225

Гавриленко Валерій Володимирович, Національний транспортний університет, д.ф.-м.н., професор, завідувач кафедри інформаційних систем і технологій, факультет транспортних та інформаційних технологій, e-mail: v_gavr@ukr.net, тел. +380503806406, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, orcid.org/0000-0001-9682-4204

Вітер Михайло Богданович, Національний транспортний університет, к.ф.-м.н, доцент, професор кафедри інформаційних систем та технологій, факультет транспортних та інформаційних технологій, e-mail: mbviter@gmail.com, тел. +38- 066-941-39-05, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, orcid.org/0000-0003-4109-005X

AUTHORS:

Kirilyuk Vitaly, S.P. Timoshenko Institute of mechanics of NAS of Ukraine, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, senior researcher, leading researcher, department of oscillation theory, e-mail: kirilyuk_v@ukr.net, phone +380445967715, Ukraine, 03057, Kyiv, Nesterova str., 3, orcid.org/0000-0002-8513-0378

Levchuk Olga, S.P. Timoshenko Institute of mechanics of NAS of Ukraine, Ph.D., senior researcher, senior researcher, department of oscillation theory, e-mail: 2013levchuk@gmail.com, phone +380445967715, Ukraine, 03057, Kyiv, Nesterova str., 3, orcid.org/0000-0002-6514-6225

Gavrilenko Valeriy, National Transport University, doctor of physical and mathematical sciences, professor, head of department of information systems and technologies, faculty of transport and information technologies, e-mail: v_gavr@ukr.net, phone +380503806406 Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., 1, orcid.org/0000-0001-9682-4204

Viter Mykhailo, National Transport University, Ph.D., associated professor, professor of department of information systems and technologies, faculty of transport and information technologies, e-mail: mbviter@gmail.com, phone +380669413905, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., 1, orcid.org/0000-0003-4109-005X.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

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

Зайцев Є.О, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник, Інститут електродинаміки НАН України, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Prokudin G.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of International Transport and Customs Control, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Zaitsev E.A., Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Leading Researcher, Institute of Electrodynamics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

УДК 629.341:629.048
UDC 629.341:629.048
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-234-241

ПІДВИЩЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ АВТОМОБІЛЯ ЗА РАХУНОК ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ МАСИ АВТОПОЇЗДА

Кошарний О.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, o.kosharnyi@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5969-4858

Кошарний М.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, kosarnijmikola@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3267-4336

IMPROVING THE FUEL EFFICIENCY OF THE CAR BY CHOOSING THE OPTIMAL WEIGHT OF THE ROAD TRAIN

Kosharnyi O.M., Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, o.kosharnyi@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5969-4858

Kosharnyi M.M., Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, kosarnijmikola@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3267-4336

Постановка проблеми.

В наш час ведуться постійні роботи над конструкцією автомобілів, які б дозволяли зменшити собівартість перевезень, оптимізувати експлуатаційні характеристики вузлів, агрегатів та систем автомобіля.

Значну частину собівартості перевезень на автомобільному транспорті становлять витрати на паливо. Чим менше автомобіль втрачає палива, тим менша собівартість перевезень. У зв'язку з цим постановка питань, пов'язаних зі зниженням витрати палива автомобілями, є досить актуальною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Паливною економічністю, ефективністю експлуатації автомобіля займалися вчені як Говорущенко Н.Я., Гришкевич А.И., Кошарний М.Ф., Сахно В.П., Чуйко С.П. та ін.

В сучасних умовах вибір автомобілів здійснюється в основному орієнтуючись на престиж марки, їх вартість і та ін. Але в процесі експлуатації виявляється, що придбаний автомобіль має великі в порівнянні з конкурентами експлуатаційні витрати палива, хоча і відповідає вимогам технологічного процесу перевезень.

За таких умов, актуальним є питання аналізу та оцінки конструкції автомобіля і експлуатаційних показників його використання на витрати палива.

Невирішені раніше частини загальної проблеми. У літературі є велика кількість теоретичного матеріалу присвячених цій проблемі, але не розглянуті всі аспекти вирішення поставлених задач.

Наприклад Чуйко С.П. в своїй дисертаційній роботі [3] розглянув питання залежності витрат палива автобуса від кількості перевезених пасажирів.

У зв'язку з цим, велике значення має поглиблений розгляд питання вибору оптимальної маси автомобіля при експлуатації з точки зору отримання найбільшої вигоди за рахунок зменшення витрат палива, з необхідними розрахунками, що дозволить використати теоретичну базу в широкому спектрі технічних параметрів автомобілів і прогнозувати відповідні зміни ефективності їх роботи в умовах експлуатації.

Метою роботи є визначення заходів підвищення ефективності використання автопоїздів за рахунок вибору їх оптимальної маси для зменшення витрат палива. Для досягнення цієї мети, були сформульовані наступні **задачі:**

1.Виконати аналіз конструктивних особливостей автопоїздів.

2.Провести аналіз зміни шляхових витрат палива автопоїзда в залежності від його транспортної продуктивності.

3.Провести дослідження впливу нераціональної маси автомобіля на витрату ним палива.

Виклад основного матеріалу дослідження.

При перевезенні вантажів автомобільним транспортом актуальним є питання обґрунтування маси автопоїздів та витрати ними палива. При здійсненні перевезень на витрати палива автопоїзда впливають багато чинників, основними з яких є: маса автопоїзда, дорожні умови та режим руху. Паливною економічністю називають здатність автомобіля здійснювати перевезення при мінімальному витрачанні палива на кожну одиницю транспортної роботи.

Значну частину собівартості перевезень на автомобілі становлять витрати на паливо. Чим менше автомобіль втрачав палива, тим менша собівартість перевезень.

Паливна економічність безпосередньо залежить від конструкції автомобіля. Вона визначається досконалістю двигуна; передаточними числами коробки передач, радіусом кочення коліс, масою автомобіля та ін.

Паливну економічність автомобіля оцінюють такими показниками: контрольною витратою палива, паливною характеристикою усталеного руху, витратою палива в неусталеному русі, витратою палива в міському циклі на дорозі, витратою палива в магістральному циклі на дорозі, витратою палива в міському циклі на стенді, Паливно-швидкісною характеристика на магістрально-горбкуватій дорозі. середньокілометровою витратою палива. Із наведених вище оціночних показників для автомобіля основними можна вважати перші три і восьмий показники.[4]

Крім того, паливну економічність найпоказовіше характеризують середні експлуатаційні витрати палива в типових для даного автомобіля дорожніх умовах.

Для обґрунтування маси автопоїзда за мінімальними витратами палива використовують динамічні характеристики автомобіля.

Динамічна характеристика представляє собою графіки залежності динамічного фактору автомобіля від швидкості руху.

Динамічний фактор залежить від сил тяги і опору руху повітря та повної ваги автопоїзда [1]:

$$D = \frac{\left(P_m - P_w\right)}{G_{an}} \tag{1}$$

Вага автопоїзда визначається як:

$$G_{an} = \left(M_a + M_в\right)g \tag{2}$$

Сила опору повітря визначається як:

$$P_w = \frac{k \cdot F \cdot V}{3.6} \tag{3}$$

де $k \cdot F$ – фактор обтічності автопоїзда,

Швидкість руху тягача V_i на i-ій передачі визначається по кутовій швидкості колінчастого вала двигуна w_e:

$$V_i\left(w_e\right) = \frac{n_{ei} \cdot 3.14 \cdot r_к}{u_i \cdot 30} \tag{4}$$

Дані по передаточним числам механічної частини трансмісії визначається з довідкової літератури по зовнішній швидкісній характеристиці двигуна тягача $M_e\left(w_e\right)$.

Сила тяги визначається в залежності від зміни моменту M_{ei}, по формулі:

$$P_m = \frac{M_к}{r_к} = \frac{M_e \cdot u_i \cdot \eta_t}{r_к}, \tag{5}$$

де $M_к$ – сумарний момент на ведучих колесах;

M_e – ефективний момент двигун-функція кутової швидкості колінчастого вала;

u_i – передавальне число трансмісії на i-ій передачі.

Для визначення ефективного моменту двигуна треба визначити зовнішню швидкісну характеристику двигуна.

Зовнішня швидкісна характеристика двигуна представляє собою графік залежності моменту M_e, потужності N_e, питомих витрат палива g_e від числа оборотів колінчатого валу двигуна n_e.

Значення моменту двигуна M_e залежить від режиму його роботи, і може бути описано по зовнішній характеристиці двигуна, що одержана на стендових випробовуваннях, або аналітично

(приблизно) по формулі повної параболи, якщо відома максимальна потужність і частота обертів двигуна при максимальній потужності.

Експериментальна крива $M_e = f(n_e)$, згідно з теорією автомобіля описується наступним рівнянням:

$$M_{ei} = A + B \cdot w_{ei} + C \cdot w_{ei}, \quad (6)$$

де A, B, C – постійні емпіричні коефіцієнти для даного двигуна, що визначаються з аналізу кривий $M_e(w_e)$, розраховуються по спеціальній формулі повної параболи.

Кутова швидкість колінчатого валу (w_{ei}) визначається по формулі:

$$w_{ei} = \frac{n_{ei} \cdot 3.14}{30} \quad (7)$$

Другим етапом є визначення зміни динамічної характеристики через коефіцієнт опору дороги ψ .

Коефіцієнт опору дороги руху тягача ψ – залежить від стану дорожнього покриття (коефіцієнту опору кочення колеса f) і нахилу дороги i :

$$\psi = f + i, \quad (8)$$

де f – коефіцієнт опору коченню коліс;

i – нахил дороги.

Нахил визначається як відношення висоти ділянки h до довжини S :

$$i = h/S, \quad (9)$$

В паспорті дороги нахил визначається в промілях або відсотках, (наприклад, нахил дорівнює 30 проміль або 3 % то $i = 0.03$).

Для того що автомобіль міг рухатись в даних дорожніх умовах треба, щоб динамічний фактор перевищував коефіцієнт опору дороги.

$$D \geq \psi = f + i, \quad (10)$$

На графіку залежності динамічного фактора від швидкості руху, ми відкладаємо задане значення ψ (рис.1).

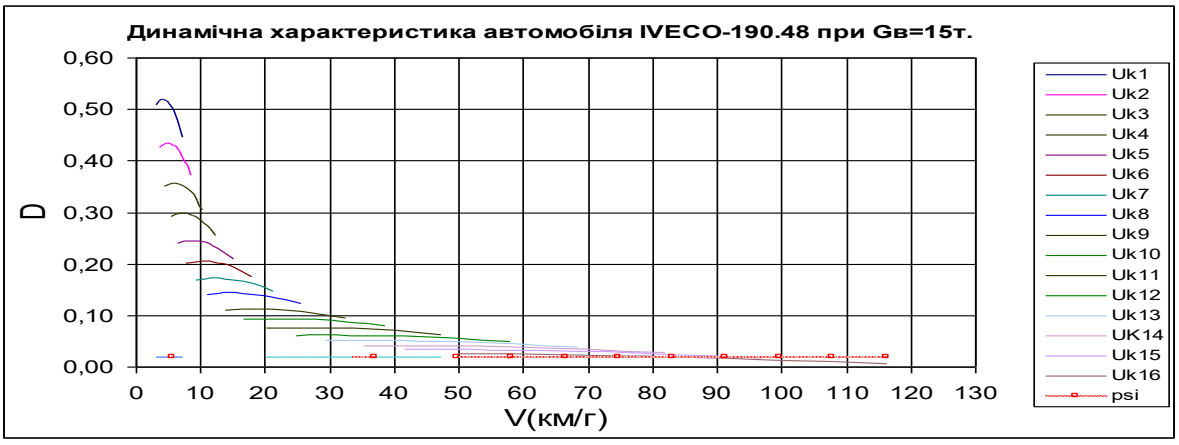


Рисунок 1 – Динамічна характеристика автомобіля IVECO-190.48 при Gв=15т
Figure 1 – Dynamic characteristics of the car IVECO-190.48 at Gv = 15t

По точці перетину цих кривих визначаємо швидкість руху при заданому ψ .

Досконаліть конструкції автомобіля оцінюють по витраті палива Q (л), віднесеному до довжини шляху (пробігу) в км.

Шляхові витрати палива за 100км пробігу визначаються по формулі [2]:

$$Q_{ш} = \frac{\left(\psi \cdot G_{an} + \dfrac{k \cdot F \cdot V^2}{12.96}\right) \cdot g_e \cdot K_N \cdot K_V}{2700 \cdot \eta_m \cdot \rho}, \qquad (11)$$

де V – скоректована швидкість руху, $V = V \cdot 0{,}75$;

K_N, K_V – коефіцієнти, які залежать від ступеню використання потужності і частоти обертання колінчатого вала двигуна.

При оцінці ефективності використання автомобілів можна використати наступні показники: кількість палива на 100ткм; кількість палива на 1 ткм та ін.

Але найбільш об'єктивним показником є питомі витрати палива Qп, тобто витрати палива на 1км, віднесені до одиниці транспортної продуктивності автопоїзда, Пі (ткм/год).

$$Qn = QΨi / Пi, \qquad (12)$$

де $QΨi$ – витрати палива автопоїздом в літрах на проїзд 1 км маршруту, який характеризується ймовірним коефіцієнтом $Ψi$,

$Пi$ – продуктивність автопоїзда на даній ділянці маршруту,

Продуктивність автопоїзда визначається за формулою:

$$П = Мв \cdot Vm, \qquad (13)$$

де Мв – маса вантажу.

Визначення витрат палива Q_w віднесених до транспортної роботи Wm та продуктивності $П$ при різних значеннях маси вантажу – $Мв$:

$$Q_w = \frac{Q_{ш} \cdot 100}{M_в} \text{ (л/ткм)}, \qquad (14)$$

Побудуємо графік зміни витрат палива Q_w (л/(ткм/год) віднесених до транспортної роботи Wm – рис. 2.

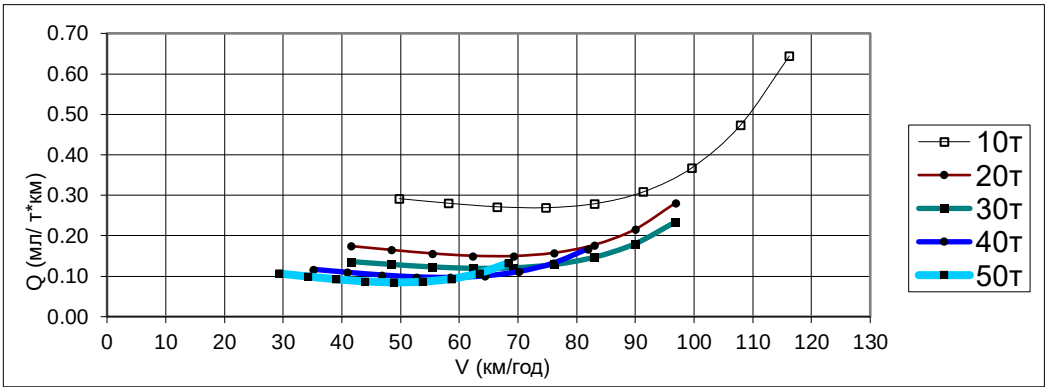


Рисунок 2 – Графік зміни витрат палива *Qw* (мл/ткм), від транспортної роботи автопоїзда *Wm*
Figure 2 – Graph of change in fuel consumption Qw (ml / tkm),
from the transport operation of the road train Wt

Далі побудуємо графік зміни витрат палива Q_w (л/(ткм/год) в залежності від продуктивності автопоїзда $П$ – рис. 3.

Розрахунки, виконані на прикладі автопоїздів у складі тягачів КрАЗ-260 і IVECO-190.48 показують, що питомі витрати палива на маршруті Qnn з сумарним коефіцієнтом опору в межах $Ψn$ = 0.04-0.06 при масі вантажу $Мв$ = 40т становлять відповідно 1.8 і 0.8 (мл/(ткм/год)),а при $Мв$ = 70т, Qnn = 8.5 і 2.5 (мл/(ткм/год)).

Вплив спорядженої маси автомобіля на показники паливної економічності розглянемо на прикладі оцінки матеріаломісткості транспортних засобів вітчизняного виробництва та іноземного. Для такого порівняльного аналізу візьмемо автомобілі одного класу: КрАЗ-6510 і DAF-2700.

Автомобіль КрАЗ-6510 має власну масу 11500т., а вантажопідйомність –13500т. Автомобіль DAF-2700 має власну масу 10700т., а вантажопідйомність – 14200т. Різниця між масою і вантажопідйомністю автомобіля КрАЗ-6510 складає 2 т., а для автомобіля DAF-2700 відповідно – 3,5 т. Можна зробити висновок, що автомобіль КрАЗ-6510 перевозить постійно 1,5т. зайвого металу, а коли віднести ці 1,5т до річної програми випуску автомобілів, то це буде приводити до значних перевитрат металу.

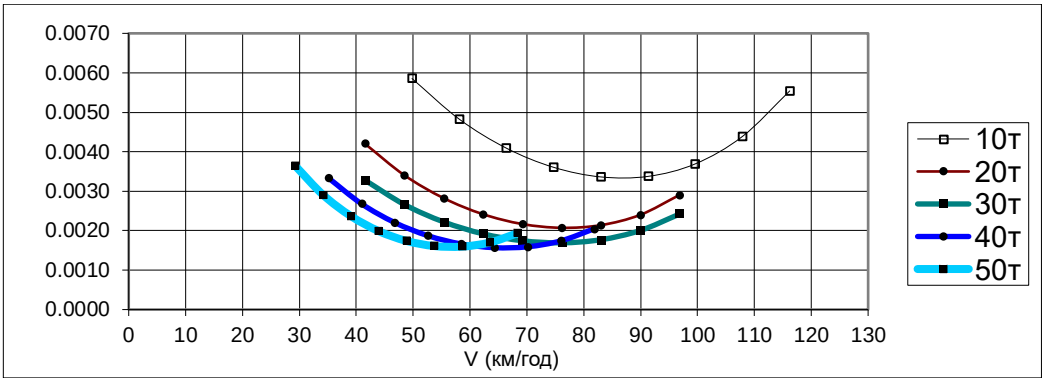


Рисунок 3 – Графік зміни витрат палива *Qw* (мл/(ткм/год)), від продуктивності автопоїзда *П*
Figure 3 – Graph of fuel consumption change *Qw* (ml / (tkm / h)), from the productivity of the road train *П*

В експлуатаційних умовах надлишкова маса негативно відображається на цілому ряді показників. Перш за все, автомобіль КрАЗ має занижені потенційні можливості у виконанні транспортної роботи. Для перевезення надлишкової маси необхідно додатково витрачати паливо. Для прикладу проведемо розрахунок перевитрат палива, виходячи з того, що перевезення надлишкової маси створює додатковий опір руху автомобілів. Для цього визначимо потужність двигуна, яка витрачається на подолання цього опору. За відомою потужністю виконаємо розрахунок додаткових витрат палива, які складають для 1000 одиниць автомобілів КрАЗ при роботі їх протягом робочого дня.

Оцінимо розрахунками витрати палива на транспортування надлишкової маси автомобіля.

Додатковий опір руху автомобіля можна розрахувати за формулою:

$$\Delta P_\psi = \psi \cdot \Delta G_a, \qquad (15)$$

де ψ – сумарний питомий опір руху автомобіля, кгс/кг; згідно з роботою для рівнинної місцевості $\psi = 0.027$;

$$\Delta P_\psi = 0{,}027 \cdot 1500 = 40.5 \text{ кгс}.$$

Потужність, необхідна для подолання цього опору, визначається за формулою:

де P_ψ – сила опору руху, яка дорівнює для взятого прикладу ΔP_ψ
V – лінійна швидкість руху автомобіля, км/год.

$$N_\psi = P \cdot V / 75 \cdot 3, \qquad (16)$$

Для розрахунків приймаємо максимальну швидкість автомобіля КрАЗ-6510, яка дорівнює 80 км/год:

$$N_\psi = 40.5 \cdot 80 / 75 \cdot 3{,}67 = 12 \text{ к.с.}$$

Витрати палива для подолання цього додаткового опору визначаються за формулою:

$$Q_s = (q_e \cdot N_\psi) / V_a, \qquad (17)$$

де q_e – питомі витрати палива, г/к.с.год.

Для дизельних двигунів питомі витрати палива складають в межах 153 г/к.с.год. Тоді кількість палива буде:

$$Q_s = (153 \cdot 12) 80 = 22.95 \text{ г/км}$$

За формулою перевитрати палива відносяться на 1км, пройденого автомобілем шляху. Визначимо далі величину перевитрат палива протягом зміни. Дослідженнями встановлено, що пробіг автомобіля КрАЗ – 6510 при перевезенні будівельних вантажів змінюється в межах 170 – 190 км. Для розрахунків приймемо пробіг за зміну рівним 180 км. Тоді величина перевитрат палива буде:

$$Q_з = Q_s \cdot l_{сд} = 22.95 \cdot 180 = 4.1 \text{ кг}$$

Виразимо також цю кількість палива у літрах:

$$Q^1_З = Q_з / q, \qquad (18)$$

де:q – вага одного літра дизельного палива, рівна 0,85 кг/л.

Тоді:

$$Q^1_З = 4,1/0,85 = 4.82 \text{ л},$$

Віднесемо цю кількість палива на 1000 одиниць автомобілів КрАЗ.

Величина перевитрат палива для цієї кількості автомобілів складає:

$$Q^1_{З\,1000} = 4.82 \cdot 1000 = 4820 \text{ л}.$$

Ці розрахунки можна віднести за часом до одного місяця чи року. Слід зазначити, що у взятій розрахунковій ситуації не прийняті до уваги інші фактори, які спричиняють збільшення витрат палива.

Для зниження спорядженої маси потрібно, перш за все, ретельно проаналізувати компонувальну схему і масові характеристики всіх вузлів і агрегатів, широко використовувати полегшені і високоміцні матеріали, зокрема спеціальні алюмінієві сплави, високоміцні низьколеговані сталі і пластмаси, створюючи однаково міцні конструкції. Із зарубіжного досвіду, наприклад, фірми «Дженерал Моторс», позитивні результати по зниженню маси досягаються при виготовленні кабіни із спеціального алюмінієвого сплаву з використанням точкового зварювання.

З цих показників витікає, що різниця у витратах палива тягачів різних марок може бути суттєвою, що значно впливає на собівартості перевезень на автомобільному транспорті і відповідно, на ефективність їх використання.

Результати статті можна використовувати при конструюванні і експлуатації автомобілів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кошарний М.Ф. Основи механіки та енергетики автомобіля: Навч. посібник. – Вища шк.., 1992. – 200 с.

2. Гришкевич А.И. Автомобили: теория. Учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 1986. – 208 с.

3.Чуйко С.П. Зниження енергоємності автобусів категорії М3 на міських маршрутах. – Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 274 – Автомобільний транспорт., Київ, 2021.

4. Сахно В.П. та ін. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів. В 3 ч. Ч 1. Динамічність та паливна економічність автотранспортних засобів: [навчальний посібник] /В.П.Сахно, А.П.Костенко, М.І.Загороднов та ін.–Донецьк:Вид-во «Ноулідж» (донецьке відділення), 2014. – 444 с.

5. Литвинов А.С., Фаробин Я.И. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: Учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство». – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.

6. Жаров К. С. До вибору типу автомобіля-тягача триланкового автопоїзда за показниками паливної економічності / К. С. Жаров // Автошляховик України. – 2008. – № 4. – С. 17–21.

7. Сахно В. П. Вплив конструктивних параметрів автопоїзда на його продуктивність та економічність / В. П. Сахно, К. С. Жаров // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2010. – № 2. – С. 68–78.

8. Кошарний М.М., Кошарний О.М., Годованюк П.Д. Покращення паливної економічності автомобіля за рахунок зниження його спорядженої маси // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал. Частина 1. Серія «Технічні науки». – Випуск 17. 2016. С.27–33.

REFERENCES

1. Kosharny M.F. Osnovy mehaniky ta energetuki avtomobiliv. [Fundamentals of mechanics and energy of the car]: Kyiv: Vyscha shkola.1992. – 200p.

2. Grishkevich A.I (1986). Avtomobily: teoriya. [Cars: theory.] Moscow, Vysshaya shkola,1986. – 208p.

3.Chuiko S.P. Znyzhennya energoyemnosti avtobusiv kategorii M3 na miskyh marshrutah.[[Reduction of energy consumption of M3 buses on urban routes]. – The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of philosophy on a specialty 274 – Motor transport., Kiev, 2021.

4. Sakhno V.P.Teoriya ekspluatatsiynuh svoistv.[Ekspluatatsiyni vlastyvosti avtotransportnyh zasobiv. [Performance properties of vehicles.] At 3 p.m. Part 1. Dynamics and fuel efficiency of motor vehicles: [textbook] / V.P. Sakhno, A.P. Kostenko, M.I. Zagorodnov, etc. – Donetsk: Publishing House «Knowledge» (Donetsk branch), 2014. – 444 p.

5. Litvinov A.S., Farobin J.I. Car: Theory of operational properties: A textbook for universities in the specialty «Cars and Automotive». – M.: Mashinostroenie, 1989. – 240 p.

6. Zharov K.S. Choice and substantiation of the type of car-tractor of a large-capacity road train: dis... cand. tech. science: 05.22.02. Kyiv, 2014. 166 p.

7. Sakhno V.P. Influence of constructive parameters of a road train on its productivity and efficiency / V.P. Sakhno, K.S. Zharov // Bulletin of the Donetsk Academy of Motor Transport. – 2010. – № 2. – P. 68–78

8. Kosharny M.M, Kosharny O.M, Godovanyuk P.D. Improving the fuel efficiency of the car by reducing its equipment mass // Project Management, Systems Analysis and Logistics: Scientific Journal. Part 1. Series «Technical Sciences». – Issue 17. 2016. P.27–33.

РЕФЕРАТ

Кошарний О.М. Підвищення паливної економічності тягача автомобіля за рахунок вибору оптимальної маси автопоїзда / О.М. Кошарний, М.М. Кошарний // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

В статті розглянутий вплив маси автопоїзда на його паливну економічність.

Об’єкт дослідження – дорожні транспорті засоби, які знаходяться в експлуатації.

Метод дослідження – аналіз паливної економічності автомобілів.

Мета роботи – визначення заходів підвищення ефективності використання транспортних засобів за рахунок зниження витрати палива.

При перевезенні вантажів автомобільним транспортом актуальним є питання обґрунтування маси автопоїздів та витрати ними палива. При здійсненні перевезень на витрати палива автопоїзда впливають багато чинників, основними з яких є: маса автопоїзда, дорожні умови та режим руху.

При оцінці ефективності використання автомобілів можна використати наступні показники: кількість палива на 100ткм; кількість палива на 1 ткм та ін.

Але найбільш об'єктивним показником є питомі витрати палива Qп, тобто витрати палива на 1км, віднесені до одиниці транспортної продуктивності автопоїзда, Пі (ткм/год).

Розрахунки, виконані на прикладі автопоїздів у складі тягачів КрАЗ-260 і IVECO-190.48 показують, що питомі витрати палива на маршруті *Qпп* з сумарним коефіцієнтом опору в межах Ψп = 0.04-0.06 при масі вантажу Мв = 40т становлять відповідно 1.8 і 0.8 (мл/(ткм/год)),а при Мв = 70т, Qпп = 8.5 і 2.5 (мл/(ткм/год)).

В роботі проведений розрахунок витрати палива в залежності від спорядженої маси автомобілів різних марок, порівнюючи автомобілі КрАЗ-6510 та DAF-2700.

Для зниження спорядженої маси потрібно, перш за все, ретельно проаналізувати компонувальну схему і масові характеристики всіх вузлів і агрегатів, широко використовувати полегшені і високоміцні матеріали.

Результати статті можна використовувати при експлуатації та удосконаленні конструкції автомобілів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СПОРЯДЖЕНА МАСА АВТОМОБІЛЯ, ПАЛИВНА ЕКОНОМІЧНІСТЬ, ОПІР РУХУ, ВИТРАТИ ПАЛИВА, ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

ABSTRACT

Kosharny O.M., Kosharny M.M. Increasing the fuel economy of the car by choosing the optimal weight of the road train. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The article considers the influence of the mass of a road train on its fuel economy.

The object of research is road vehicles that are in operation.

Research method – analysis of fuel efficiency of cars.

The purpose of the work is to determine measures to increase the efficiency of vehicle use by reducing fuel consumption.

When transporting goods by road, the issue of substantiation of the mass of road trains and their fuel consumption is relevant. When carrying out transportation, the fuel consumption of a road train is influenced by many factors, the main of which are: the weight of the road train, road conditions and traffic regime.

The following indicators can be used to assess the efficiency of car use: amount of fuel per 100 km; amount of fuel per 1 tkm, etc.

But the most objective indicator is the specific fuel consumption Qp, ie fuel consumption per 1 km, attributed to the unit of transport productivity of the road train, Pi (tkm / h).

Calculations performed on the example of road trains in the tractors KrAZ-260 and IVECO-190.48 show that the specific fuel consumption on the route Qpp with a total coefficient of resistance in the range Ψp = 0.04-0.06 at a load weight Mv = 40t is 0.8 and 0.8 ml, respectively. (tkm / year)), and at

Mv = 70t, Qpp = 8.5 and 2.5 (ml / (tkm / year)).

The calculation of fuel consumption depending on the equipped weight of cars of different brands is compared, comparing KrAZ-6510 and DAF-2700 cars.

To reduce the curb weight, you must, first of all, carefully analyze the layout and mass characteristics of all components and units, widely use lightweight and high-strength materials.

The results of the article can be used in the operation and improvement of car design.KEY WORDS: CAR EQUIPMENT, FUEL ECONOMY, MOVEMENT RESISTANCE, FUEL CONSUMPTION, EFFICIENCY OF OPERATION

АВТОРИ:

Кошарний Олександр Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Транспортні системи та безпека дорожнього руху», o.kosharnyi@gmail.com, тел. +380442804885 Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1. к. 435, orcid.org/0000-0002-5969-4858

Кошарний Микола Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Технічна експлуатація автомобілів», kosarnijmikola@gmail.com, тел. +380442805621 Україна, 01010, м. Київ, вул. М.Омеляновича-Павленка 1. к. 410, https://orcid.org/0000-0003-3267-4336

AUTHORS:

Kosharny Oleksandr M., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of Transport Systems and Road Safety, o.kosharnyi@gmail.com, tel. +380442804885 Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovich-Pavlenko 1.of. 435, orcid.org/0000-0002-5969-4858.

Kosharny Mykola M., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of Technical Operation of Cars, kosarnijmikola@gmail.com, tel. +380442805621 Ukraine, 01010, Kyiv, vul.M. Omelyanovich-Pavlenko 1. room 410, https://orcid.org/0000-0003-3267-4336

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Малишев В.В., доктор технічних наук, професор, Відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна», директор Інженерно технологічного інституту, Київ, Україна.

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

REVIEWERS:

Malyshev V.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Open International University of Human Development «Ukraine», Director of the Institute of Engineering Technology, Kyiv, Ukraine.

Prokudin G.S, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of International Transport and Customs Control, Kyiv, Ukraine.

УДК 656.05
UDC 656.05
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-242-247

МЕТОДИКА МОНІТОРИНГУ ТРАНСПОРТНОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМОБІЛІВ ДЛЯ МІЖМІСЬКИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Крупнов В.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна, sniv@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2111-4678

METHODOLOGY FOR MONITORING THE TRANSPORT ENERGY EFFICIENCY OF VEHICLES FOR INTERCITY CARGO TRANSPORTATION

Krupnov V.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine, sniv@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2111-4678

Постановка задачі. Вантажні перевезення у приміському і міжміському сполученнях складають 68% у загальному об'єму вантажопотоку. На рисунку 1 показана структура парку рухомого складу за вантажністю автотранспортних засобів, який використовується для цих перевезень в країні. З рисунку видно, що доля двох груп автомобілів вантажністю до 0,5 тон і від 0,5 до 2,0 т – малої вантажопідйомності (АМВ) складає 29%. У зв'язку з цим, на прикладі аналізу АМВ розроблена методика моніторингу і аналізу транспортної енергоефективності автомобілів для приміських і міжміських вантажних перевезень.

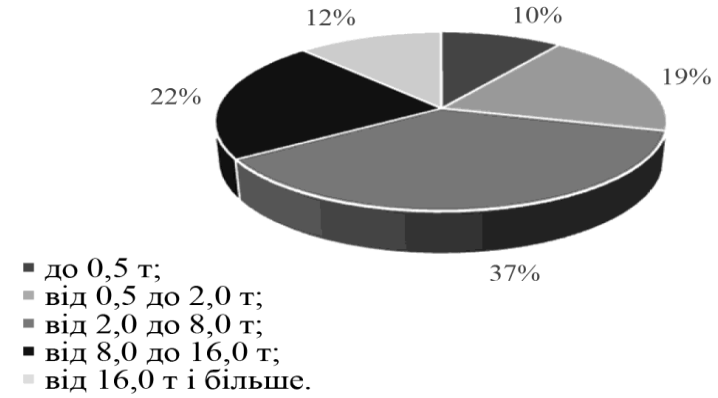


Рисунок 1 – Структура парку рухомого складу, який використовується для приміських і міжміських перевезень в країні [3]
Figure 1 – The structure of the rolling stock used for suburban and long-distance transportation in the country

Кожного року можна спостерігати збільшення різновидів АМВ, які випускаються автобудівельними фірмами. На них є попит як в Україні, так і в усьому світі. З кожним роком зростає доля АМВ в структурі парку рухомого складу України. Особливостями процесів автомобільних перевезень з використанням АМВ є: велика різноманітність модифікацій АМВ та їх технічних параметрів, відносно високі рівні питомих показників енергоємності та ресурсоємності транспортних процесів. У зв'язку з великою кількістю модифікацій АМВ і різноманіттям умов міжміських перевезень у перевізників виникає потреба обґрунтування АТЗ, що відповідають його техніко-технологічним вимогам згідно концепції експлуатаційно-технологічного енргозбереження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз придатності техніко експлуатаційних параметрів АМВ до енергозберігаючих автотранспортних технологій є метою транспортно-технологічного моніторингу і обґрунтування енергоефективності АМВ. Існуючі методи організації автомобільних перевезень [1] не дозволяють вирішувати задачі формування енергозберігаючих транспортних технологій з комплексним урахуванням змін важливих факторів транспортного процесу (конструктивних, дорожніх, енергетичних, транспортно-експлуатаційних). Такий недолік є результатом занадто спрощеного підходу, який прийнятий в теорії організації автомобільних перевезень. Використовується теоретична схема віртуального транспортування вантажів, в якої є відсутнім матеріальний продукт автотранспорту. Для аналізу об'єму транспортної роботи визначається кількість віртуально-облікового продукту, який вимірюється у тонно-кілометрах. При цьому автомобіль розглядається як рухомий склад з властивостями віртуально рухомого кузову. Крім

того, не враховуються властивості дороги як поверхні кочення. Математичні моделі показників продуктивності та противитратної ефективності автомобільних перевезень засновані на гносеологічному принципі незмінності параметрів техніки та технології перевезень та їх неврахованості [1]. У зв'язку з вищевикладеним для вирішення поставленої задачі використовується теорія енергоресурсної ефективності автомобіля узагальненого типу [2].

Виклад основного матеріалу дослідження. Технологічна недостатність теорії транспортних процесів [1] обумовлена принципом незмінності і неврахованості параметрів автомобілів і автотранспортної технології. Складний автомобіль розглядається як віртуально-рухомий склад, що характеризується лише вантажопідйомністю. Замість моделі автотранспортної операції формалізована модель транспозиційної операції (фіксуються тільки дві термінальні події «відправлення – прибуття» та факт доставки в кінцевий термінал без врахування процесу адаптивного функціонування автомобіля) Як наслідок, з аналізу випадають фізичні, технологічні, технічні та дорожні фактори реальних перевезень. При транспортно-технологічному підході враховуються: комплекс ресурсно-технічних властивостей автомобіля як засобу виробництва фізичного продукту, машинні процедури і процеси автотранспортної технологій [2]. Методика транспортно-технологічного обґрунтування передбачає визначення енергетичних характеристик засобу виробництва в міський, магістральній та еталонній операціях. Краща придатність АМВ до енергозберігаючих технологій визначається шляхом порівняння його енергетичних характеристик з еталонними даними. Також, використовується модель розрахункового маршруту при здійсненні перевезень АМВ, що кількість та клас вантажу, категорію доріг на маршруті та час роботи АМВ в міських та магістральних умовах.

В групу конкуруючих варіантів АМВ було обрано: Renault Master (фургон, який компанія Renault випускає з 1980 року), компактний вантажний фургон Ford Transit Connect, лідер продажу серед фургонів Fiat Ducato, повнорозмірний фургон виробництва концерну General Motors – Chevrolet Express та малотоннажний автомобіль Mercedes-Benz Sprinter.

Основні техніко-експлуатаційні показники обраних АМВ представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Технічні характеристики обраних автомобілів
Table 1 – Technical characteristics of selected cars

№ п/п	Марка авто	Renault Master	Ford Transit Connect	Fiat Ducato	Chevrolet Express	Mercedes-Benz Sprinter
1	Вантажопідйомність, т	1,4	0,7	0,9	1,7	1,2
2	Власна маса, т	2,185	1,65	1,925	2,55	2,1
3	Повна маса, т	3,585	2,35	2,825	4,25	3,3
4	Навантаження на задню вісь, т	3,2	2,3	2,4	1,8	3,5
5	Максимальна потужність, кс	125	120	130	160	130
6	Лінійна норма витрати палива, л/100 км	9,26	8,14	11,07	13,67	7,57
7	Коефіцієнт спорядженої маси	1,56	2,36	2,14	1,5	1,75
8	Витрати палива в міському циклі, л/100 км	9,43	8,28	11,27	13,91	7,1
9	Витрати палива в магістральному циклі, л/100 км	8,2	7,2	9,8	12,1	6,7
10	Час розгону – до 40 км/год, с	5,78	4,11	4,49	5,34	5,16
11	до 60 км/год, с	12,38	8,62	9,48	11,39	10,99
12	до 80 км/год, с	21,61	14,94	16,47	19,28	19,15
13	до 100 км/год, с	33,49	23,07	25,45	30,76	29,65

Моделі енергетичних характеристик та критеріїв транспортної енергоефективності АМВ були введені в електронні таблиці програми Excel.

На основі математичних моделей була вирішена задача впливу експлуатаційних показників на показник енергоефективності. Для транспортно-технологічного обґрунтування були використані коефіцієнт швидкості, паливний коефіцієнт пробігу та показник енергоефективності. Логіка вибору виходить з того, що чим вище показник транспортної енергоефективності АМВ, тим вище технологічний рівень перевезень.

Таблиця 2 – Аналіз впливу експлуатаційних факторів на показники транспортної енергетичної ефективності АМВ на розрахунковому маршруті

Table 2 – Analysis of the impact of operational factors on the indicators of transport energy efficiency of light-duty vehicles on the calculation route

	Показник енергетичної ефективності АТЗ на розрахунковому маршруті									
Коефіцієнти	Коефіцієнт використання вантажопідйомності					Коефіцієнт опору дороги				
АМВ	0,2	0,4	0,6	0,8	1	0,015	0,025	0,035	0,045	0,055
Renault Master	0,136	0,272	0,407	0,543	0,679	0,398	0,3	0,233	0,184	0,147
Ford Transit Connect	0,119	0,239	0,239	0,478	0,478	0,35	0,264	0,205	0,162	0,13
Fiat Ducato	0,099	0,198	0,198	0,397	0,397	0,291	0,219	0,17	0,135	0,108
Chevrolet Express	0,096	0,192	0,192	0,383	0,383	0,281	0,212	0,165	0,13	0,104
Mercedes-Benz Sprinter	0,195	0,389	0,389	0,779	0,779	0,571	0,43	0,334	0,264	0,211

Для обчислення показника енергетичної ефективності АТЗ на розрахунковому маршруті була використана наступна формула [4,5]:

$$П_е = \frac{k_{vp} \times y_{ст}}{k_{ep}(n_q + y_{ст})}, \quad (1)$$

де: k_{vp} – безрозмірний коефіцієнт середньої швидкості АТЗ на розрахунковому маршруті, $k_{vp} = \frac{V_p}{V_{ет}}$,

де V_p – середня швидкість АТЗ на розрахунковому маршруті, $V_{ет}$ – еталонна (постійна) швидкість АТЗ;

$k_{ер}$ – безрозмірний паливний коефіцієнт пробігу АТЗ на розрахунковому маршруті, $k_{ер} = \frac{Q}{Q_{ет}}$, де Q – величина витрати палива АТЗ на розрахунковому маршруті, $Q_{ет}$ – еталонна витрата палива; n_q – коефіцієнт спорядженої маси АТЗ; $y_{ст}$ – коефіцієнт використання вантажності АТЗ.

За допомогою програми Excel були розраховані значення енергоефективності при зміні коефіцієнта використання вантажопідйомності та коефіцієнту опору дороги, які представлені на рисунку 2 та рисунку 3.

Виявлено, що чим більший показник використання вантажопідйомності, тим вища його енергетична ефективність. В результаті проведеного дослідження можна зробити висновок, що найбільше значення коефіцієнту енергоефективності при зміні коефіцієнту вантажопідйомності має Mercedes-Benz Sprinter (0,779). Слід відмітити, що значення енергоефективності на 15% більше ніж у Renault Master.

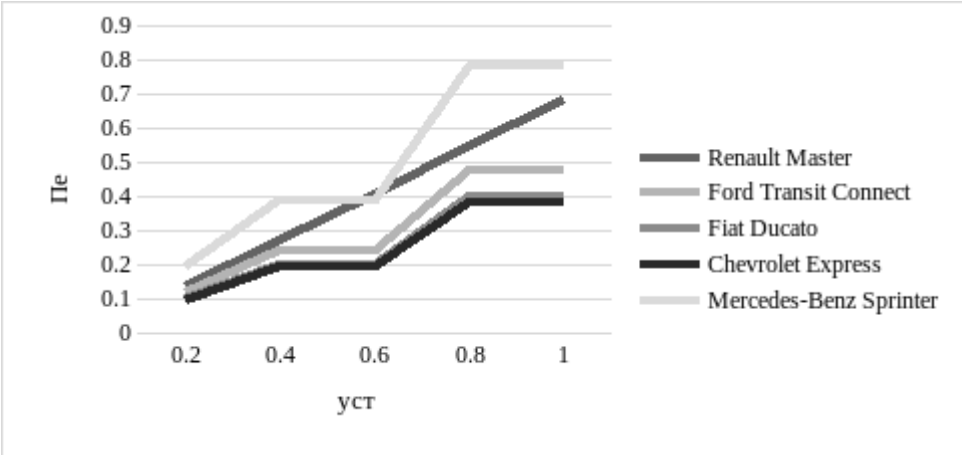


Рисунок 2 – Залежність показника енергетичної ефективності АМВ при зміні значення коефіцієнта статичного використання вантажопідйомності
Figure 2 – Dependence of the energy efficiency indicator of light-duty vehicles when the value changes coefficient of static capacity utilization

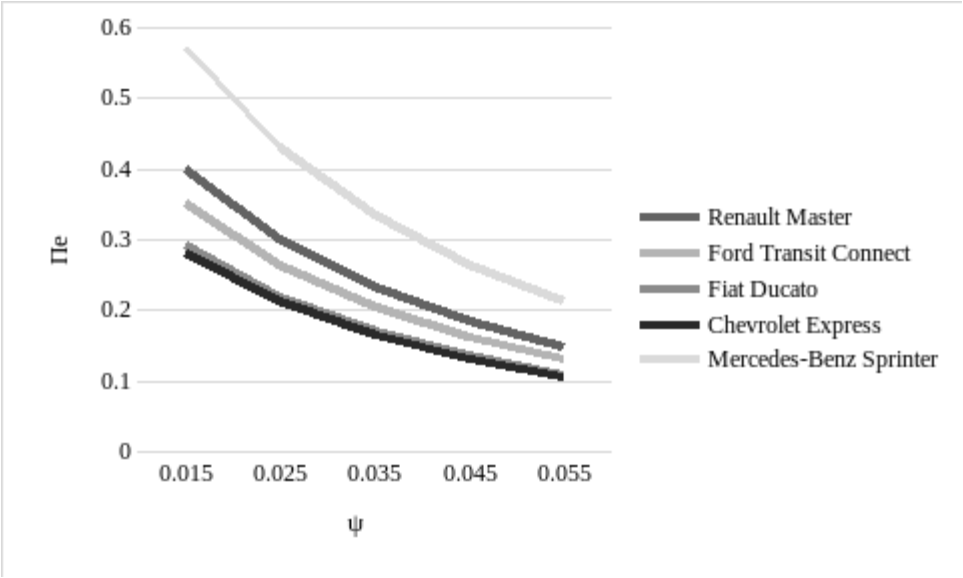


Рисунок 3 – Залежність показника енергетичної ефективності АМВ при зміні значення коефіцієнта опору дороги
Figure 3 – Dependence of the energy efficiency indicator of light-duty vehicles when changing the value of the coefficient of resistance of the road

Також було виявлено, що зі збільшенням опору дороги, зменшується енергетична ефективність АМВ. Автомобіль Mercedes-Benz Sprinter зі значенням опору дороги 0,015 є на 37% більш ефективним, ніж з показником опору дороги в 0,055.

Висновки.

1. Виявлена актуальність методів моніторингу наданих сегментів ринку автомобілів для концептуально-орієнтованого оновлення рухомого складу для міжміських перевезень.

2. Виявлена транспортно-технологічна і концептуальна недостатність існуючих методик вибору рухомого складу.

3. Визначено закономірності кількісного впливу різних факторів на величини показників транспортної енергоефективності АМВ на розрахункових магістральних маршрутах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки (Основы теории транспортного процесса): Учеб. Пособие для вузов. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1979, 392 с.

2. Хабутдінов Р. А., Коцюк О.Я. Енергоресурсна ефективність автомобіля: Київ: УТУ – 1997 197 с.

3. Державна служба статистики України [Електронний ресурс] – Режим доступу : http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/tr.htm.

4. 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. (укр)

5. Хабутдінов Р.А Методологія концептуально-новаційного управління технологічним розвитком автотранспорту/ Р.А. Хабутдінов, К.: Вісник НТУ.– вип.29.–2014.– С 409-414. (укр)

6. Методичні вказівки до проведення практичних занять з дисципліни «Ресурсозберігаючі технології на автомобільному транспорті» за кредитно-модульною системою організації навчального процесу для студентів денної форми навчання напряму 6.070101 «Транспортні технології (автомобільний транспорт)» фахового спрямування «Організація перевезень і управління на автомобільному транспорті» / Укл.: Р. А. Хабутдінов, І.В. Хмельов. – К.: НТУ, 2012. – 20 с.

REFERENCES

1. Vorkut A.I. Road freight transportation (Fundamentals of the theory of transport process): Proc. Manual for schools. – Kiev High school. Head Publishers, 1979, 392 p. (in Russian)

2. Habutdinov R.A., Kotsyuk O.J. Energy resources efficiency of the car: Kiev: UTA – 1997 – 197 p. (in Ukranian).

3. State Statistics Service of Ukraine [Electronic resource] – Available at: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/tr.htm. (in Ukranian).

4. Khabutdinov, R. A. (2011). Transteknologichna paradigma i metodologya novacynogo upravlynya avtomobylnymy perevezennyamy [Transport technological paradigm and methodology of novation management of motor-car transportations]. Kyiv: Visnyk NTU.– vol.24.–2011.–part.2.–p. 237-240. [in Ukranian].

5. Khabutdinov, R. A. (2014). Metodologya konceptualnogo upravlynya teknologichnym rozvytkom avtotransportu [Methodology of conceptual management innovation of technological development of Motor Transport]. Kyiv: Visnyk NTU.– vol.29.– 2014.– P. 409-414. [in Ukranian].

6. Methodological guidelines for conducting workshops on the subject «Resource-saving technologies in road transport» for the credit system of the educational process for full-time students direction 6.070101 «Transport Technologies (road transport)» professional orientation «Transportation Organization and management of road transport». Khabutdinov R.A., Khmelov I.V. Kyiv, National Transport University, 2012.20 p. (in Ukranian).

РЕФЕРАТ

Крупнов В.М. Методика моніторингу транспортної енергоефективності автомобілів для міжміських вантажних перевезень / В.М. Крупнов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

В статті запропонована методика моніторингу транспортної енергоефективності автомобілів для міжміських вантажних перевезень, яка розроблена на прикладі аналізу характеристик автомобілів малої вантожопідйомності (АМВ). Вона є актуальною з точки зору забезпечення концептуально-орієнтованого оновлення рухомого складу для міжміських перевезень в умовах ринкової економіки.

Об'єкт дослідження – транспортно-технологічний процес з використанням АМВ в умовах міжміських перевезень.

Мета роботи – формування методики моніторингу і аналізу транспортної енергоефективності автомобілів для оновлення рухомого складу при приміських і міжміських вантажних перевезенях.

Для досягнення мети використано теорію енергоресурсної ефективності автомобіля узагальненого типу. Визначено закономірності кількісного впливу різних факторів (показник опору дороги та коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності рухомого складу) на величини показників транспортної енергоефективності АМВ на розрахункових магістральних маршрутах.

Результати статті можуть бути використані в транспортних компаніях, що здійснюють перевезення по Україні.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МЕТОДИКА, МОНІТОРИНГ, ТРАНСПОРТНА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ, ДОРОГА, АВТОМОБІЛЬ МАЛОЇ ВАНТАЖОПІДЙОМНОСТІ.

ABSTRACT

Krupnov V.M. Methodology for monitoring the transport energy efficiency of vehicles for intercity cargo transportation. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The article proposes a method of monitoring the transport energy efficiency of cars for long-distance freight transport, which is developed on the example of the analysis of the characteristics of low-capacity vehicles. It is relevant in terms of providing conceptually-oriented renewal of rolling stock for long-distance transport in a market economy.

The object of study is the transport and technological process with the use of light-duty vehicles in the conditions of long-distance transportation.

The purpose of the work is to form a method of monitoring and analysis of transport energy efficiency of cars for the renewal of rolling stock in suburban and long-distance freight.

To achieve this goal, the theory of energy efficiency of a generalized type of car is used. Regularities of quantitative influence of various factors (road resistance index and coefficient of static capacity utilization capacity of rolling stock) on the values of light-duty transport energy efficiency indicators on the calculated main routes are determined.

The results of the article can be used in transport companies transporting in Ukraine.

KEY WORDS: METHODOLOGY, MONITORING, TRANSPORT ENERGY EFFICIENCY, TECHNICAL AND OPERATING INDICATORS, ROAD, LOW LIFT CAR

АВТОРИ:

Крупнов Владислав Михайлович, аспірант, Національний транспортний університет, Київ, e-mail: sniv@ukr.net, tel.+380982095552, Україна, м. Київ, вул. Героїв Дніпра 3, orcid.org/0000-0002-2111-4678

AUTHOR:

Krupnov Vladyslav Mykhailovych, graduate student, National Transport University, Kyiv, e-mail: sniv@ukr.net, tel. + 380982095552, Ukraine, Kyiv, st. Heroiv Dnipra, 3, orcid.org/0000-0002-2111-4678

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мнацаканов Р.Г., доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден, e-mail: mnatsakanov@ukr.net, тел. +38-0679714862, Київ, Україна.

Петрашевський О.Л., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, кафедра аеропортів, вул. Омельяновича-Павленка,1, e-mail: olp47@ukr.net, тел. +380996092476, Київ, Україна.

REVIEVER:

Mnatcakanov R., Doctor of Technical Sciences Engineering (Dr.), professor, National Aviation University, department of maintaining the airworthiness of aircraft, e-mail: mnatsakanov@ukr.net, тел. +38-0679714862, Kyiv, Ukraine .

Petrashevski O., Doctor of Technical Sciences, professor, National Transport University, Department of Airports, e-mail: olp47@ukr.net, тел. +380996092476, Kyiv, str. Omelyanovich-Pavlenko, 1,Ukraine.

УДК 656.11:625.7 DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-248-259
UDC 656.11:625.7

МЕТОДИ ОЦІНКИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УМОВ БЕЗПЕРЕРВНОГО, БЕЗПЕЧНОГО ТА ЗРУЧНОГО РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ АВТОМОБІЛЬНИМИ ДОРОГАМИ

Лановий О.Т., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, al.lanovoy@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-0717-9870
Виговська І.А., Національний транспортний університет, Київ, Україна, i.vyhovska2609@gmail.com, orcid.org /0000-0003-1426-9863

METHODS FOR ASSESSING CONDITIONS FOR CONTINUOUS, SAFE AND CONVENIENT TRAFFIC FLOWS ON ROADS

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

Постановка проблеми. Оцінка забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху автомобільними дорогами загального користування України *має ґрунтуватися* на загальних закономірностях розвитку суспільства та економіки країни, з урахуванням фінансової та податкової політики держави, специфіки дорожнього господарства, швидкості, щільності та інтенсивності дорожнього руху – головних складових продуктивності дороги, вартості та термінів будівництва і витрат на утримання та ремонти автомобільних доріг, попиту на рух автомобільними дорогами, інших соціально-економічних показників, у тому числі – матеріальних збитків від дорожньо-транспортних пригод (ДТП), а також тяжкості їх наслідків.

Розроблені методи оцінки забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху автомобільними дорогами встановлюють пріоритетність планування і виконання дорожніх робіт, спрямованих на забезпечення транспортної доступності різних територій України, а також підвищення безпеки та поліпшення зручності дорожнього руху шляхом позачергового, першочергового й чергового удосконалення дорожніх умов на тих ділянках мережі доріг, що не відповідають вимогам з боку транспортних потоків, а також надавати подальшого розвитку мережі автомобільних доріг через удосконалення їхнього транспортно-експлуатаційного стану для задоволення попиту користувачів на рух ними.

Основна частина. *Умови безперервного, безпечного та зручного руху автомобільними дорогами* характеризуються інтегральними динамічними параметрами дорожніх умов, транспортних потоків, погодно-кліматичних умов і станом аварійності, а також *наявним ресурсним забезпеченням їхнього функціонування із застосуванням суспільно-економічної оцінки роботи автомобільної дороги як підприємства у транспортній системі регіону АДДМ-НМТП.* [2]

Удосконалення умов руху відповідає меті функціонування мережі автомобільних доріг – забезпечення рівномірної та безперервної наземної транспортної доступності різних місць України, а також переміщення людей та транспортування товарів з належною надійністю.

Покращення дорожніх умов на небезпечних ділянках автомобільних доріг (як першочергові заходи покращення дорожніх умов) призведе не тільки до зменшення жертв та кількості ДТП, але поліпшить умови зручності руху транспортних потоків, що є вигідним для економіки країни та її суспільства.

Ефективність має досягатися завдяки забезпеченню транспортної доступності, зменшенню рівня аварійності та, відповідно, втрат від ДТП (збереження життя та здоров'я людей, зменшення матеріальних збитків), а також підвищенню рівня зручності руху.[3]

Визначення *рівнів безпеки руху та зручності руху* автомобільними дорогами зумовлене необхідністю:

– скорочення втрат та упущеної вигоди від високої аварійності та незадовільного транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг;

– збільшення валового внутрішнього продукту (ВВП) і національного доходу (НД) від розвитку мережі автомобільних доріг та зниження рівня аварійності;

– формування програми практичних дій органів управління безпекою руху на різних рівнях в умовах структурної перебудови й реформування економіки країни та підвищення ефективності системи управління дорожнім господарством;

– підвищення життєвого й культурного рівнів населення шляхом задоволення попиту на рух автомобільними дорогами, зниження вартості товарів і послуг, підвищення рухливості населення та вивільнення часу перебування у дорозі пасажирів, а також скорочення кількості ДТП і негативного впливу на навколишнє середовище за рахунок поліпшення дорожніх умов.

Характеристики умов безперервного руху транспортних потоків

Забезпечення умов безперервності руху автомобільними дорогами загального користування має бути позачерговим завданням щодо досягнення ефективності функціонування транспортної системи регіону *АДДМ-НМТП*.[4]

Умови безперервного руху транспортних потоків автомобільними дорогами забезпечуються майже завжди за виключенням декількох випадків.

Випадок перший. Транспортно-експлуатаційний стан автомобільної дороги задовольняє вимогам руху транспортних потоків. Але через якісь причини рух транспортних засобів відсутній, тобто, N – об'єм руху (інтенсивність руху) транспортного потоку дорівнює нулю: $N = 0$. За цієї умови й швидкості руху, природно, немає $V = 0$, а, отже, продуктивність дороги дорівнює нулю, тобто $П = 0$.

Випадок другий. Автомобільна дорога зруйнована повністю або зруйновані її споруди. Таким чином транспортно-експлуатаційний стан дороги є незадовільним, вона не може функціонувати, тобто, забезпечувати рух транспортних засобів через виникнення надзвичайної ситуації. Знов таки: $N = 0$, $V = 0$ та $П = 0$.

Випадок третій. Транспортно-експлуатаційний стан автомобільної дороги начебто задовольняє вимогам руху транспортних потоків. Але існуюча при цьому інтенсивність руху досягає максимальних значень, що призводить до повної зупинки усіх транспортних засобів. Отже, транспортно-експлуатаційний стан дороги стає незадовільним, вона не може ефективно функціонувати, тобто, забезпечувати рух транспортних засобів через виникнення заторової ситуацію. При цьому: $N = \max$, $V = 0$ та $П = 0$.

Висновок. Умови безперервного руху автомобільною дорогою забезпечуються у випадках, коли швидкість руху є відмінною від нуля. При цьому продуктивність дороги визначається у залежності від наявних значень інтенсивності та швидкості руху. Таким чином, стає зрозумілим, що залежність між продуктивністю дороги та інтенсивністю руху має параболічний характер і досягає значень нуля при двох значеннях інтенсивності руху: $П = 0$ при $N = 0$ або $N = \max$.

Показники аварійності, що необхідні для оцінки рівнів безпеки руху

Показники аварійності, що є необхідними для оцінки рівнів безпеки руху мають визначатися на підставі даних Державного комітету по статистиці України, Міністерства внутрішніх справ України, Міністерства охорони здоров'я України, Державної служби автомобільних доріг загального користування України.

До таких показників аналізу відносяться: загальна кількість ДТП, у т.ч., ДТП з постраждалими; загальна кількість загиблих; загальна кількість поранених; вік і стать водіїв – учасників ДТП; вік і стать постраждалих – учасників ДТП; загальна кількість зареєстрованих транспортних засобів, у т. ч., за складом; загальна кількість зареєстрованого населення по областях, районах, тощо; довжина мережі автомобільних доріг загального користування, а також окремих автомобільних доріг та їх ділянок; макропоказники аналізу функціонування мережі автомобільних доріг для країни та її окремих регіонів.

Оцінка рівнів аварійності

Оцінка рівнів аварійності має виконуватися за підсумками останнього року (з урахуванням аварійності за три останні роки для місць і ділянок концентрації ДТП) для трьох рівнів аналізу:

Стан аварійності – це відносний показник, що характеризує кількість ДТП (чи кількість жертв від ДТП) за одиницю часу на одиницю виміру, або прогнозовану відносну їх кількість.

Показниками державної та адміністративної діяльності, що характеризують *абсолютну аварійність* (для країни та її областей окремо), є:

– загальна кількість ДТП, у т.ч. ДТП з постраждалими, загиблих; поранених;

– загальна кількість зареєстрованих транспортних засобів, у т. ч., за складом;

– загальна кількість населення, зареєстрованого по областях, у тому числі, за статтю, віком, зайнятістю, тощо;

– вік і стать водіїв – учасників ДТП;

– вік і стать постраждалих – учасників ДТП.

Показниками державної та адміністративної діяльності, що характеризують *відносну аварійність* (для країни та її областей окремо), є:

– кількість ДТП, загиблих та поранених на 10 тис. транспортних одиниць;

– кількість ДТП, загиблих та поранених на 100 тис. жителів;

– кількість ДТП на 10 тис. кілометрів, тощо.

Показниками державної та адміністративної діяльності, що характеризують *тяжкість наслідків* (для країни та її областей окремо), є такі відносні показники:

– кількість загиблих на 100 ДТП;

– кількість поранених на 100 ДТП;

– кількість загиблих на 100 постраждалих;

– кількість загиблих на 10 тис. автомобілів;

– кількість постраждалих в ДТП на 10 тис. населення, тощо.

Показниками *рівня відомчого (галузевого) управління*, що характеризують *абсолютну аварійність* (для Державної служби автомобільних доріг – ДТП та їх характеристики, що скоєні на автомобільних дорогах, у т.ч., по областях), є:

– загальна кількість ДТП, у т.ч. ДТП з постраждалими, загиблих, поранених;

– загальна кількість зареєстрованих транспортних засобів, у т. ч., за складом;

– загальна кількість населення, зареєстрованого по областях, у тому числі, за статтю, віком, зайнятістю, тощо;

– вік і стать водіїв – учасників ДТП;

– вік і стать постраждалих – учасників ДТП.

Показниками *рівня відомчого (галузевого) управління*, що характеризують *відносну аварійність* (для Державної служби автомобільних доріг – ДТП та їх характеристики, що скоєні на автомобільних дорогах, у т.ч., по областях), є:

– кількість ДТП, загиблих та поранених на 10 тис. транспортних одиниць;

– кількість ДТП, загиблих та поранених на 100 тис. жителів;

– кількість ДТП на 10 тис. кілометрів, тощо;

Показниками *рівня відомчого (галузевого) управління*, що характеризують *тяжкість наслідків* (для Державної служби автомобільних доріг – ДТП та їх характеристики, що скоєні на автомобільних дорогах загального користування, у т.ч., по областях), є такі відносні показники:

– кількість загиблих на 100 ДТП;

– кількість поранених на 100 ДТП;

– кількість загиблих на 100 постраждалих;

– кількість загиблих на 10 тис. автомобілів, зареєстрованих в області;

– кількість постраждалих в ДТП на 10 тис. населення, тощо.

Показниками рівня *служб безпеки руху* Державної служби автомобільних доріг України, що характеризують *абсолютну аварійність* по областях і по окремих автомобільних дорогах загального користування, є: загальна кількість загиблих, поранених, загальна кількість та за складом зареєстрованих в області автомобілів; загальна кількість населення, зареєстрованого по областях, у тому числі, за статтю, віком, зайнятістю, тощо; вік і стать водіїв – учасників ДТП; вік і стать постраждалих – учасників ДТП.

Показниками рівня аналізу *служб безпеки руху* Державної служби автомобільних доріг України (Укравтодор), що характеризують *відносну аварійність* по областях та по окремих автомобільних дорогах загального користування, є:

– розподіл загальної кількості ДТП по державних і місцевих автомобільних дорогах в області за визначений час – в абсолютних та відносних величинах;

– розподіл загальної кількості ДТП по державних (магістральних, національних та регіональних) і місцевих (територіальних, районних та сільських) дорогах в області за визначений час – в абсолютних та відносних величинах;

– порівняння аварійності на державних і місцевих автомобільних дорогах загального користування (всього ДТП і ДТП з постраждалими) в області за визначений час – в абсолютних та відносних величинах;

– порівняння загальної кількості ДТП і ДТП з постраждалими по державних і місцевих автомобільних дорогах загального користування в області за визначений час – в абсолютних та відносних величинах;

– порівняння загальної кількості ДТП і ДТП з постраждалими по державних (магістральних, національних та регіональних) і місцевих (територіальних, районних та сільських) дорогах за визначений час – в абсолютних та відносних величинах;

– кількість ДТП загальна, у т.ч. з постраждалими, скоєні за умов незадовільного стану доріг по області за визначений час – в абсолютних та відносних величинах;

– частка ДТП на автомобільних дорогах загального користування по області за визначений час – в абсолютних та відносних величинах;

– частка ДТП, скоєних за умов незадовільного стану автомобільних доріг по області за визначений час – в абсолютних та відносних величинах

– наслідки ДТП (кількість постраждалих – загинуло, травмовано), що скоєні на автомобільних дорогах загального користування по області за визначений час – в абсолютних та відносних величинах;

– аварійність порівняльна (загальна кількість ДТП, кількість ДТП з постраждалими, кількість загиблих і поранених) загалом по області, у тому числі, на автомобільних дорогах та за умов незадовільного стану автомобільних доріг загального користування в області.

Для визначення статистичних залежностей рівнів аварійності на автомобільних дорогах загального користування зроблений аналіз такого критерію як коефіцієнт пригод. До отриманих раніше даних проаналізовані та отримані залежності рівнів аварійності від інтенсивності руху для різного числа ДТП (відповідно до базової залежності для ДТП тільки з постраждалими):

$$K_{пр} = \frac{10^6 \cdot z}{t \cdot 365 \cdot NL}, \qquad \text{ДТП /1 млн. авт.-км пробігу,}$$

де z – кількість ДТП на ділянці (місці) концентрації ДТП, шт.;

N – середньорічна добова інтенсивність руху за останній рік періоду спостереження за розподілом ДТП на ділянці дороги, авт/добу;

t – кількість років спостереження за розподілом ДТП (три роки);

L – довжина ділянки, км (не враховується для коротких ділянок протяжністю менш ніж один кілометр).

Аналогічно отримані рівні аварійності в залежності від інтенсивності руху для різної кількості ДТП (відповідно до базової залежності), де граничними рівнями є значення коефіцієнту пригод $K_{пр}$:

$K_{пр}$ =1,45 ÷ 1,70 – мало небезпечні ділянки концентрації ДТП;

$K_{пр}$ =1,71 ÷ 1,96 – небезпечні ділянки концентрації ДТП;

$K_{пр}$ =1,97 і більше – дуже небезпечні ділянки концентрації ДТП.

Для розрахунків показників аварійності створено відповідне програмне забезпечення, що застосовується в Галузевій базі даних обліку і аналізу ДТП (*RSM*).

загальна блок-схема оцінки рівнів аварійності на автомобільних дорогах України (Рисунок1).

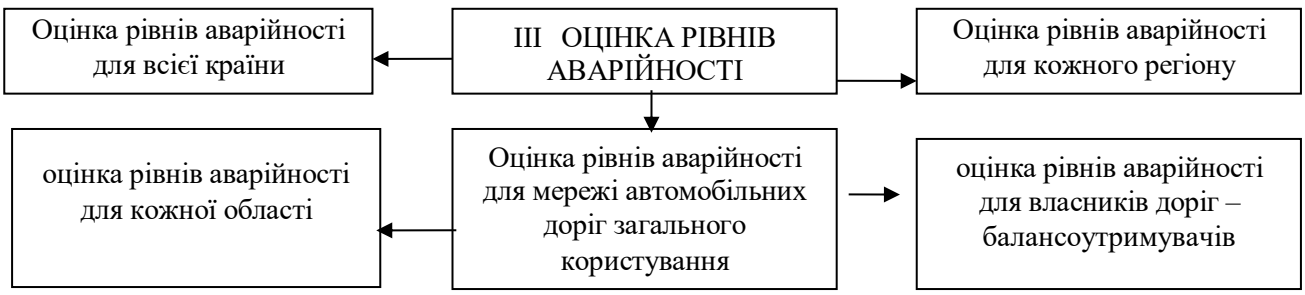


Рисунок 1 – Блок-схема оцінки рівнів аварійності на автомобільних дорогах
Figure 1 – Flowchart for assessing accident rates on highways

Метод оцінки рівнів безпеки руху з урахуванням можливого ресурсного забезпечення

Оцінка рівнів безпеки руху – це порівняння фактичного рівня безпеки руху, що характеризується інтегральними динамічними параметрами дорожніх умов, транспортних потоків, погодно-кліматичних умов і станом аварійності, а також ресурсним забезпеченням виконання заходів з їхнім деяким заздалегідь визначеним значенням.

Рівні безпеки руху мають *визначатися окремо* для:

– кожної дороги (враховуючи, що вона проходить через декілька областей);

– ділянок автомобільних доріг (у кожній області);

– доріг, що обслуговуються *кожною дорожньою організацією* (*власником доріг*), яка є *балансоутримувачем* автомобільних доріг загального користування та уповноважена в установленому порядку здійснювати оперативне управління та повне господарське відання ними у межах, визначених законодавством про територіальний устрій чи іншими нормативними актами;

– ділянок (місць) концентрації ДТП – для усіх перерахованих підпунктів.

Кількість місць та ділянок концентрації визначається відносно до довжини доріг, що обслуговується кожним дорожнім підприємством (балансоутримувачем).

Приведена вартість ДТП (Рисунок 2) визначається у відповідності до середньорічної добової інтенсивності руху за останній рік періоду спостереження через розподіл ДТП на ділянці дороги, авт/добу (по кожній області окремо в залежності від макропоказників аналізу функціонування мережі автомобільних доріг у регіоні до валового регіонального продукту):

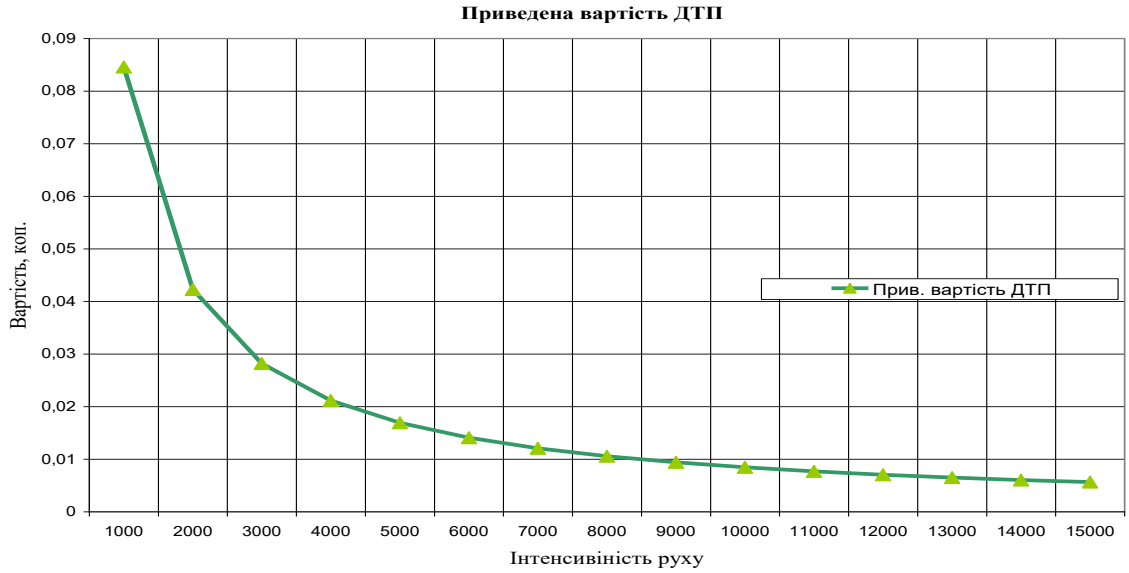


Рисунок 2 – Визначення приведеної вартості ДТП (приклад)

Figure 2 – Determination of the given cost of an accident (example)

Визначаються всі види дорожніх витрат (Рисунок 3) щодо забезпечення функціонування автомобільної дороги або її ділянки.

На рис. 4 наведено визначені рівні безпеки руху (гіпотетичний приклад) для дороги 3 категорії. Перший рівень оцінюється значеннями *граничних витрат щодо забезпечення безпеки руху* на 1 авт-км в 0,010 грн. для об'єму руху 1515 авт/добу і називається задовільним рівнем безпеки руху; другий рівень оцінюється значеннями *середніх перемінних дорожніх витрат* на 1 авт-км в 0,024 грн. для об'єму руху 2320 авт/добу і називається недостатнім рівнем безпеки руху; третій рівень оцінюється значеннями *середніх загальних дорожніх витрат* на 1 авт-км в 0,062 грн. для об'єму руху 2564 авт/добу і називається незадовільним рівнем безпеки руху; четвертий рівень оцінюється значеннями *середніх загальних дорожніх витрат* на 1 авт-км більше ніж 0,062 грн. для об'єму руху більше ніж 2564 авт/добу і називається незадовільним рівнем безпеки руху. Наступним рівнем є критичний рівень безпеки руху. У даному прикладі *крива приведеної вартості ДТП* розташована у зоні третього, тобто, незадовільного рівня безпеки руху.

Метод оцінки рівнів зручності руху з урахуванням можливого ресурсного забезпечення

Третім за рейтингом (після оцінки безперервності та безпеки руху) через обмежене ресурсне забезпечення виконання дорожніх робіт слід вважати оцінку забезпечення зручності руху транспортних потоків. Таким чином, заходи із забезпечення безперервності руху вважатимемо позачерговими, із забезпечення безпеки руху – першочерговими, а забезпечення зручності руху – черговими, особливо для автомобільних доріг державного значення.

Рівні безпеки руху визначаються (Рисунок 4) як інтегральна характеристика стану аварійності, дорожніх умов та ресурсного забезпечення виконання запланованих дорожніх робіт.

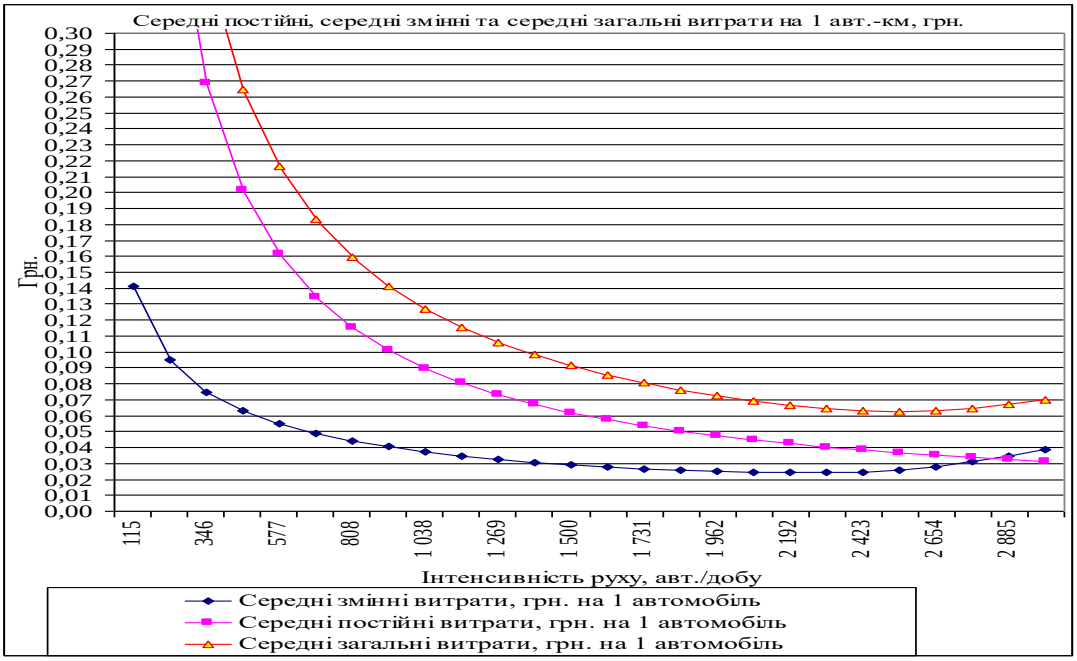


Рисунок 3 – Визначення дорожніх витрат (приклад)
Figure 3 – Determination of road costs (example)

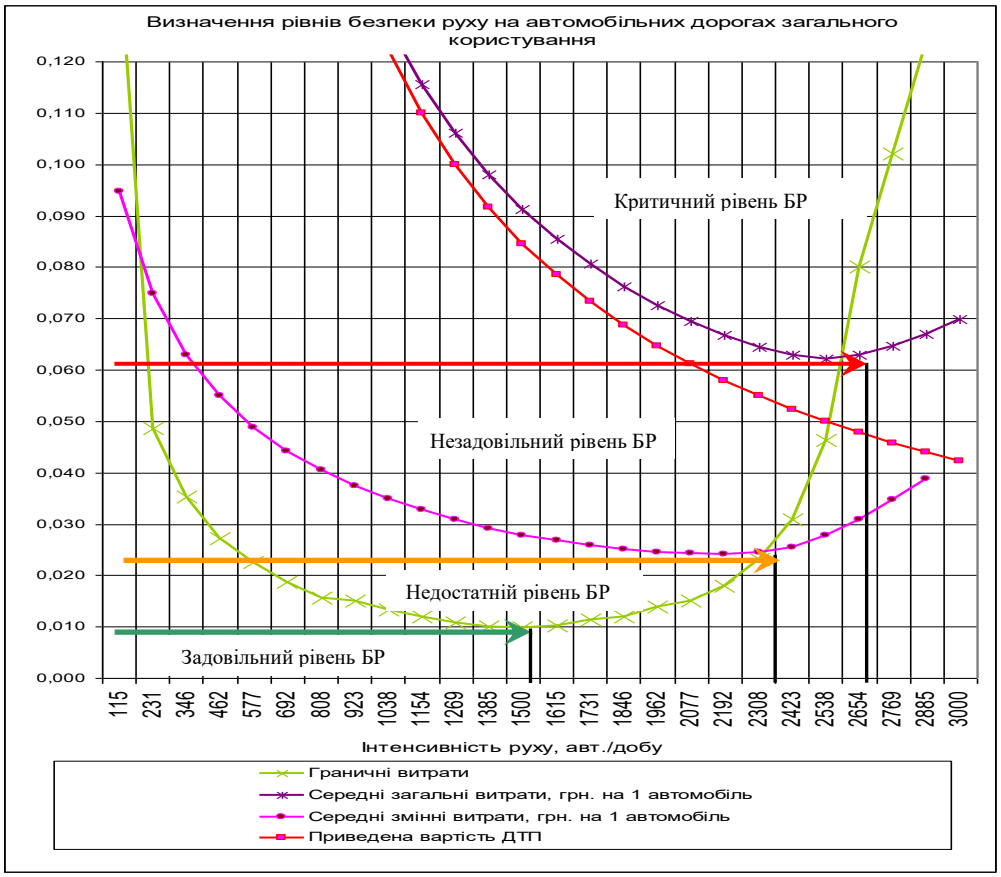


Рисунок 4 – Визначення рівнів безпеки руху на автомобільній дорозі (приклад)
Figure 4 – Determination of traffic safety levels on the road (example)

Зазвичай під рівнем зручності розуміють максимальну кількість автомобілів, яку може пропустити ділянка дороги в одиницю часу і називають це пропускною здатністю дороги.

Оцінку пропускної здатності виконують за методикою проф. Сільянова В.В. за рівнями зручності руху: А, Б, В, Г-а и Г-б [5].

Так, рівень зручності А відповідає умовам, при яких спостерігається вільний рух окремих транспортних засобів і відсутній вплив кожного з них на режими руху інших автомобілів. Рівень зручності Б – в транспортному потоці утворюються окремі групи автомобілів. Число обгонів зростає. Рівень зручності В характерний появою колон автомобілів і скороченням числа обгонів. Рівень Г-а – рух колон з невеликими розривами. Обгони відсутні. При рівні зручності Г-б автомобілі рухаються безперервною колоною з частими зупинками (заторами). Такий рух найчастіше спостерігається на ділянках доріг з високою інтенсивністю при несприятливих умовах погоди.

Отже, як походить із вищенаведеного, таким чином оцінюються якісні характеристики транспортних потоків, що рухаються автомобільними дорогами. Окрім того, дійсно, значний вплив на характеристики транспортного потоку мають дорожні умови, які, з одного боку, формують стан потоків, з іншого, повинні відповідати вимогам транспортних потоків щодо відповідної якості транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг з метою забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного дорожнього руху.

Ще однією з найважливіших властивостей показника «пропускна здатність автомобільної дороги» є його просторово-часова ймовірнісна характеристика, що доведено у роботі к.т.н. Красильнікової О.В. [6].

Потреба у новій якості застосування поняття «рівні зручності руху автомобільними дорогами» виникає через можливість системного підходу до розгляду роботи дороги щодо забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху із визначенням потреби у необхідному ресурсному забезпеченні.

Для отримання рівнів зручності, що відповідають різному ресурсному забезпеченню, використовується Методологія визначення транспортної цінності забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху як критерію ефективності роботи автомобільної дороги.

Окремими кроками визначення рівнів зручності руху є отримання наступних залежностей:

- швидкість руху – інтенсивність руху для різного (за ознакою частки легкового руху) складу транспортного потоку;
- продуктивність автомобільної дороги – інтенсивність руху для різного (за ознакою частки легкового руху) складу транспортного потоку;
- транспортна цінність руху (попит з боку національних та міжнародних транспортних потоків) – продуктивність автомобільної дороги для різного (за ознакою частки легкового руху) складу транспортного потоку (пропозиція відповідної кості дорожніх умов з боку автомобільних доріг державного та місцевого значення);
- постійні дорожні витрати – продуктивність автомобільної дороги;
- змінні дорожні витрати – продуктивність автомобільної дороги;
- загальні дорожні витрати – продуктивність автомобільної дороги;
- середні постійні дорожні витрати – продуктивність автомобільної дороги;
- середні змінні дорожні витрати – продуктивність автомобільної дороги;
- середні загальні дорожні витрати – продуктивність автомобільної дороги;
- граничні дорожні витрати – продуктивність автомобільної дороги;
- сукупна суспільна вигода від роботи автомобільної дороги державного або місцевого значення для різного (за ознакою частки легкового руху) складу транспортного потоку – продуктивність автомобільної дороги.

Оцінка рівня зручності руху – це порівняння фактичного рівня зручності руху, що характеризується інтегральними динамічними параметрами дорожніх умов, попиту користувачів на рух дорогою, умов формування транспортних потоків, погодно-кліматичних умов, а також ресурсним забезпеченням виконання заходів щодо удосконалення умов руху з їхнім деяким заздалегідь визначеним значенням.

Рівні зручності руху мають *визначатися окремо* для:

– кожної автомобільної дороги державного значення у регіоні (враховуючи те, що в першочергово слід розглядати роботу автомобільних міжнародних транспортних коридорів, потім за рангом: міжнародні, національні та регіональні);

– ділянок автомобільних доріг місцевого значення у регіоні (за рангом: територіальні, обласні та районні);

– автомобільних доріг за титулом, що обслуговуються *різними дорожніми організаціями* (*власниками ділянок доріг*), які є *балансоутримувачами* доріг загального користування та

уповноважені в установленому порядку здійснювати оперативне управління та повне господарське відання ними у межах, визначених законодавством про територіальний устрій чи іншими нормативними актами.

Покращення дорожніх умов на автомобільних дорогах не тільки підвищує рівень зручності руху транспортних потоків, але й призводить до зменшення кількості ДТП та їх наслідків, що є вигідним для економіки та суспільства країни.[7]

Оцінка рівнів зручності руху методологічно грунтується на визначенні цінності забезпечення дорожнього руху на автомобільних дорогах загального користування.

На підставі переліку наведених залежностей отримані (як приклад) такі рівні зручності дорожнього руху з урахуванням їх ресурсного забезпечення (Рисунок 5).

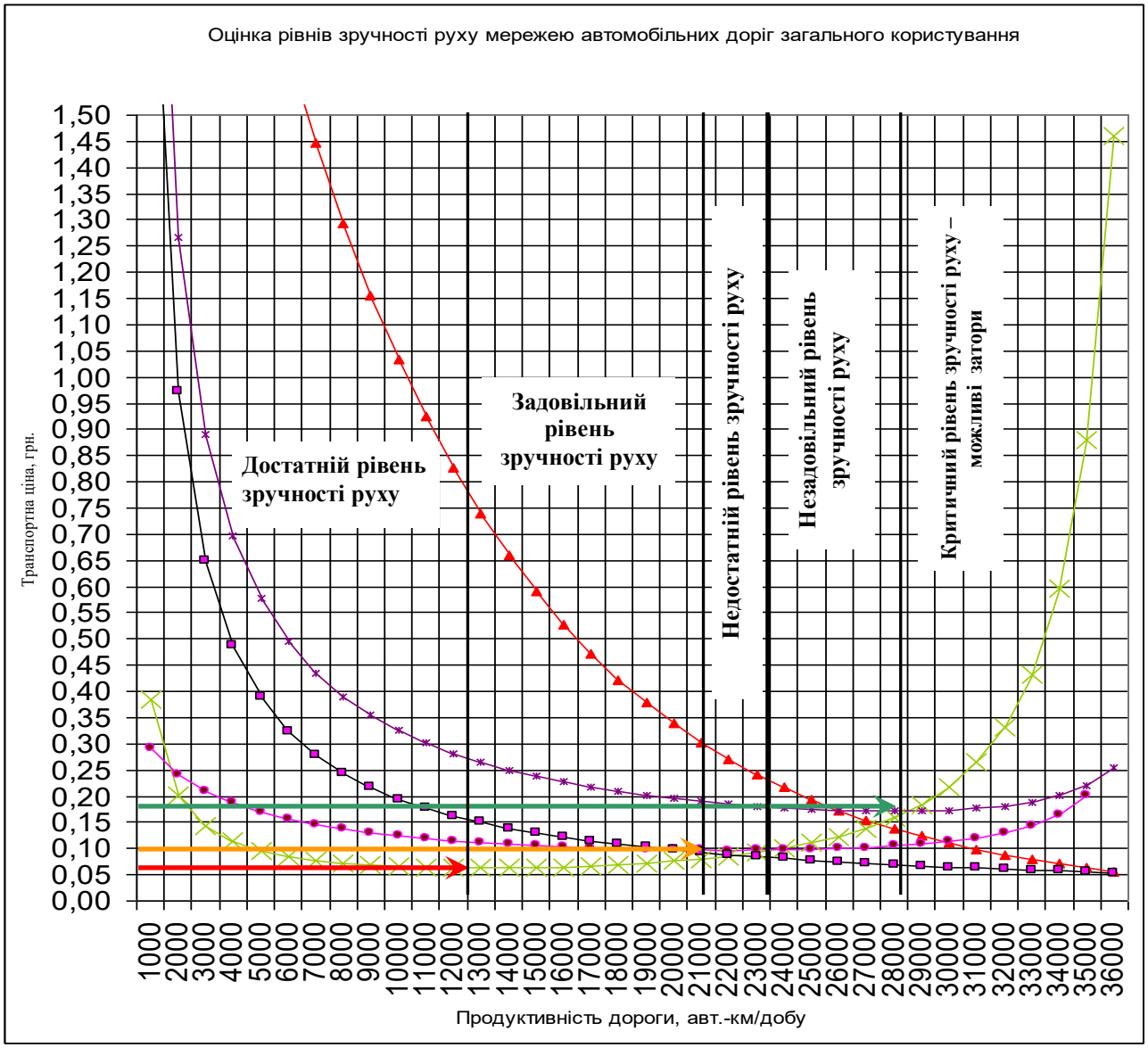


Рисунок 5 – Рівні зручності руху з урахуванням їх ресурсного забезпечення (приклад)
Figure 5 – levels of ease of movement, taking into account their resource support (example)

Завдяки приведеній методології оцінки для кожної дороги можливим є визначення рівнів зручності: достатній, задовільний, недостатній, незадовільний та критичний. Виникнення останнього має привести до порушення безперервності у дорожньому русі – створенням транспортного затору. Рівні зручності відносяться за своїми показниками до ймовірнісних просторово-часових характеристик – тобто вони мають імовірнісні характеристики у просторі та часі.[8]

Достатній рівень зручності руху автомобільною дорогою відповідає умовам, при яких спостерігається вільний рух окремих транспортних засобів і відсутній вплив кожного з них на режими руху інших автомобілів; при даному ресурсному забезпеченні характеризується значеннями:

- максимум продуктивності ділянки дороги довжиною 1 км – 13000 авт.-км/добу;
- середня швидкість транспортного потоку – max: 95, 88, 81 та 77 км/г в залежності від складу руху, min: 64, 61, 57 та 55 км/г.

Задовільний рівень зручності руху автомобільною дорогою: в транспортному потоці утворюються окремі групи автомобілів, кількість обгонів зростає; при даному ресурсному забезпеченні характеризується значеннями:
- мінімум продуктивності ділянки дороги довжиною 1 км – 13000 авт.-км/добу; максимум продуктивності ділянки дороги довжиною 1 км – 21000 авт.-км/добу;
- середня швидкість транспортного потоку – max: 64, 61, 57 та 55 км/г в залежності від складу руху, min: 45, 44, 42 та 41 км/г.

Недостатній рівень зручності руху автомобільною дорогою характеризується появою колон автомобілів і скороченням числа обгонів; при даному ресурсному забезпеченні характеризується значеннями:
- мінімум продуктивності ділянки дороги довжиною 1 км – 21000 авт.-км/добу; максимум продуктивності ділянки дороги довжиною 1 км – 24000 авт.-км/добу;
- середня швидкість транспортного потоку – max: 45, 44, 42 та 41 км/г в залежності від складу руху, min: 37, 37, 36 та 36 км/г.

Незадовільний рівень зручності руху автомобільною дорогою: рух колон з невеликими розривами, обгони відсутні; при даному ресурсному забезпеченні характеризується значеннями:
- мінімум продуктивності ділянки дороги довжиною 1 км – 24000 авт.-км/добу; максимум продуктивності ділянки дороги довжиною 1 км – 29000 авт.-км/добу;
- середня швидкість транспортного потоку – max: 45, 44, 42 та 41 км/г в залежності від складу руху, min: 26, 25, 25 та 24 км/г.

Критичний рівень зручності руху автомобільною дорогою: автомобілі рухаються безперервною колоною з частими зупинками (заторами); при даному ресурсному забезпеченні характеризується значеннями:
- продуктивність ділянки дороги довжиною 1 км – більше за 29000 авт.-км/добу;
- середня швидкість транспортного потоку – max: 5 – 10 км/г, min: 0 км/г (затор у дорожньому русі).

Окрім вищенаведених даних для наведеного прикладу можна казати, що рівні зручності забезпечуються таким ресурсним забезпеченням:

- *достатній рівень зручності руху* автомобільною дорогою: при рівні 6 коп. на один авт.-км за добу ресурсне забезпечення продуктивності дороги у 13000 авт.-км/добу складає 780 грн. дорожніх витрат або на рік 284700 грн.;

- *задовільний рівень зручності руху* автомобільною дорогою: при рівні 10 коп. на один авт.-км за добу ресурсне забезпечення продуктивності дороги у 21000 авт.-км/добу складає 2100 грн. дорожніх витрат або на рік 766500 грн.;

- *недостатній рівень зручності руху* автомобільною дорогою: при рівні 11 коп. на один авт.-км за добу ресурсне забезпечення продуктивності дороги у 24000 авт.-км/добу складає 2640 грн. дорожніх витрат або на рік 963600 грн.;

- *незадовільний рівень зручності руху* автомобільною дорогою: при рівні 18 коп. на один авт.-км за добу ресурсне забезпечення продуктивності дороги у 29000 авт.-км/добу складає 5220 грн. дорожніх витрат або на рік 1905300 грн.

- *критичний рівень зручності руху* автомобільною дорогою при рівні більше за 18 коп. на один авт.-км за добу потребує збільшення ресурсного забезпечення продуктивності дороги у понад 5220 грн. дорожніх витрат або на рік 1905300 грн.

Висновок. Розроблені методи оцінки умов безперервного, безпечного та зручного руху дозволяють оцінити існуючі умови руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг загального користування та удосконалити дорожні умови з урахуванням відповідного для цього ресурсного забезпечення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лановий, О.Т. Теоретичні основи та практичні методи забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг: дис. доктора техн. наук: 05.22.01/ Лановий Олександр Тимофійович. – НТУ. – К. 2019 – 399с. – Бібліогр.: с. 289-305.

2. 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. Вип. 1 (46) – К.: НТУ, 2020. – С. 163-173.

3. Лановий, О.Т. Продуктивність роботи автомобільної дороги загального користування як критерій ефективності її функціонування. Вісник Національного транспортного університету. В 2-х частинах: Ч. 2. – К.: НТУ, 2011. – Випуск 21. С. 173-178.

4. Lanovyy, O. Ensuring conditions of continuous, safe and convenient traffic flow for road network / Alexander Lanovyy // Paper of National Transport University. – K. : NTU – 2014. – Vol. 28. – P. 278-284.

5. Сильянов, В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / Сильянов В. В. – М. : «Транспорт», 1977. – 303 с.

6. Красильникова, О. В. Оценка пропускной способности автомобильных дорог в условиях функционирования автоматизированных систем управления дорожным движением: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.01 / Красильникова Ольга Витальевна; КАДИ. – К. :, 1993, – 20 с.

7. Лановой, О.Т. Усовершенствование функционирования сети автомобильных дорог общего пользования Украины: Материалы Международной научно-практической конференции/ Лановой О.Т., Выговская И.А., Том. 2 – Минск: БНТУ. 2018.-302с. С 29-32.

8. Поліщук, В. П. Визначення рівнів безпеки руху на автомобільних дорогах загального користування / В. П. Поліщук, О. Т. Лановий, Т. В. Бондар // Вісник Національного транспортного університету. В 2-х частинах: Ч. 2. – К.: НТУ, 2009. – Випуск 15. – С. 113-121.

REFERENCES

1. Lanovyi O.T. *Teoretychni osnovy ta praktychni metody zabezpechennia umov bezperervnoho, bezpechnoho ta zruchnoho rukhu transportnykh potokiv merezheiu avtomobilnykh dorih*. Dokt, Diss. [Theoretical foundations and practical methods of ensuring conditions for continuous, safe and convenient movement of traffic flows by road network. Dokt, Diss]. Kyiv, 2019. 399p [in Ukrainian].

2. Lanovyi O.T., Vyhovska I.A. *Otsinka funktsionuvannia avtomobilnykh mizhnarodnykh transportnykh korydoriv Ukrainy*. [Evaluation of the functioning of automobile international transport corridors of Ukraine] *Visnik Natsionalnoho transportnoho universitetu* [Bulletin of the National Transport University], 2020, issue 1(46), pp163-173. (Ukr)

3. Lanoviy O.T. *Produktivnist roboti avtomobilnoyi dorogi zagalnogo koristuvannya yak kriteriy efektivnosti yiyi funktsionuvannya* [Operation Productivity of general use highway as efficiency criterion of its functioning] *Visnik Natsionalnoho transportnoho universitetu* [Bulletin of the National transport university], 2011, issue 21, pp173-178. (Ukr)

4. Lanovyy, O. Ensuring conditions of continuous, safe and convenient traffic flow for road network *Visnik Natsionalnoho transportnoho universitetu* [Bulletin of the National Transport University] 2014. – issue 28. – pp 278-284.

5 Sylianov V. V. Teoryia transportnыkh potokov v proektyrovanyy doroh y orhanyzatsyy dvyzhenyia. [Theory of traffic flows in the design of roads and traffic organization]. Moscow, Transport Publ., 1977. 303p.

6. Krasylnykova O. V. *Otsenka propusknoi sposobnosty avtomobylnыkh doroh v uslovyiakh funktsyonyrovanyia avtomatyzyrovannыkh system upravlenyia dorozhnым dvyzhenyem* Avtoreferat Diss [Otsenka skipping the way of motorized roads in the words of the functioning of automating control systems by road engines. Author's abstract.]. Kyiv,1993. 20p.

7. Lanovyi O.T. Vyhovska I.A. *Udoskonalennia funktsionuvannia merezhi avtomobilnykh dorih zahalnoho korystuvannia Ukrainy* [Improving the functioning of the network of public roads in Ukraine]. *Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* [Materials of the International Scientific and Practical Conference] Minsk, 2018.-pp. 29-32.

8. Polishchuk V.P., Lanovyi, O.T., Bondar T.V. *Vyznachennia rivniv bezpeky rukhu na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia* [Visnedennya rivniv bezpeki ruhu on the roads of zagalnoe koristuvannya] *Visnik Natsionalnoho transportnoho universitetu* [Bulletin of the National Transport University], 2009, issue 15, pp113-121. (Ukr)

РЕФЕРАТ

Лановий О.Т. Методи оцінки забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків автомобільними дорогами. / О.Т. Лановий, І.А. Виговська // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

У статті розглянуто методи оцінки забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків автомобільними дорогами.

Об'єкт дослідження – автомобільні дороги загального користування.

Оцінка забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху автомобільними дорогами загального користування України *має ґрунтуватися* на загальних закономірностях розвитку суспільства та економіки країни, з урахуванням фінансової та податкової політики держави, специфіки дорожнього господарства, швидкості, щільності та інтенсивності дорожнього руху – головних складових продуктивності дороги, вартості та термінів будівництва і витрат на утримання та ремонти автомобільних доріг, попиту на рух автомобільними дорогами, інших соціально-економічних показників, у тому числі – матеріальних збитків від дорожньо-транспортних пригод (ДТП), а також тяжкості їх наслідків.

Розроблені методи оцінки забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху автомобільними дорогами встановлюють пріоритетність планування і виконання дорожніх робіт, спрямованих на забезпечення транспортної доступності різних територій України, а також підвищення безпеки та поліпшення зручності дорожнього руху шляхом позачергового, першочергового й чергового удосконалення дорожніх умов на тих ділянках мережі доріг, що не відповідають вимогам з боку транспортних потоків, а також надавати подальшого розвитку мережі автомобільних доріг через удосконалення їхнього транспортно-експлуатаційного стану для задоволення попиту користувачів на рух ними.

Покращення дорожніх умов як на найбільш небезпечних ділянках, так і на автомобільних дорогах взагалі, призводить не тільки до зменшення кількості ДТП та їх наслідків, але й підвищує рівень зручності руху транспортних потоків, що є вигідним для економіки країни та суспільства загалом.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДОРОЖНЬО ТРАНСПОРТНА ПРИГОАДА, ТРАНСПОРТНА МЕРЕЖА, ТРАНСПОРТНИЙ ПОТІК.

ABSTRACT

Lanovoy A.T., Vyhovska I.A. Methods for assessing conditions for continuous, safe and convenient traffic flows on roads. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv. National Transport University. 2022. – Issue 1 (51).

The article considers methods for assessing the conditions for continuous, safe and convenient movement of traffic flows by road.

The object of research is public roads.

The price of ensuring the conditions of continuous, safe and convenient movement of public roads of Ukraine should be based on general patterns of development of society and the country's economy, taking into account the financial and tax policy of the state, the specifics of the road economy, speed, density and intensity of traffic – the main components of road productivity, cost and terms of construction and costs for maintenance and repair. roads, demand for road traffic, other socio-economic indicators, including material losses from road accidents (accidents), as well as the severity of their consequences.

The developed methods of assessing the conditions for continuous, safe and convenient traffic on highways establish the priority of planning and implementation of road works aimed at ensuring transport accessibility of different territories of Ukraine, as well as improving safety and improving road convenience

through extraordinary, priority and regular improvement of road conditions on those sections of the road network that do not meet the requirements of traffic flows, as well as to provide further development of the road network through the improvement of their transport and operational condition to meet the demand of users for their movement.

Improving road conditions both in the most dangerous areas and on highways in general, leads not only to a decrease in the number of accidents and their consequences, but also increases the level of convenience of traffic flows, which is beneficial for the country's economy and society as a whole.

KEYWORDS: ROAD TRANSPORT TREAT, TRANSPORT NETWORK, TRAFFIC FLOW.

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.

РЕЦЕЗЕНТИ:

Поліщук Володимир Петрович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідуюч кафедри транспортихі системи та безпеки дорожнього руху. Київ, Україна.

Кисельов Володимир Борисович, доктор технічних наук, професор, директор навчальнонаукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету ім. В.І.Вернадського, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Vladimir Petrovich Polishchuk, doctor of technical Sciences, Professor, national transport University, head of Department «Transportation systems and traffic safety» Kyiv, Ukraine.

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, Kyiv, Ukraine.

УДК 519.862
UDC 519.862
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-260-266

ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДО ПОБУДОВИ ЛІНІЙНОЇ БАГАТОФАКТОРНОЇ МОДЕЛІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ

Лебідь В.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, vikky85@ukr.net, orcid.org/0000-0002-1260-3760

Мейш Ю.А., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, juliameish@gmail.com, orcid.org/000-0001-7492-700X

Майбородіна Н.В., кандидат фізико-математичних наук, Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Ніжинський агротехнічний інститут», Ніжин, Україна, natashamai2311@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1754-6790

Герасименко В.П., Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Ніжинський агротехнічний інститут», Ніжин, Україна, syavagvp@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4017-1141

APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING TO THE CONSTRUCTION OF A LINEAR MULTIFACTOR MODEL OF CARGO TRANSPORTATION IN INTERNATIONAL CONNECTION

Lebid V.V., Ph.D. of Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, vikky85@ukr.net, orcid.org/0000-0002-1260-3760

Meish Yu.A., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, juliameish@gmail.com, orcid.org/0000-0001-7492-700X

Maiborodina N.V., Ph.D (Physics and Mathematics), Separated Subdivision National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine «Nizhyn Agrotechnical Institute» Nizhyn, Ukraine, natashamai2311@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1754-6790

Gerasymenko V. P., Separated Subdivision National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine «Nizhyn Agrotechnical Institute» Nizhyn, Ukraine, syavagvp@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4017-1141

Постановка проблеми. Побудова моделей економічних явищ та процесів відіграє важливу роль в сучасній економіці. При цьому, в основному будуються парні моделі взаємозв'язку. Дослідження більшості економічних явищ та процесів показали, що певні результативні ознаки змінюються під впливом не одного, а кількох факторів. На сьогодні досить не велика кількість робіт пов'язаних з побудовою моделей перевезень вантажів у міжнародному сполученні, зокрема багатофакторних моделей. 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 побудові і дослідженню парних моделей взаємозв'язку [3, 8, 9]. Розв’язок даних задач базується, в основному, на застосуванні методу найменших квадратів [3 – 5]. Методика побудови і дослідження багатофакторних моделей розглянута в роботах [1, 2, 6, 7].

Метою роботи є постановка та побудова лінійної багатофакторної моделі перевезень вантажів у міжнародному сполученні.

Виклад основного матеріалу. Розглядається задача про побудову лінійної багатофакторної моделі міжнародних вантажних перевезень. Основним методом дослідження є математичне моделювання. Правильно побудована модель повинна давати відповідь на питання про кількісну оцінку обсягуміжнародних вантажних перевезень в залежності від змін зовнішнього середовища. Практична значимість побудованої моделі визначається тим, що її застосування дозволяє виявити реально існуючі зв'язки, дати обґрунтований прогноз розвитку міжнародних вантажних перевезень в заданих умовах.

Для успішної побудови математичної моделі міжнародних вантажних перевезень і їх прогнозування застосуємо поширений метод оцінювання параметрів моделі та врахуємо особливості економічної інформації, з метою кількісного вимірювання взаємозв’язку між досліджуваними процесами. Поряд з логічно правильним формальним застосуванням наявного математичного

інструментарію важливими складовими успіху дослідження є економічно адекватна постановка задачі та подальша економічна інтерпретація отриманих результатів.

Основні етапи аналізу

1. Аналіз статистичних даних підприємства.
2. Висунення гіпотези взаємозв'язку. Постановка задачі.
3. Специфікація моделі– вибір форми аналітичної залежності між показниками на підставі логічних міркувань.
4. Формулювання гіпотези у вигляді математичних співвідношень, які встановлюють зв'язки між основними змінними за припущення, що всі інші змінні є випадковими.
5. Обробка та підготовка статистичної інформації.
6. Оцінювання параметрів багатофакторної моделі.
7. Застосування моделі для прогнозування розвитку процесу перевезень вантажів у міжнародному сполученні.

Підприємство орендує або надає в оренду вантажні автомобілі, які здійснюють перевезення вантажів у міжнародному сполученні. У зв'язку з цим, можна висунути гіпотезу, що на основі даних за 2021 рік, можна висунути гіпотезу щодо побудови моделі прогнозування міжнародних вантажних перевезень на наступний рік. Моделювання набуває особливого значення для підприємств, оскільки дає змогу вивчати можливі обсяги перевезень вантажів у міжнародному сполученні без проведення експериментів на підприємстві.

Значення та вплив будь-якого економічного показника залежить від зовнішніх факторів, тому їх всі врахувати неможливо. Але в цьому і немає потреби. Зазвичай лише обмежена кількість факторів насправді істотно впливає на досліджуваний показник. Вплив інших факторів настільки незначний, що їх ігнорування не може призвести до істотних відхилень у поведінці досліджуваного об'єкта. Важливою передумовою якісного аналізу, прогнозування та керування ситуацією є виокремлення і врахування в моделі лише обмеженої кількості реально домінуючих факторів. При розгляді зв'язку між двома змінними величинами важливо встановити, яка з ознак є причиною, а яка – наслідком.

На основі даних про щомісячні обсяги кількості рейсів у міжнародному сполученні за 2021 рік (од.), загальний пробіг (км), пробіг з вантажем (км) та обсяг вантажу (т) виконаємо: 1) побудову моделі; 2) інтерпретацію оцінки параметрів моделі. Вихідні дані наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Динаміка обсягів перевезень у міжнародному сполученні за 2021 рік
Table 1 – Dynamics of international traffic in 2021

Місяць	Кількість рейсів	Загальний пробіг	Пробіг з вантажем	Обсяг вантажу
Січень	17	77585	67761	627,71
Лютий	24	109119	93990	848,4
Березень	25	110835	94939	886,34
Квітень	30	135919	118499	1165,4
Травень	24	107075	95672	877,41
Червень	26	115232	101366	931,90
Липень	29	62435	114099	1098,81
Серпень	30	131521	114674	1091,60
Вересень	23	101972	80303	857,67
Жовтень	32	138012	123093	1093,0
Листопад	27	121308	103661	633,34
Грудень	20	90332	77692	685,00

1) Побудова моделі. З логічних міркувань приймаємо, що кількість рейсів залежить від загального пробігу, пробігу з вантажем та обсягу вантажу.

Ідентифікуємо змінні: y – кількість рейсів (залежна змінна); x_1 – загального пробігу (незалежна змінна); x_2 – пробігу з вантажем (незалежна змінна); x_3 – обсягу вантажу (незалежна змінна).

Специфікуємо модель в лінійній формі.

Теоретична лінійна модель множинної регресії має вигляд (1):

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + u, \tag{1}$$

де a_0, a_1, a_2, a_3 – параметри моделі, u – випадкова складова або залишки.

Емпірична лінійна модель множинної регресії має вигляд (2):

$$\hat{y} = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 x_1 + \hat{a}_2 x_2 + \hat{a}_3 x_3, \tag{2}$$

де $\hat{a}_0, \hat{a}_1, \hat{a}_2, \hat{a}_3$ – оцінки параметрів моделі.

Оскільки ми маємо справу з вибірковою моделлю (побудована для вибірки), то параметри вибіркової моделі є випадковими величинами, а їх математичне сподівання дорівнює параметрам моделі для генеральної сукупності. Для того, щоб визначити параметри моделі для генеральної сукупності, необхідно за вибіркою отримати якомога кращі оцінки параметрів, тобто значення, найближчі до параметрів моделі генеральної сукупності. З цією метою будемо використовувати метод найменших квадратів.

Знайдемо оцінки $\hat{a}_0, \hat{a}_1, \hat{a}_2, \hat{a}_3$ параметрів моделі методом найменших квадратів, використовуючи оператор оцінювання параметрів моделі (3):

$$\hat{A} = \left(X^T \cdot X\right)^{-1} \cdot X^T \cdot Y, \tag{3}$$

де $\hat{A}$ – вектор оцінок параметрів $\hat{a}_0, \hat{a}_1, \hat{a}_2, \hat{a}_3$; X^T – матриця, транспонована до матриці X; $\left(X^T \cdot X\right)^{-1}$ – матриця, обернена до матриці $X^T \cdot X$.

Для відшукання вектора оцінок $\hat{A}$ виконаємо наступні кроки.

Запишемо вихідні дані в матричному вигляді: вектор-стовпець залежної змінної $Y_{12\times1}$ та матрицю незалежних змінних $X_{12\times4}$ (оскільки вважаємо, що в моделі присутня оцінка $\hat{a}_0$, то в перший стовпець матриці X записуємо одиниці) (числа 12×1 та 12×4 вказують на розмір матриць – кількість рядків та стовпців матриці):

$$Y_{12\times1} = \begin{pmatrix} 17 \\ 24 \\ 25 \\ 30 \\ 24 \\ 26 \\ 29 \\ 30 \\ 23 \\ 32 \\ 27 \\ 20 \end{pmatrix}, \qquad X_{12\times4} = \begin{pmatrix} 1 & 77585 & 67761 & 627{,}71 \\ 1 & 109119 & 93990 & 848{,}4 \\ 1 & 110835 & 94939 & 886{,}34 \\ 1 & 135919 & 118499 & 1165{,}4 \\ 1 & 107075 & 95672 & 877{,}41 \\ 1 & 115232 & 101366 & 931{,}9 \\ 1 & 62435 & 114099 & 1098{,}81 \\ 1 & 131521 & 114674 & 1091{,}6 \\ 1 & 101972 & 80303 & 857{,}67 \\ 1 & 138012 & 123093 & 1093 \\ 1 & 121308 & 103661 & 633{,}34 \\ 1 & 90332 & 77692 & 685 \end{pmatrix}.$$

Запишемо матрицю X^T – транспоновану до матриці X:

$$X^T_{4\times 12} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 77585 & 109119 & 110835 & 135919 & 107075 & 115232 & 62435 & 131521 & 101972 & 138012 & 121308 & 90332 \\ 67761 & 93990 & 94939 & 118499 & 95672 & 101366 & 114099 & 114674 & 80303 & 123093 & 103661 & 77692 \\ 627,71 & 848,4 & 886,34 & 1165,4 & 877,41 & 931,9 & 1098,81 & 1091,6 & 857,67 & 1093 & 633,34 & 685 \end{pmatrix}$$

Знайдемо добуток матриць $X^T \cdot X$:

$$X^T \cdot X = \begin{pmatrix} 12 & 1301345 & 1185749 & 10796,58 \\ 1301345 & 1469452343\,03 & 1310426091\,36 & 1188432908,91 \\ 1185749 & 1310426091\,36 & 1204601138\,03 & 1095765947,43 \\ 10796,58 & 1188432908,91 & 1095765947,43 & 10095409,44 \end{pmatrix}.$$

Зверніть увагу на те, що елементи матриці $X^T \cdot X$ симетричні відносно головної діагоналі. Знайдемо матрицю $\left(X^T \cdot X\right)^{-1}$, обернену до матриці $X^T \cdot X$ (оскільки матриця розміру $\left(X^T \cdot X\right)_{4\times 4}$, то обернена до неї матриця такого ж розміру $\left(X^T \cdot X\right)^{-1}_{4\times 4}$):

$$\left(X^T \cdot X\right)^{-1} = \begin{pmatrix} 3,38744818\,89 & -0,00000925\,62 & -0,00001839\,44 & -0,00053653\,14 \\ -0,00000925\,62 & 0,00000000\,03 & -0,00000000\,03 & 0,00000000\,8 \\ -0,00001839\,44 & -0,00000000\,03 & 0,00000000\,12 & -0,00000007\,71 \\ -0,00053653\,14 & 0,00000000\,8 & -0,00000007\,71 & 0,00000809\,63 \end{pmatrix}.$$

Зверніть увагу на те, що елементи матриці $\left(X^T \cdot X\right)^{-1}$ також симетричні відносно головної діагоналі.

Знайдемо добуток матриць $X^T \cdot Y$. Оскільки $X^T_{4\times\underline{12}} \cdot Y_{\underline{12}\times 1} = \left(X^T \cdot Y\right)_{4\times 1}$, одержимо матрицю:

$$X^T \cdot Y = \begin{pmatrix} 307 \\ 33952019 \\ 31155509 \\ 283556,49 \end{pmatrix}.$$

Знайдемо матрицю $\hat{A}$, яка являє собою добуток матриці $\left(X^T \cdot X\right)^{-1}$ на матрицю $X^T \cdot Y$.

Оскільки $\left(X^T \cdot X\right)^{-1}_{4\times\underline{4}} \cdot \left(X^T \cdot Y\right)_{\underline{4}\times 1} = \hat{A}_{4\times 1}$, одержимо:

$$\hat{A} = \begin{pmatrix} 0,45545 \\ 0,00001 \\ 0,00023 \\ 0,00152 \end{pmatrix}.$$

Знайдені методом найменших квадратів оцінки параметрів такі:

$$\hat{a}_0 = 0,45545; \quad \hat{a}_1 = 0,00001; \quad \hat{a}_2 = 0,00023; \quad \hat{a}_3 = 0,00152.$$

Отже, теоретична лінійна модель множинної регресії має вигляд:

$$y = 0{,}45545 + 0{,}00001x_1 + 0{,}00023x_2 + 0{,}00152x_3 + u. \quad (4)$$

Для практичного застосування даної моделі, випадкову складову u в формулі (4) відкидаємо і одержуємо емпіричну лінійну модель множинної регресії:

$$y = 0{,}45545 + 0{,}00001x_1 + 0{,}00023x_2 + 0{,}00152x_3. \quad (5)$$

2) Інтерпретуємо оцінки параметрів моделі.

Оцінка $\hat{a}_1 = 0{,}00001$ показує, що при збільшенні загального пробігу на 1 км кількість рейсів зростає на $0{,}00001$ одиниці (за умови, що пробіг з вантажем та обсяг вантажу залишаться не змінними).

Оцінка $\hat{a}_2 = 0{,}00023$ показує, що при збільшенні пробігу з вантажем на 1 км кількість рейсів зростає на $0{,}00023$ одиниці (за умови, що ціна конкуруючого товару та ціна власного товару будуть не змінними).

Оцінка $\hat{a}_3 = 0{,}00152$ показує, що при збільшенні обсягу вантажу на 1 т кількість рейсів зростає на $0{,}00152$ одиниці (за умови, що ціна конкуруючого товару та рівень доходу споживачів будуть не змінними).

Для прийняття рішення про зміни в перевезенні вантажу обов'язково слід проаналізувати, якою мірою змінюється кількість рейсів зі зміною загального пробігу, пробігу з вантажем та обсягу вантажу.

Спрогнозуємо кількість рейсів $y_{пр}$ за умови, що загальний пробіг – $x_{1пр} = 100000$ км, пробіг з вантажем – $x_{2пр} = 90000$ км та обсяг вантажу – $x_{3пр} = 1000$ т. Обчислимо кількість рейсів, використовуючи формулу (5):

$$y_{пр} = 0{,}45545 + 0{,}00001 \cdot 100000 + 0{,}00023 \cdot 90000 + 0{,}00152 \cdot 1000 = 23{,}6338.$$

Після округлення $23{,}6338$ до цілих отримаємо прогнозовану кількість рейсів $y_{пр} = 24$.

Висновки. В даній роботі представлена постановка задачі про залежність кількості міжнародних рейсів від загального пробігу, пробігу з вантажем та обсягу вантажу. Побудована багатофакторна лінійна модель для заданої залежності. Наведена інтерпретація оцінок параметрів моделі. Одержана модель дає змогу проводити кількісний аналіз роботи підприємства та прогнозувати кількість рейсів при заданих значеннях загального пробігу, пробігу з вантажем та обсягу вантажу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Анфилатов В.С. Системный анализ в управлении / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукеушкин // Учебное пособие под ред. А.А.Емельянова. – М. Финансы и статистика, 2002. – 368 с.

2. Горбачев П.Ф. Подход к построению модели функционирования транспортного процесса при международных перевозках / П.Ф. Горбачев, Т.В. Немна // Автомобильный транспорт, 2015. № 37. С. 39–48

3. Грачевая М.В. Количественные методы в экономических исследованиях: учебник для вузов / М.В. Грачевая, Л.Н. Фадеева, Ю.Н.Черемных. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 794 с.

4. Біліченко В.В. Моделювання стратегій розвитку організаційно-технічних виробничих систем на автомобільному транспорті / Біліченко В.В.// Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2009, №2. - С. 103-107.

5. Лугінін О.Є. Економетрія: навч. посібник / Лугінін О.Є, Білоусова С.В., Білоусов О.М. – К.: Центр навчальної літератури, 2005. – 254 с.

6. Майбородіна Н.В. Економетрика: навчальний посібник / Майбородіна Н.В. – Ніжин: ПП Лисенко М.М., 2021. – 280 с.

7. Наконечний С.І. Економетрія: підручник / Наконечний С.І., Терещенко Т.О., Романюк Т.П. – К.: КНЕУ, 2004. – 520 с.

8. Рудяк Ю. Всѐ об учѐте и организации транспортно–экспедиторской деятельности / Рудяк Ю., Піроженко О., Маханько О., Кузнєцов В. – [4-е вид.]. – Х. : Фактор, 2008. – 448 с. – (Серія «Усе про облік та організацію»).

9. Лубенцова В.С. Математические методы в логистике / В.С. Лубенцова. Под ред. В.П. Радченко // учеб.пособие. – Самара.: Самар.гос.техн.ун-т, 2008. – 157с.: ил.

REFERENCES

1. Anfilatov, V.S. (2002) Sistemnyi analiz v upravlenii [System analysis in management: Text book edited by A.A. Emelianov] / V.S. Anfilatov, A.A. Emelianov, A.A. Kukeushkin. – M.: Finansy i statistika [Finance and Statistics], 368 p. [in Russian].

2. Horbachev, P.F. (2015) Podkhod k postroeniiu modeli funktsionirovaniia transportnoho protsessa pri mezhdunarodnykh perevozkakh [The approach to building a model of functioning of the transport process in international transport] / P.F. Horbachev, T.V. Nemna // Avtomobilnyi transport [Automobile transport], № 37. P. 39–48. [in Ukrainian].

3. Hrachevaia, M.V. (2004) Kolichestvennye metody v ekonomicheskikh issledovaniiakh: uchebnik dlia vuzov [Quantitative methods in economic research: a textbook for universities] / M.V. Hrachevaia, L.N. Fadeeva, Yu.N. Cheremnykh. – M.: UNITI-DANA [UNITI-DANA], 794 p.[in Russian].

4. Bilichenko V.V. (2009) Modeliuvannia stratehii rozvytku orhanizatsiino-tekhnichnykh vyrobnychykh system na avtomobilnomu transporti [Modeling of strategies for the development of organizational and technical production systems in road transport]/ Bilichenko V.V.// Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu [Bulletin of Vinnytsia Polytechnic Institute], 2009, №2. - S. 103-107. [in Ukrainian].

5. Luhinin, O.E. (2005) Ekonometriia: navchalnyi posibnyk [Econometrics: a textbook] / O.E. Luhinin, S.V.Bilousova, O.M.Bilousov. – K.: Tsentr navchalnoi literatury [Center for Educational Literature], 254 p. [in Ukrainian].

6. Maiborodina, N.V. (2021) Ekonometryka: navchalnyi posibnyk [Econometrics: a textbook] / N.V. Maiborodina. – Nizhyn: PP Lysenko M.M. [PP Lysenko M.M.], – 280 p. [in Ukrainian].

7. Nakonechnyi, S.I. (2004) Ekonometriia: pidruchnyk [Econometrics: textbook] / S.I. Nakonechnyi, T.O. Tereshchenko, T.P. Romaniuk – K.: KNEU [KNEU], 520 p. [inUkrainian].

8. RudiakYu. (2008) Vsèobuchète i orhanyzatsii transportno–tkspedytorskoi deiatelnosti [All about accounting and organization of transport and forwarding activities] / Yu. Rudiak, O. Pirozhenko, O. Makhanko, V. Kuznietsov/ – Kh.: Faktor [Factor], 448 p. – (Seriia «Use pro oblik ta orhanizatsiiu») [(Series «All about accounting and organization»)].[in Ukrainian].

9. Lubentsova V.S. (2008) Matematycheskye metody v lohystyke [Mathematical methods in logistics] / V.S. Lubentsova. Pod red. V.P. Radchenko // ucheb.posobye. – Samara.: Samar.hos.tekhn.un-t [Samar.gos.techn.un-t], 2008. – 157 [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Лебідь В.В. Застосування математичного моделювання до побудови лінійної багатофакторної моделі перевезень вантажів у міжнародному сполученні / В.В Лебідь, Ю.А. Мейш, Н.В. Майбородіна, В.П. Герасименко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

В роботі приведено постановку задачі про побудову багатофакторних моделей міжнародних вантажних перевезень.

Об’єктом дослідження є багатофакторна модель міжнародних вантажних перевезень.

Мета роботи полягає в постановці задачі та побудові лінійної багатофакторної моделі міжнародних вантажних перевезень.

Методи дослідження включають основні положення теорії математичного моделювання, економетричні методи побудови моделей реальних процесів.

Розглянуто постановку задачі та побудована лінійна багатофакторна модель міжнародних вантажних перевезень.

Отримані в роботі результати можуть бути використані для прогнозування роботи транспортного підприємства.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЛІНІЙНА МОДЕЛЬ, БАГАТОФАКТОРНА МОДЕЛЬ, МІЖНАРОДНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ВАНТАЖНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ЕКОНОМЕТРИЧНІ МЕТОДИ

ABSTRACT

Lebid V.V., Meish Yu.A., Maiborodina N.V., Gerasymenko V.P. Application of mathematical modeling to the construction of a linear multifactor model of cargo transportation in international connection. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The paper presents the problem of building multifactor models of international freight.

The object of the study is a multifactor model of international freight.

The purpose of the work is to set the problem and build a linear multifactor model of international freight.

Research methods include the main provisions of the theory of mathematical modeling, econometric methods of building models of real processes.

The problem statement is considered and the linear multifactor model of international freight transport is constructed.

The results obtained in the work can be used to predict the operation of a transport enterprise.

KEY WORDS: LINEAR MODEL, MULTIFACTOR MODEL, INTERNATIONAL TRANSPORTATION, FREIGHT TRANSPORTATION, ECONOMETRIC METHODS

АВТОРИ:

Лебідь Вікторія Вікторівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, доцент, e-mail: Vikky85@ukr.net, тел. +380678959339, Україна, 01010, м. Київ, вул. Бойчука 42, к. 203, orcid.org/0000-0002-1260-3760

Мейш Юлія Анатоліївна, доктор технічних наук, Національний транспортний університет, професор кафедри вищої математики, професор, e-mail: juliameish@gmail.com, тел. +380954035196, Україна, 01010, м. Київ, вул. Бойчука 42, к. 203, orcid.org / 0000-0001-7492-700X

Майбородіна Наталія Вікторівна, кандидат фізико-математичних наук, Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Ніжинський агротехнічний інститут», старший викладач кафедри природничо-математичних та загальноінженерних дисциплін,e-mail: natashamai2311@gmail.com,тел. +380687003676, Україна, 16600, м. Ніжин, вул. Шевченка 10, к. 101, orcid.org/0000-0003-1754-6790

Герасименко В'ячеслав Панасович, Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Ніжинський агротехнічний інститут», старший викладач кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки,e-mail: syavagvp@gmail.com, тел. +380681527251, Україна, 16600, м. Ніжин, вул. Шевченка 10, к. 231, orcid.org/0000-0002-4017-1141

AUTHOR:

Lebid Viktoriia Viktorivna, Ph.D of Technical Science, National Transport University, department of international freight shipments and customs control, associate professor, e-mail: Vikky85@ukr.net, tel. +380678959339, Ukraine, 01010, Kyiv, Boychukstr. 42, of. 203, orcid.org / 0000-0001-7492-700X

Meish Yuliya Anatolievna, Doctor of Technical Science, National Transport University, Higher mathematics department, professore - mail: juliameish@gmail.com, tel. +380954035196, Ukraine, 01010, Kyiv, Boychuk str. 42, of. 203, orcid.org / 0000-0001-7492-700X

Maiborodina NataliiaV iktorivna, Ph.D (Physics and Mathematics), Separated Subdivision National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine «Nizhyn Agrotechnical Institute», senior lecturer of the department of natural-mathematical and general engineering disciplines, e-mail: natashamai2311@gmail.com, tel. +380687003676, Ukraine, 16600, Nizhyn, Shevchenka str. 10, of. 101, orcid.org/0000-0003-1754-6790

Gerasymenko Viacheslav Panasovych, Separated Subdivision National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine «Nizhyn Agrotechnical Institute», senior lecturer of the department of electric power, electrical engineering and electromechanics,e-mail: syavagvp@gmail.com, tel. +380681527251,Ukraine, 16600, Nizhyn, Shevchenka str. 10, of. 231, orcid.org/0000-0002-4017-1141

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мельниченко О.І, кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, вчений секретар Національного транспортного університету, Київ, Україна.

Роскладка Андрій Анатолійович, доктор економічних наук, кандидат фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри цифрової економіки та системного аналізу, Київський національний торгівельно-економічний університет, Київ, Україна.

REVIEWER:

Melnichenko OI, Ph.D.of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Scientific Secretary, Kyiv, Ukraine.

Roskladka Andriy Anatoliyovych, Doctor of Economics, Ph.D.of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head of the Department of Digital Economics and Systems Analysis, Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine.

УДК 625.85
UDC 625.85
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-267-274

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЗЧЕПЛЕННЯ МІЖ ШАРАМИ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

Левківська Л.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, l_v_g@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5589-5257

Гринчак І.І., Національний транспортний університет, Київ, Україна, ilonaborovyk@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8382-3824

Елаллак Д.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна, jafarmoosa_77@ukr.net, orcid.org/0000-0001-9045-7351

ANALYSIS OF EXISTING METHODS FOR ASSESSING THE QUALITY OF ADHESION BETWEEN LAYERS OF ROADWEAR

Levkivska L.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, l_v_g@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5589-5257

Hrynchak I.I., National Transport University, Kyiv, Ukraine, ilonaborovyk@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8382-3824

Elallak J.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine, jafarmoosa_77@ukr.net, orcid.org/0000-0001-9045-7351

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими й практичними завданнями. Сучасний світовий та вітчизняний досвід забезпечення якості конструкції дорожнього одягу з асфальтобетонними шарами свідчить про необхідність забезпечення повного їх зчеплення у процесі експлуатації.

При моніторингу якості виконаних робіт з улаштування асфальтобетонної конструкції автомобільних доріг залишаються проблемними питання з оцінки зчеплення між її шарами та стійкості при зсуві під впливом зміни зовнішніх умов (температури, активного навантаження і частоти його прикладання). Відсутність дійових методів та відповідного сучасного обладнання або приладів не дозволяє вирішити ці питання, що, в свою чергу, не дає можливості контролювати якість асфальтобетонної конструкції, впливати на склад асфальтобетонної суміші при проектуванні дорожнього одягу з метою покращення її технічних характеристик. Для вирішення цих питань необхідно провести науковий пошук і аналіз вітчизняних та зарубіжних досліджень існуючих методів оцінки якості зчеплення між асфальтобетонними шарами дорожнього одягу. Лише їх детальне вивчення дозволить розробити оптимальну методику розрахунку міцності зчеплення та стійкості при зсуві між шарами асфальтобетонної конструкції автомобільних доріг і автоматизований прилад для їх визначення.

Аналіз публікацій, в яких розпочато дослідження даної проблеми і на які спираються автори. В останні роки було проведено багато вітчизняних та зарубіжних досліджень якості зчеплення між асфальтобетонними шарами [1-9]. На основі їх аналізу виявлено ряд методів визначення якості зчеплення між різними шарами дорожніх одягів з урахуванням умов їх роботи.

Всі вони засвідчили, що однією з основних причин передчасного руйнування новозбудованих або відремонтованих покриттів нежорсткого типу є низька міцність міжшарового зчеплення в зоні контакту знову укладеного матеріалу з нижче розташованим шаром, оскільки умова міцного зв'язку між шарами найчастіше не дотримується. При експлуатації дорожніх покриттів на контакті між шарами відбуваються відносні зміщення, які є ознакою недостатньої міцності міжшарового зчеплення при динамічних впливах транспортних засобів і, як наслідок, виникнення високочастотних коливань призводить до швидкого руйнування дорожніх покриттів.

Мета роботи – здійснити аналіз існуючих методів, приладів та обладнання оцінки якості зчеплення між асфальтобетонними шарами при зсуві в конструкції дорожнього одягу.

Викладення основного матеріалу досліджень. Створення міцного контакту між шарами дорожнього одягу за рахунок їх достатнього зчеплення є обов’язковою і важливою умовою, що передбачається розрахунковими схемами роботи конструкцій дорожнього одягу з асфальтобетонними шарами при їх проектуванні згідно нормативних документів, які діють в останні роки. Однак, як показує практика, не завжди вдається забезпечити необхідне зчеплення між асфальтобетонними

шарами. Дослідження багатьох вчених свідчать, що найбільш поширеними причинами цього є: невідповідність технологічних режимів укладання шарів дорожнього одягу, перш за все температурних; не врахування фізико-механічних властивостей матеріалів на етапі будівництва; впливу кліматичних і механічних чинників, або найчастіше їх комплексного впливу на етапі експлуатації автомобільної дороги та інше [1-2].

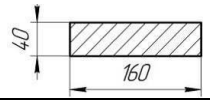
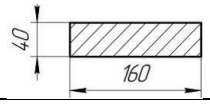
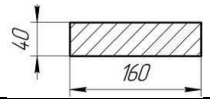
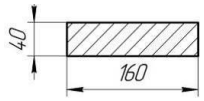
Так, у публікації [3] звертається увага на те, що під дією вертикального навантаження від колеса автомобіля в шарах дорожнього одягу виникають зсувні напруження. Якщо ці напруження перевищують опір зсуву матеріалу, то внаслідок порушення граничної рівноваги виникають та поступово накопичуються від багаторазового навантаження залишкові деформації. В результаті дорожній одяг починає руйнуватися. Отже, будь-який міцний дорожній одяг протягом року не повинен мати залишкових деформацій, тобто повинен працювати в стадії оборотних (пружних) деформацій. Опір зсуву зазвичай різко знижується в весняний період при підвищеному зволоженні.

Зсувостійкість асфальтобетонного шару посилення залежить, з одного боку, від міцності шару, а з іншого боку від міжшарового зчеплення його з нижнім шаром.

Крім зсувних зусиль, що виникають в шарах дорожніх одягів від вертикального колісного навантаження, горизонтальні зусилля виникають від дії крутного моменту при русі автомобіля, збільшуючись при зміні швидкості руху, зрушенні автомобіля з місця і досягають максимуму при гальмуванні. Співвідношення вертикальної і горизонтальної складових навантаження залежать від режимів руху, профілю поверхні проїзної частини, зчеплення колеса з покриттям, конструктивних особливостей автомобіля і досягає в більшості випадків 75% від вертикальних навантажень. Сумарні максимальні напруження виникають на глибині 4-10 см від поверхні, тобто на нижній границі шару посилення. Авторами експериментально продемонстровано значення міжшарового зчеплення при випробуванні моделей на згин. Результати випробувань наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Вплив міжшарового зчеплення на спільну роботу шару з нижче розташованим шаром

Table 1 – Effect of interlayer adhesion on the co-operation of a layer with an underlying layer

№ моделі	Модель $40\times40\times160$ *мм*	Міцність на розтяг при згині *МПа*	Адгезив	Технологічні параметри
1		3,12	Модель суцільна	Температура суміші $140^{\circ}C$ Ущільнююче навантаження 40 *МПа*
2		2,82	Гас 0,1 $л/м^2$ Бітум 0,25 $л/м^2$	Температура суміші $140^{\circ}C$ Температура бітуму $130^{\circ}C$ Ущільнююче навантаження 40 *МПа*
3		2,38	Бітум 0,55 $л/м^2$	Температура суміші $140^{\circ}C$ Температура бітуму $130^{\circ}C$ Ущільнююче навантаження 40 *МПа*
4		1,61	Без адгезиву	Температура суміші $140^{\circ}C$ Ущільнююче навантаження 40 *МПа*

Для підтвердження впливу якості міжшарового зчеплення на величину розтягу при згині монолітних шарів нежорстких дорожніх одягів у лабораторних умовах [4] були виготовлені двошарові зразки з асфальтобетонної суміші. Для моделювання різної величини і якості міжшарового зчеплення використовувались дві серії зразків: із забезпеченим міжшаровим зчепленням і без забезпеченого зчеплення між шарами асфальтобетону. Для імітації відсутності міжшарового зчеплення на межу розділення асфальтобетонних шарів був прикладений просочений технічним маслом папір. Результати випробувань зразків на розтяг при згині наведені на рис. 1 (при температурі 10º С).

Аналізуючи отримані дані, відзначено зниження міцності на розтяг при згині зразків без забезпеченого міжшарового зчеплення на 30% по відношенню до зразків із забезпеченим міжшаровим зчепленням. Це обумовлено тим, що при незабезпеченому міжшаровому зчепленні шари дорожнього

одягу працюють не як єдина система, а як пакет окремих незв'язаних шарів, що призводить до зниження міцності на розтяг при згині всієї конструкції, і як наслідок у процесі експлуатації такі покриття почнуть передчасно руйнуватися.

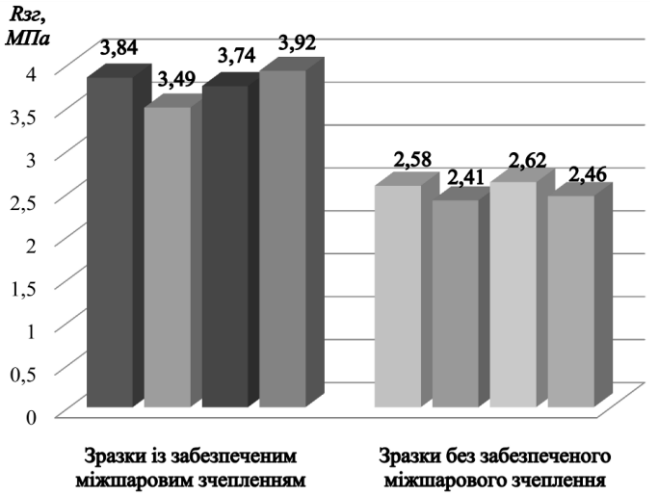


Рисунок 1 – Міцність на розтяг при згині випробувальних зразків
Figure 1 – Tensile strength in bending of test specimens

У дослідженнях [5] було встановлено особливості напружено-деформованого стану тонкошарових покриттів. Відмічалось, що оцінка здатності тонких шарів підвищувати загальний модуль пружності при повному зчепленні з жорсткою основою зводиться максимум до 3% його збільшення, тоді як нежорстких — до 19%. Результат свідчив про необхідність перевірки жорсткості основи перед тим як влаштовувати тонкошарове покриття. Склад матеріалу і технологічні процеси повинні забезпечувати якомога більш високе співвідношення жорсткості шару та основи, щоб втрата довготривалої міцності наступала майже одночасно як на його поверхні, так і на підошві. Також було встановлено, що для забезпечення довговічності тонкошарового покриття необхідно забезпечити його надійне міжшарове зчеплення з поверхнею основи.

Широкі дослідження негативного впливу недостатнього зчеплення між монолітними шарами дорожнього одягу проводились і в роботі [6]. У цих дослідженнях констатується, що у практиці будівництва, і особливо експлуатації дорожніх одягів, не завжди вдається забезпечити надійне замонолічення шарів покриття та їх спільну роботу на контакті. В цьому випадку покриття може являти собою багатошарову систему з вільним зміщенням шарів на контактах, розрахункова схема для якої відрізняється від прийнятої нормативної. Небезпека розшарування покриття полягає, перш за все, в тому, що кожен шар працює на стиск-розтяг. При цьому величини радіальних напружень, які працюють на розтяг, зростають у порівнянні з розрахунковими, що призводить до появи мікротріщин і їх подальшого розвитку. Відмічається, що існує кілька об'єктивних причин, через які відбувається розшарування покриття:

1) На тріщиностійкість монолітні покриття перевіряються при температурі 0°С, коли матеріал досить міцний, але крихкий. Всі параметри пружності асфальтобетону в цей період мають практично максимальні значення, в тому числі і зчеплення між шарами. Тому розривів (розшарування) покриття не виникає. У літній же період при деякому підвищенні міцності основи, покриття «розігріваються», при цьому знижуються деформативні і міцнісні характеристики асфальтобетонів. За цих умовах при зниженні параметрів міцності асфальтобетону, і перш за все зниженні зсувостійкості, цілком реальним стає розрив на контакті шарів, що провокує подальший розвиток тріщини.

2) Товстошарові або багатошарові покриття влаштовують з окремих шарів, часто з асфальтобетону різних типів і марок. Верхній шар повинен, як би, «приваритися» до нижнього, для чого можуть робити підгрунтовку по нижньому шару. В обов'язковому порядку підгрунтовка здійснюється при посиленні існуючих асфальтобетонних покриттів. У результаті таких технологічних операцій на контакті шарів утворюється тонкий граничний шар, вміст бітуму в якому більший ніж в основному масиві асфальтобетону. Характеристики міцності, в тому числі зсувостійкість асфальтобетону, в цьому випадку знижуються.

Зсувостійкість покриття відіграє головну роль при влаштуванні асфальтобетонних шарів, особливо у випадку його армування. Тому, в Європі, при використанні геосинтетичних матеріалів в

шарах дорожнього одягу, одним із головних є випробування на зріз асфальтобетонного керна по армуючому матеріалу.

Відповідно до німецького стандарту DIN 1996 T7 [7] зчеплення шарів асфальтобетонного покриття визначається за величиною опору зсуву керна діаметром 0,15 м, чисельне значення якого має становити не менше 15 кН. Загальний вигляд такого обладнання на момент проведення експерименту та схема навантаження представлені на рис. 2.

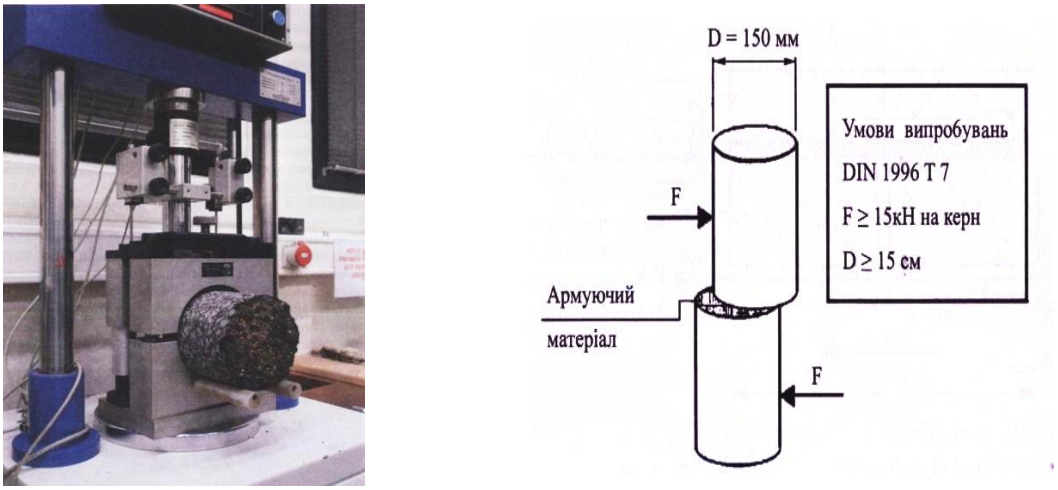


Рисунок 2 – Випробування керна з асфальтобетонного покриття
на опір зсуву за стандартом DIN
Figure 2 – Testing of a core from an asphalt concrete covering on shear
resistance according to the DIN standard

Вимоги до опору асфальтобетонного керна зсуву також регламентуються нормативним документом FGSV Nr. 69 [8]. Керн з армованого плоскою просоченою бітумом полімерною георешіткою HaTelit показав в результаті лабораторних випробувань на зсувостійкість опір 26,27 кН по DIN 1996 T7. У разі зміни діаметра випробовуваного керна вимогу до мінімального значення опору зразка зсуву корелюють враховуючи пропорційність даного значення квадрату діаметра керна. При використанні HaTelit в якості армуючого матеріалу для асфальтобетону вимоги даного стандарту виконуються при дотриманні технологій укладання асфальтобетонної суміші і армуючого геосинтетичного матеріалу.

Методику дослідження на зсувостійкість на межі асфальтобетонних шарів при армуванні зразків різними матеріалами запропонували в Технологічному університеті м. Дельфт, Нідерланди [9]. Отримані за цією методикою результати дозволяють оцінити міцність на зсув зразків покриття як без армуючого геосинтетичного матеріалу так і з ним.

Розроблена закордонна методика чисельної оцінки зчеплення полягає в наступному. Попередньо в покритті акуратно робиться кільцевий надріз на глибину, що перевищує товщину асфальтобетону. Ця операція виконується з використанням керновідбірника при пониженій подачі коронки та підвищених витратах води для того, щоб не пошкодити керн. Якщо керн відривається у процесі свердління, то зчеплення досліджуваних шарів вважається незадовільним.

Після засвердлювання коронки на глибину більшу, ніж проектна товщина досліджуваних шарів (визначається за характерною зміною кольору пульпи або труднощах проходження засвердлювання) на керн встановлюється захват, який приєднується до попередньо відтарованого гідроциліндра. Повільно підвищується тиск у гідроциліндрі на забір штоку. За максимальним тиском в гідроциліндрі визначається зусилля в момент відриву керна. Схема такого випробування представлена на рис. 3.

Для вимірювання зусилля відриву асфальтобетонного керна за цією методикою необхідне обладнання:

– спеціальний цанговий захват керна Ø 97 мм,

– гідроциліндр, шарнірно підвішений до триноги і з'єднаний із заховатом,

– насосна станція із зразковим манометром для визначення тиску в гідроциліндрі.



Рисунок 3 – Оцінка зчеплення між шарами дорожнього одягу
Figure 3 – Assessment of adhesion between layers of pavement

Виконані дослідження дозволили охарактеризувати міцність зчеплення шарів дорожнього одягу наступними значеннями:

1) до 15 кПа - окремі шари (відсутність зчеплення);

2) 15 - 50 кПа - розділяється на окремі частини при легкому ударі (недостатнє зчеплення);

3) 50 – 70 кПа – розділяється на окремі частини у лабораторії при нагріві (задовільне зчеплення для експлуатації покриття);

4) більше 70 кПа – розділення тільки при механічній дії в лабораторії (гарантоване зчеплення для експлуатації покриття в період терміну експлуатації).

Виходячи з цього, у випадку необхідності, посилаються на спосіб визначення зчеплення, що використовується в Німеччині, який показує величину опору зсуву. Але, як показала практика, лабораторії даним обладнанням не оснащені і не володіють цією методикою.

В Україні зчеплення асфальтобетонних шарів визначається нормативними документами [10-11]. Для перевірки якості асфальтобетону з конструктивних шарів дорожнього одягу відбирають проби у вигляді циліндричних зразків-кернів діаметром не менше ніж 100 мм, використовуючи керновідбірник, або у вигляді вирубки прямокутної форми розміром не менше ніж 0,25 м × 0,25 м та не більше ніж 0,5 м × 0,5 м, використовуючи наріжчик швів або мотоблок з алмазним кругом.

Проби відбирають для шарів з сумішей:

– асфальтобетонних гарячих, асфальтополімербетонних та щебенево-мастикових — не раніше ніж через 1 добу після їх влаштування;

– асфальтобетонних та асфальтополімербетонних холодних — не раніше ніж через 15 діб після їх влаштування.

Зразки-керни або вирубки відбирають на відстані (200 — 300) м від початку ділянки влаштованого шару та один від одного у поздовжньому напрямку, рівномірно по ширині влаштованого шару. Для ділянок невеликої довжини, що не забезпечує можливість відбирання не менше ніж трьох проб, зразки-керни або вирубки відбирають через рівні проміжки по всій ширині влаштованого шару.

За взятою пробою визначають якість зчеплення між конструктивними шарами дорожнього одягу.

Зчеплення вважають задовільним, якщо при вилученні проби з дорожнього одягу вона зберігає монолітність та не розділяється на окремі частини в місцях контактних поверхонь під час удару молотком масою близько 1 кг.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.

Здійснено літературний огляд даних про існуючі аналітичні та есперементальні методи оцінки зчеплення при зсуві між асфальтобетонними шарами та проведено аналіз факторів, що впливають на міжшарові дотичні напруження і деформації та призводять до втрати стійкості при зсуві на автомобільних дорогах України. За результатами проведених досліджень з урахуванням кліматичних умов та параметрів навантаження від сучасних транспортних засобів можна в подальшому виконати

обґрунтування параметрів оптимальної методики визначення якості зчеплення між асфальтобетонними шарами дорожнього одягу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Левківська Л.В. Аналіз факторів впливу на міцність зчеплення між асфальтобетонними шарами дорожнього одягу / Л.В. Левківська, Д.М. Елаллак // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник. Вип. 109. 2021. С. 26 – 32.

2. Левківська Л.В. Дослідження причин передчасного руйнування дорожніх покриттів / Л.В. Левківська, Д.М. Елаллак // Proceeding of the 5th International scientific and practical conference — Priority directions of science and technology development (January 24-26, 2021) /Editor Komarytskyy M. L. SPC —Sci-conf.com.ua, Kyiv, Ukraine. 2021. P 442 - 447.

3. Підвищення міцності і зсувостійкості асфальтобетонних шарів посилення на нежорстких дорожніх одягах / М.С. Стороженко, Н.С. Аринушкіна, Т.М. Грищенко // Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої 80-річчю ХНАДУ та дорожньо-будівельного факультету. Харків: ХНАДУ, 2010. С. 155-159.

4. Минаков А.С. Влияние обеспеченности межслойного сцепления на прочность дорожных одежд нежесткого типа / А.С. Минаков, И.В. Кияшко // Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої 80-річчю ХНАДУ та дрожньо-будівельного факультету. Харків: ХНАДУ, 2010. С. 112-115.

5. Гамеляк І.П. Чисельний аналіз напружено-деформованого стану тонкошарових покриттів дорожнього одягу / І.П. Гамеляк, О.Г. Островерхий // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник. Вип. 61. 2001. С. 118-126.

6. Гладкий А.В. Особливості розрахунку на міцність багатошарових покриттів і підсилення нежорсткого дорожнього одягу / А.В. Гладкий, В.Н. Ряпухін В.Н. // Дороги і мости: збірник наукових праць. Вип. 4. 2006. С.232-247.

7. DIN 1996 Teil 7. Priifung von Asphalt. Bestimmung von Rohdichte, Raumdichte, Hohiraumgehalt und Verdichtungsgrad. – Berlin: DIN Deut-schesInstitut fur Normung e. V. 1992. 10 S.

8. Verwendung von Vliesstoffen, Gittem und Verbundstof-fen im Asphaltstrafienbau. FGSV Arbeitspapier Nr. 2010. 14 S.

9. De Bondt A. H. Anti-Reflective Cracking Design of (Reinforced) Asphalt Overlays. — Delft: Delft University of Technology, 1999. 411p.

10. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. – К.: ДП ”УкрНДНЦ“, 2017. – 71с.

11. СОУ 45.2-00018112-046:2009. Асфальтобетон дорожній. Методика оцінки зчеплення між асфальтобетонними шарами при зсуві. – К.:”УКРАВТОДОР“, 2009. – 15с.

REFERENCES

1. Levkivska, L.V. & Elallak, D.M. (2021). Analiz faktoriv vplyvu na mitsnist zcheplennia mizh asfaltobetonnymy sharamy dorozhnogo odiagy [Analysis factors affecting formation on the clutch durability between asphalt-concrete layers of road clothing] *Avtomobilni dorogy i dorohnie budivnytstvo, Naukovo tekhnichnyi zbirnyk – Avtomobile roads and road constraction. Scientific and technical collection, 109,* 26 – 32 [in Ukrainian].

2. Levkivska, L.V., & Elallak, D.M. (2021). Doslidzhennia prychyn peredchasnogo ruinuvannia dorozhnikh pokryttiv [Investigation of the causes of premature destruction of road surfaces]. M. L. Komarytskyy (Eds.), Proceeding of the 5th International scientific and practical conference — Priority directions of science and technology development (January 24-26, 2021) /Editor Komarytskyy M. L. SPC —Sci-conf.com.ua, Kyiv, Ukraine. 2021. P 442 - 447 [in Ukrainian].

3. Storozhenko, M.S., Arinushkina, N.S., & Grishchenko, T. M. (2010). Pidvyshchennia mitsnosti i zsuvostiikosti asfaltobetonnukh shariv posylennia na nezhorstkukh dorozhnikh odiagakh [Increasing the strength and shear strength of asphalt concrete reinforcement layers on non-rigid road pavements]. Proektuvannia, buivnytstvo i ekspluatatsia nezhorstkykh dorozhnikh odiagakh - Design, construction and operation of non-rigid road pavements: Proceeding of the International scientific and technical conference dedicated to the the 80th anniversary of KhNADU and the Faculty of Road Construction, (pp. 155-159). Kharkiv: KhNADU [in Ukrainian].

4. Minakov, A.S., & Kiyashko, I.V. (2010). Vliyaniye obespechennosti mezhsloynogo stsepleniya na prochnost dorozhnykh odezhd nezhystkogo tipa [Influence of the provision of interlayer adhesion on the strength of non-rigid road pavements] Proektuvannia, buivnytstvo i ekspluatatsia nezhorstkykh dorozhnikh odiagakh - Design, construction and operation of non-rigid road pavements: Proceeding of the International scientific and technical conference dedicated to the the 80th anniversary of KhNADU and the Faculty of Road Construction, (pp. 112-115). Kharkiv: KhNADU [in Ukrainian].

5. Hameliak, I.P. & Ostroverkhiy, O.G. (2001). Chyselnyi analiz napruzheno-deformovanogo stanu tonkosharovykh pokryttiv dorozhnogo odiagu [Numerical analysis of the stress-strain state of thin-layer pavements road clothes] *Avtomobilni dorogy i dorohnie budivnytstvo, Naukovo tekhnichnyi zbirnyk – Avtomobile roads and road constraction. Scientific and technical collection, 61, 118-126* [in Ukrainian].

6. Gladkuy, A.V. & Riapukhin V.N. (2006). Osoblyvosti rozrakhunku na mitsnist bahatosharovykh pokryttiv i pidsylennya nezhorstkoho dorozhnoho odyahu [Features of calculating the strength of multi-ball pavements and strengthening of non-thinning pavement] *Roads and bridges: collection of scientific works*, 4, 232-247 [in Ukrainian].

7. DIN 1996 Teil 7. Priifung von Asphalt. Bestimmung von Rohdichte, Raumdichte, Hohiraumgehalt und Verdichtungsgrad. – Berlin: DIN Deut-schesInstitut fur Normung e. V. 1992. 10 S.

8. Verwendung von Vliesstoffen, Gittem und Verbundstof-fen im Asphaltstrafienbau. FGSVArbeitspapierNr, 2010. 14 S.

9. De Bondt A. H. Anti-Reflective Cracking Design of (Reinforced) Asphalt Overlays. — Delft: Delft University of Technology, 1999. 411 p.

10. *DSTU B B.2.7-319: 2016 Sumishi asfaltobetonni i asfaltobeton dorozhniy ta aerodromnyy. Metody vyprobuvan* [Asphalt mixtures and asphalt concrete road and airfield. Test methods] Kyiv.: DP “UkrNDNC”, 2017. 71p.

11. *SOU 45.2-00018112-046: 2009. Asfaltobeton dorozhniy. Metodyka otsinky zcheplennia mizh asfaltobetonnymy sharamy pry zsuvi* [Asphalt concrete is road. Method of estimating adhesion between asphalt concrete layers during shear] Kyiv.: “Ukravtodor”, 2009. 15 p.

РЕФЕРАТ

Левківська Л.В. Аналіз існуючих методів оцінки якості зчеплення між шарами дорожнього одягу / Л.В. Левківська, І.І. Гринчак, Д.М. Елаллак // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

Дана стаття присвячена дослідженню питання оцінки якості зчеплення між асфальтобетонними шарами дорожнього одягу. Встановлено, що відсутність дійових методів та відповідного сучасного обладнання або приладів не дає можливості контролювати якість дорожньої конструкції та впливати на склад асфальтобетонної суміші при проектуванні дорожнього одягу з метою покращення її технічних характеристик.

Мета роботи – здійснити аналіз існуючих методів, приладів та обладнання оцінки якості зчеплення між асфальтобетонними шарами при зсуві в конструкції дорожнього одягу.

Методи дослідження – теоретичні та експериментальні.

Проведено аналіз факторів, що впливають на міжшарові дотичні напруження і деформації та призводять до втрати стійкості при зсуві на автомобільних дорогах України. Здійснено літературний огляд даних про існуючі аналітичні та есперименталні методи оцінки зчеплення при зсуві між асфальтобетонними шарами. За результатами проведених досліджень з урахуванням кліматичних умов та параметрів навантаження від сучасних транспортних засобів можна в подальшому виконати обґрунтування параметрів оптимальної методики визначення якості зчеплення між асфальтобетонними шарами дорожнього одягу і розробити автоматизований прилад для її визначення.

Результати роботи рекомендується використовувати для контролю якості при будівництві та експлуатації асфальтобетонних шарів дорожнього одягу. Сфера застосування - будівництво та експлуатація автомобільних доріг загального користування.

Соціально-економічна ефективність використання роботи полягає у підвищенні довговічності автомобільних доріг, що сприятиме зменшенню експлуатаційних витрат, підвищенню коліестійкості та безпеки дорожнього руху.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДОРОЖНІЙ ОДЯГ, МІЦНІСТЬ, ЗЧЕПЛЕННЯ МІЖ ШАРАМИ, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН, КЛІМАТИЧНІ УМОВИ, ТРАНСПОРТНІ НАВАНТАЖЕННЯ.

ABSTRACT

Levkivska L.V., Hrynchak I.I., Elallak J.M. Analysis of existing methods for assessing the quality of adhesion between layers of roadwear . Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

This article is devoted to the study of the quality of adhesion between the asphalt concrete layers of pavement. It is established that the lack of effective methods and appropriate modern equipment or devices does not allow to control the quality of the road structure and affect the composition of the asphalt mixture in the design of pavement in order to improve its technical characteristics.

The purpose of the work is to analyze the existing methods, devices and equipment for assessing the quality of adhesion between asphalt concrete layers during shear in the construction of pavement.

Research methods - theoretical and experimental.

The analysis of the factors influencing interlayer tangential stresses and deformations and leading to loss of stability at shift on highways of Ukraine is carried out. A literature review of data on existing analytical and experimental methods for estimating adhesion during shear between asphalt concrete layers has been carried out. Based on the results of research, taking into account climatic conditions and load parameters from modern vehicles, it is possible to further substantiate the parameters of the optimal method of determining the quality of adhesion between asphalt concrete layers of pavement and develop an automated device to determine it.

The results of the work are recommended to be used for quality control during the construction and operation of asphalt concrete layers of pavement. Scope - construction and operation of public roads.

Socio-economic efficiency of work is to increase the durability of roads, which will reduce operating costs, increase track stability and road safety.

KEY WORDS: ROAD CLOTHES, STRENGTH, ADHESION BETWEEN LAYERS, STRESS-STRAIN STATE, CLIMATE CONDITIONS, TRANSPORT LOADS.

АВТОРИ:

Левківська Людмила Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортный університет, доцент кафедри вищої математики, e-mail: l_v_g@ukr.net**,** тел. +380975475724, Україна, 01103, м. Київ, вул Бойчука, буд. 42, к.514, orcid.org/0000-0002-5589-5257.

Гринчак Ілона Іллівна, Національний транспортний університет, асистент кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: ilonaborovyk@ukr.net, +380969786226, Україна, 01103, м. Київ, вул Бойчука, буд. 42, к. 113, orcid.org/0000-0002-8382-3824

Елаллак Джафар Муса**,** аспірант, Національний транспортний університет, кафедра дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: jafarmoosa_77@ukr.net, тел. +380668917124, Україна, 01103, Київ, вул. Бойчука 42, к. 113

AUTHORS:

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.

Hrynchak Ilona Illivna National Transport University, assistant professor department of road construction materials and chemistry, e-mail: ilonaborovyk@ukr.net, +380969786226, Ukraine, 01103**,** Kyiv, Boychuka str., 42, of. 113, orcid.org/0000-0002-8382-3824

Elallak Jafar Musa, graduate student, National Transport University, department of road construction materials and chemistry, e-mail: jafarmoosa_77@ukr.net, тел. +380668917124, Ukraine, 01103**,** Kyiv, Boychuka str., 42, of. 113

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гайдайчук В.В., доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури, завідувач кафедри теоретичної механіки, Київ, Україна

Петрович В.В., кандидат технічних наук, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, Київ, Україна

REVIEWER:

Gaidaichuk V.V., Engineering (Dr.), Professor, Kiev National University of Construction and Architecture, Head of Department of Theoretical Mechanics, Kiev, Ukraine

Petrovych V.V., Ph.D., Professor department of transport construction and property management, National Transport University, Kiev, Ukraine

УДК 535.3 DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-275-280
UDC 535.3

ВІДДАЛЕНЕ КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТОМ

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

Клочан А.Є., Національний транспортний університет, Київ, Україна, varsenchuk@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4225-9382

REMOTE CONTROL OF TRANSPORT

Malysh M.I., PhD in Physical and Mathematical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, M_Malysh@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4532-0764

Kulish N.R., Doctor of Physics and Mathematics, V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, orcid.org/0000-0002-4365-8174

Klochan A.Ye., National Transport University, Kyiv, Ukraine, varsenchuk@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4225-9382

На сьогоднішній день, різні види транспорту: автомобільний, гусеничний, повітряний та інші, укомплектовуються системами контролю параметрів його роботи: температури двигуна, температури охолоджуючої рідини, тиску шин; залишку палива у баку, залишку заряду акумуляторної батареї та інших. Ці системи укомплектовуються датчиками первинної інформації. Так, наприклад, системи контролю температури укомплектовуються датчиками температури, якими переважно слугують термопари і термометри опору. Інформація з цих датчиків зчитується температурним зондом типу DS18B20 [1] і передається по однопровідній лінії до бортового мінікомп'ютера. Після обробки даних інформація про стан транспорту висвітлюється в цифровому або графічному вигляді на екрані дисплею. При цьому, особливості роботи первинних датчиків накладають певні обмеження на роботу систем контролю. Так наприклад, при використанні DS18B20 потрібно однопровідну лінію прокладати так, щоб іскрові перешкоди не впливали на роботу мінікомп'ютера. Оскільки датчик температури двигуна знаходиться поблизу запальної свічки, то перешкоди настільки великі, що мікрокоп'ютер постійно знаходиться у стані скидання. Зазначений недолік може бути усунений шляхом використання оптоволоконних ліній передачі інформації. Параметри роботи транспортних засобів, також, можуть передаватись в диспетчерський пункт з використанням сучасних інформаційно-комунікаційних технологій. Також, сучасні інформаційно-комунікаційні технології дозволяють здійснювати віддалене керування транспортними засобами. При цьому, команди на доуправління транспортним засобом формуються на основі інформації від системи контролю параметрів його роботи. Наприклад, при віддаленому контролі та управлінні безпілотними і пілотованими повітряними суднами обмін інформацією зазвичай здійснюється з використанням радіотехнічних засобів. Радіотехнічні канали передачі інформації не дозволяють забезпечити достатній рівень захисту від стороннього втручання. Що, в свою чергу, дозволяє стороннім організаціям чи особам перехоплювати інформацію по радіотехнічному каналу і, навіть, перешкоджати віддаленому керуванню літальними апаратами. Одним із шляхів забезпечення захисту від стороннього втручання є використання оптичного оптоелектронного зв'язку. Дана стаття присвячена дослідженню питання віддаленого керування транспортом з використанням оптичного оптоелектронного зв'язку.

Віддалений контроль транспорту

На сьогоднішній день, безпровідний віддалений зв'язок із повітряним судном здійснюється з використанням радіочастотних каналів передачі інформації. Основний недолік такого керування полягає у можливості перехоплення інформації з використанням радіочастотних методів з подальшим втручанням у роботу віддаленого контролю і керування літальних апаратів. Для забезпечення захисту від стороннього втручання розроблено ряд громіздких радіотехнічних методів. Кардинальним рішенням проблеми секретності віддаленого управління безпілотних літальних апаратів є перехід на оптичні методи зв'язку.

Спрощена структура каналу віддаленого контролю транспортних засобів наведена на рис.1. Вона складається із двох основних блоків: наземних передавача і приймача (рис. 1 – зліва) та віддалених передавача і приймача (рис. 1 – справа). Основними елементами наземного передавача є комп'ютер, модулятор, лазерний діод з оптичною системою, а приймача – фотодіод з оптичною

системою, підсилювач, демодулятор, комп'ютер. З аналогічних компонентів складаються віддалені приймач і передавач. Передавачі і приймачі розділені земною атмосферою.

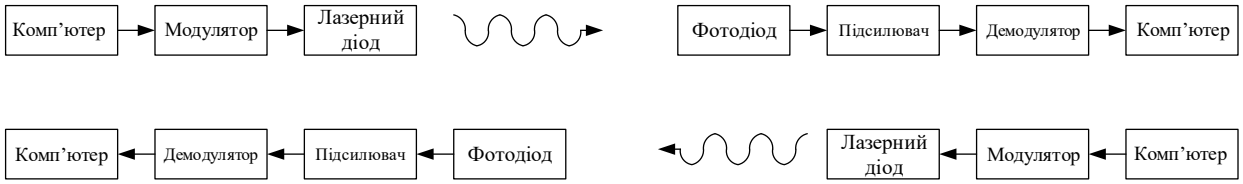


Рисунок 1 – Спрощена структура каналу віддаленого контролю транспортних засобів
Figure 1 – Simplified chanel structure of remote control of vehicles

Суть впливу основних характеристик атмосфери на якість віддаленого контролю параметрів роботи транспорту полягає в наступному. Мінімальний її вплив буде за умови, якщо передача сигналів ведеться на довжинах хвиль, що лежать в області вікон прозорості атмосфери (рис. 2) [2]. Випромінювання з довжинами хвиль, які потрапляють в області вікон прозорості, може бути використане для віддаленого контролю і керування транспортом. На якість віддаленого контролю параметрів роботи транспорту значно впливають наступні атмосферні фактори:

- поглинання випромінювання, яке обумовлюється пропусканням атмосфери на заданій довжині хвилі нижчим за одиницю (рис. 2);
- розсіювання світла на молекулах (релеєвське розсіювання) та на частинках аерозолю (аерозольне розсіювання);
- зміна показника заломлення повітря, викликана зміною температури атмосферного повітря, що супроводжується заломленням світлового потоку, особливо коли градієнт температури великий.

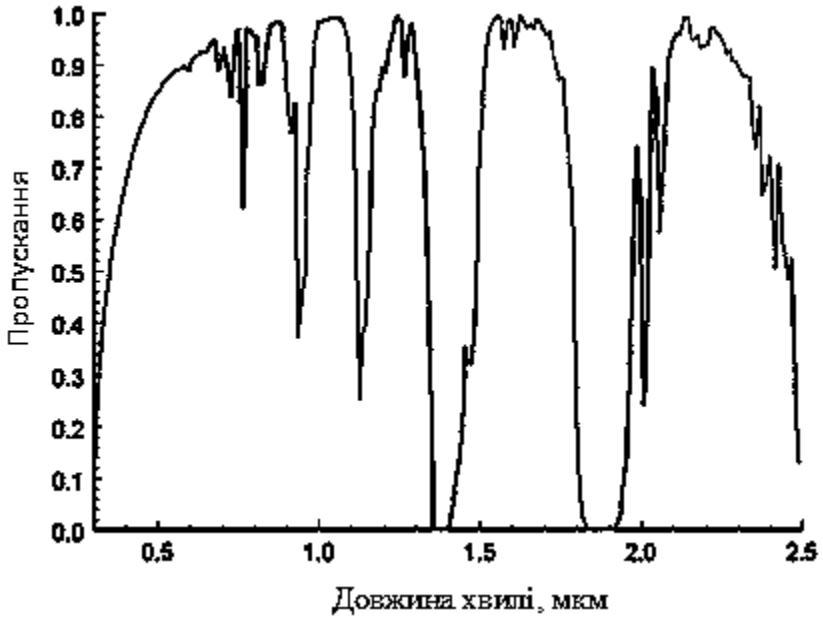


Рисунок 2 – Спектр пропускання атмосфери Землі [2]
Figure 2 – Spectrum of land atmosphere [2]

Потрібно також враховувати поглинання і розсіювання, викликані туманом, дощем, снігом, атмосферною турбулентністю, розходженням потоку світла [3-5].

Туман. Дрібні краплі води, які конденсуються в холодному повітрі з водяної пари, формують туман. При розповсюдженні світла в густому тумані загасання світла може бути понад 350 дБ/км.

Дощ. Загасання світла при переході від слабкого (2,5 мм/год) до сильного дощу (25 мм/год) становить від 1 до 10 дБ/км для довжин хвиль у діапазоні від 850 до 1500 нм.

Сніг. Розмір снігових часток знаходиться між туманом і дощовими краплями. Тому загасання оптичного сигналу через сніг більше, ніж через дощ, але менше порівняно з туманом і коливається у межах 30-350 дБ/км.

Атмосферна турбулентність. Зміна температури та тиску атмосфери призводить до формування турбулентних вихорів, які діють як призми або лінзи і врешті-решт спричиняють руйнівний вплив у розповсюдження світлового променю.

Втрати викликані розбіжністю променю. Оскільки геометричні розміри приймача обмежені, то наявність дифракційної розбіжності є причиною появи геометричних втрат, величина яких зростає зі збільшенням відстані між передавачем і приймачем.

Фоновий шум і сяйво неба. Джерелами фонового шуму є світло розсіяне в атмосфері та світло від Сонця чи інших зоряних об'єктів. Зменшення впливу фонового шуму досягається встановленням на вході приймача оптичного фільтра з вузькою спектральною смугою для довжини хвилі передавача.

Фактично властивості середовища, в якому розповсюджується оптичний сигнал, впливають на параметри передавача і приймача. Тому нижче ми більш детально розглянемо особливості вибору як передавача, так і приймача.

Основними елементами наземного передавача є комп'ютер, модулятор та лазерний діод. Комп'ютер використовується оператором для введення у комп'ютер завдання в електронній формі, а також здійснює вибір типу модуляційної програми та її передачу до модуляційного блоку. Модуляційний блок забезпечує кодування аналогової або цифрової інформації та передає її до модулятора лазерного діода. Вибір типу лазерного діода залежить від довжини хвилі, вікна прозорості земної атмосфери, потужності імпульсу випромінювання, типу модулятора потоку світла, терміну служби, розміру променя і кута його розбіжності. Довжина хвилі лазерного випромінювання визначається найменшим значенням поглинання у вікні прозорості земної атмосфери (рис. 2). Експериментально використовуються лазерні діоди, які генерують світло у видимій чи ближній інфрачервоній областях спектра (табл. 1).

Таблиця 1 – Лазерні джерела для віддаленого контролю транспорту
Table 1 – Laser Sources for Remote Transport Control

	Центри вікон прозорості атмосфери Землі			
Параметри	850 нм [6]	1060 нм [8]	1250 нм [7]	1550 нм [6]
Тип лазера	M10306-23	RLS/LC96A1060-20R		M10306-23
Тривалість імпульсу	70 ps	5 ns		70 ps
Пікова потужність	100 mW	1.3 W	90 W.	10 mW
Частота повторення: (max.)		500 kHz		100 MHz
Допуск на довжину хвилі	<±10 nm		±15, **nm**	<±30 nm
Спектральна напівширина	<5 nm		<15, **nm**.	<±30 nm

Основні елементи віддаленого передавача аналогічні елементам наземного передавача. Однак при їх виборі перевагу потрібно віддавати тим з них, в яких вага і затрати електроенергії найменші.

Наземний приймач зазвичай складається із телескопа або лінзи, оптичного фільтра, фотодетектора, підсилювача, демодулятора для належного отримання інформаційного сигналу та комп'ютера. Розмір променя на поверхні приймача залежить від розбіжності пучка та дальності передачі. Як правило, розбіжність пучка, генерованого передавачем, лежить у діапазоні від 1 до 8 мрад. Для забезпечення потрібної інтенсивності на вході фотоприймача встановлюють телескоп. Телескоп збирає і фокусує оптичне випромінювання на активну область фотоприймача. Фільтр, розташований перед фотодетектором, зменшує фонове випромінювання (наприклад, сонячне освітлення). Фотодетектор перетворює енергію фотонів в електричний сигнал. Це забезпечує високу реакцію на потрібну довжину хвилі, невелике значення шуму, достатні значення динамічного діапазону та смуги пропускання сигналу. Найбільш загальновживаними фотодетекторами є PIN-фотодіоди та лавинні фотодіоди [9,10]. Вихідний сигнал фотодетектора посилюється підсилювачем. При передачі інформації випромінюванням на довжинах хвиль видимого чи ближнього

інфрачервоного діапазонів його детектування може здійснюватись Si- або InGaAs-фотодетекторами. Зокрема, максимальна чутливість Si-фотодетектора знаходиться поблизу 850 нм, InGaAs – в околі 1550 нм [9-11]. Типові параметри цих детекторів наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Типові параметри Si- та InGaAs- фотодетекторів.

Table 2 – Typical parameters of Si- and InGaAs-photodetectors.

Тип фото-детек-тора	Час підйо-му (пс)	Ши-рина смуги (ГГц)	Спектраль-ний діапазон (нм)	Квантова ефектив-ність @ у max	Площа чутливості (діаметр мкм/мм^2)	Еквівал. потужність шуму (Вт/√Гц)	Темно-вий струм (нА)	Мате-ріал
UPD-500-SP	<500	> 0.6	320-1100	90%	800 / 0.5	3.5×10^{-15}	0.01	Si
UPD-35-IR2-P	< 35	> 10	800-700	80%	55/ 0.0024	1.0×10^{-15}	0.3	InGaAs

Комп’ютер наземного приймача забезпечує аналіз даних про стан транспорту і на їх основі оператор приймає рішення про корекцію завдання для віддаленого керування транспортом. Всі функції віддаленого приймача аналогічні функціям наземного приймача за винятком корекції завдання.

Висновок. Для забезпечення секретності віддаленого керування роботою різноманітних пристроїв (літаки, автомобільний і гусеничний транспорт) перевагу потрібно віддати оптичним методам передачі інформації. Найбільш доцільно здійснювати таке керування в ясну сонячну погоду. При складних метеоумовах керування об'єктами можливе лише при їх розташуванні на відстані кількох сотень метрів від оператора.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital ...https://ece-classes.usc.edu › library › datasheets [13]

2. Schmit, T. J., M. M. Gunshor, W. P. Menzel, J. J. Gurka, J. Li, and A. S. Bachmeier, 2005: Introducing the next-generation Advanced Baseline Imager on GOES-R. Bull. Amer. Meteor. Soc., 86, 1079-1096. doi.org/10.1175/BAMS-86-8-1079

3. Isiaka Alimi, Ali Shahpari, Artur Sousa, Ricardo Ferreira, Paulo Monteiro and António Teixeira, Challenges and Opportunities of Optical Wireless Communication Technologies // Additional information is available at the end of the chapter.

4. H. Kaushal1 and G. Kaddoum, Optical Communication in Space: Challenges and Mitigation Techniques //, IEEE Communications Surveys & Tutorials. DOI: 10.1109/COMST.2016.2603518

5. J. Mikołajczyk, Z. Bielecki, M. Bugajski, J. Piotrowski, J. Wojtas, W. Gawron, D. Szabra, A. Prokopiuk, ANALYSIS OF FREE-SPACE OPTICS DEVELOPMENT // Metrol. Meas. Syst., Vol. 24 (2017), No. 4, pp. 653–674. 29, www.metrology.pg.gda.pl.]).

6. Hamamatsu photonics K.K. // www.hamamatsu,com

7. 1250nm High Power Laser Diode Module with Fiber Output. https://www.akelalaser.com

8. 400mW, 1060 nm High Power Laser Diode Module //https://www.laserdiodesource.com

9. Schmit, T. J., M. M. Gunshor, W. P. Menzel, J. J. Gurka, J. Li, and A. S. Bachmeier, 2005: Introducing the next-generation Advanced Baseline Imager on GOES-R. *Bull. Amer. Meteor. Soc*., **86**, 1079-1096. doi.org/10.1175/BAMS-86-8-1079

10. Ultrafast Photodiodes | Spectral coverage 170-2600 nm // Реклама·https://www.alphalas.com/

11. M.A. Khalighi, M. Uysal, Survey on Free Space Optical Communication: A Communication Theory Perspective // IEEE COMMUNICATION SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 16, NO. 4, FOURTH QUARTER 2014. DOI: 10.1109/COMST.2014.2329501.

REFERENCES

1. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital ...https://ece-classes.usc.edu › library › datasheets [13]

2. Schmit, T. J., M. M. Gunshor, W. P. Menzel, J. J. Gurka, J. Li, and A. S. Bachmeier, 2005: Introducing the next-generation Advanced Baseline Imager on GOES-R. Bull. Amer. Meteor. Soc., 86, 1079-1096. doi.org/10.1175/BAMS-86-8-1079

3. Isiaka Alimi, Ali Shahpari, Artur Sousa, Ricardo Ferreira, Paulo Monteiro and António Teixeira, Challenges and Opportunities of Optical Wireless Communication Technologies // Additional information is available at the end of the chapter.

4. H. Kaushal1 and G. Kaddoum, Optical Communication in Space: Challenges and Mitigation Techniques //, IEEE Communications Surveys & Tutorials. DOI: 10.1109/COMST.2016.2603518

5. J. Mikołajczyk, Z. Bielecki, M. Bugajski, J. Piotrowski, J. Wojtas, W. Gawron, D. Szabra, A. Prokopiuk, ANALYSIS OF FREE-SPACE OPTICS DEVELOPMENT // Metrol. Meas. Syst., Vol. 24 (2017), No. 4, pp. 653–674. 29, www.metrology.pg.gda.pl.]).

6. Hamamatsu photonics K.K. // www.hamamatsu,com

7. 1250nm High Power Laser Diode Module with Fiber Output. https://www.akelalaser.com

8. 400mW, 1060 nm High Power Laser Diode Module //https://www.laserdiodesource.com

9. Schmit, T. J., M. M. Gunshor, W. P. Menzel, J. J. Gurka, J. Li, and A. S. Bachmeier, 2005: Introducing the next-generation Advanced Baseline Imager on GOES-R. *Bull. Amer. Meteor. Soc*., **86**, 1079-1096. doi.org/10.1175/BAMS-86-8-1079

10. Ultrafast Photodiodes | Spectral coverage 170-2600 nm // Реклама·https://www.alphalas.com/

11. M.A. Khalighi, M. Uysal, Survey on Free Space Optical Communication: A Communication Theory Perspective // IEEE COMMUNICATION SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 16, NO. 4, FOURTH QUARTER 2014. DOI: 10.1109/COMST.2014.2329501.

РЕФЕРАТ

Малиш М.І. Віддалене керування транспортом / М.І. Малиш, М.Р. Куліш, А.Є. Клочан // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

Детально досліджені основні принципи віддаленого оптичного контролю параметрів транспорту. Наведені приклади дистанційного керування роботою транспорту.

Мета досліджень: проаналізувати основні складові систем оптичного контролю і вплив на їх вибір властивостей земної атмосфери.

Об’єкт досліджень – системи оптичного контролю параметрів транспорту.

Метод дослідження – теоретичний.

Встановлено, що для забезпечення секретності віддаленого керування роботою різноманітних пристроїв (літаки, автомобільний і гусеничний транспорт) перевагу потрібно віддати оптичним методам.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПЕРЕДАВАЧ, ПРИЙМАЧ, АТМОСФЕРА, КОНТРОЛЬ, ТРАНСПОРТ.

ABSTRACT

Malysh M.I, Kulish M.R., Klochan A.Ye. Remote control of transport. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The basic principles of remote optical control of transport parameters are studied in detail. Examples of remote control of transport operation are given.

The purpose of research: to analyze the main components of optical control systems and the impact on their choice of properties of the Earth's atmosphere.

The object of research is optical control systems for transport parameters.

Research method is theoretical.

It has been established that optical methods should be preferred to ensure the secrecy of remote control of various devices (aircraft, road and tracked vehicles).

KEYWORDS: TRANSMITTER, RECEIVER, ATMOSPHERE, CONTROL, TRANSPORT

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 напівпроводників 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.

Клочан Арсен Євгенійович, Національний транспортний університет, асистент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: VArsenchuk@gmail.com, тел. +38(068)-352-81-26, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 207, orcid.org/0000-0002-4225-9382.

AUTHORS:

Malysh Mykola. I., PhD in Physical and Mathematical Science associate professor, National Transport University, associate professor of the department of information analysis 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 Nykolay R., 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.

Klochan Arsen E., assistant of the department of information analysis and information security, e-mail: VArsenchuk@gmail.com, tel. +38(068)-352-81-26, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 207, orcid.org/0000-0002-4225-9382.

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.

УДК 638.7.(075.8) DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-281-288
UDC 638.7.(075.8)

РЕСУРСИ РОЗВИТКУ ЯК ФАКТОР ВПРОВАДЖЕННЯ НОВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЙ

Марков О.Д., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, markovod@ukr.net, orcid.org/0000-0001-8023-3389

Січко О.Є., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, sichkobox@gmail.com, orcid.org/ 0000-0003-4027-3890

Пархоменко О.О., Національний транспортний університет, Київ, Україна, olparkhom@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4752-0148

DEVELOPMENT RESOURCES AS A FACTOR OF THE IMPLEMENTATION OF THE NEWEST TECHNOLOGIES

Markov O.D., Ph.D. of Technical Sciences, National transport University, Kiev, Ukraine, markovod@ukr.net, orcid.org/0000-0001-8023-3389

Sichko O.E., Ph.D. of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, sichkobox@gmail.com, orcid.org/ 0000-0003-4027-3890

Parkhomenko O.O., National Transport University, Kyiv, Ukraine, olparkhom@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4752-0148

Постановка задачі.

Сьогодні поява новітніх технологій відбувається з періодичністю 5–7 років, а їх освоєння потребує 10–15 років. Очевидно, що фактором, який стримує впровадження нововведень є все зростаюча складність цих технологій та все більш обмежена можливість їх освоєння наявним персоналом. Поряд з іншими, цей фактор є визначальним з погляду темпів розвитку економіки, у всякому разі тієї її частини, в якій розвиток є не просто природною потребою, але й визначає місце організації серед конкурентів. За таких умов наука і практика впровадження новітніх технологій стикається з нетиповими задачами, які раніше не розглядалися як актуальні. Важливо знайти ті фактори, які сприяють розвитку підприємства та визначити умови їх реалізації. До цих факторів, беззаперечно, можна віднести ресурси розвитку, тобто персонал, вірніше його вмотивованість до самореалізації в середовищі його діяльності.

Основна задача статті полягає в спробі проаналізувати ключові проблеми персоналу з погляду впливу новітніх технологій на його самореалізацію та пошук факторів, за яких персонал може створювати найкращі результати самореалізації, інакше кажучи, розглянути питання: вимоги, які висувають новітні технології до персоналу; особливості працівника з погляду відповідності вимогам. Під новітніми технологіями ми розуміємо впровадження нововведень, які можуть бути реалізованими при існуючому рівні розвитку організації та сприяють її подальшому розвитку.

Основна частина. Що таке ресурси розвитку.

Підприємство – це організовані єдиною ціллю ресурси з метою створення цінностей для споживачів, отримання додаткової вартості та прибутку [1,2].

До ресурсів відносяться все, що сприяє створенню, отримання та реалізації результату*: освіченість, знання, компетентності, кваліфікація, досвід, ідеї , ноу-хау, трудова діяльність людей, їх вмотивованість, продуктивність фізичної та розумової праці, рівень організації, накопичений та такий, що розвивається досвід, репутація та імідж, площа земельної ділянки, обладнання, матеріали, енергія та інформація. Ресурси, які реально впливають на результат діяльності організації настільки різноманітні, що їх, неможливо повністю визначити.*

В сукупності та завдяки орієнтованій взаємодії перераховані ресурси створюють узагальнений ресурс (потенціал), який, будучи організованим навколо цілі, забезпечує результати діяльності. Ця організація та орієнтована взаємодія створює ефект синергії, інакше кажучи, перетворює розосереджені ресурси, які, кожен сам по собі, не дають результату, а разом перетворюються в якісно

нову систему, яка здатна досягати цілі. Оптимальною можна вважати таку організацію ресурсів, при якій підприємство отримує найкращий результат при їх мінімальних витратах.

Ресурси підприємства за ознаками можна розділити на такі групи:

1) інвестиційні ресурси,

2) функціональні ресурси,

3) організаційні,

4) ресурси розвитку.

Інвестиційні ресурси – це ресурси, які ми купуємо з метою отримання від їх застосування прибутку. Вкладаючи інвестиції в будь – що, ми розглядаємо, перш за все, термін їх окупності.

Підприємство купує те, що пропонується ринком, як всередині країни, так і за її межами. Потреба в інвестиційних ресурсах визначається видом діяльності та його технологіями. В умовах ринку придбання ресурсів потребує вибору відповідного з багатьох альтернативних пропозицій, отримання комерційної пропозиції від постачальників, укладання угоди на купівлю, налаштування, авторський нагляд, гарантію та сервіс. Для автосервісних підприємств ринок пропонує від окремого обладнання до комплексного оснащення підприємства «під ключ». З характеристиками необхідного обладнання можна познайомитися на сайтах його виробників та продавців.

Функціональні ресурси – це інвестиції, втілені в робочі місця чи технології з метою виробництва нових товарів чи послуг. Питання стосовно організації робочих місць, технологічних процесів широко висвітлені в літературі з проектування автосервісних підприємств. Крім того, переважна більшість операторів ринку автосервісного обладнання пропонують технологічні рішення, рішення з оснащення та організації робочих місць, їх структури тощо. Функціональні ресурси, наприклад, створені підприємством технології, можуть бути інвестиційним ресурсом в разі, якщо ці технології хтось придбав з метою використання. Продаж та розповсюдження технологій називається *франчайзингом* і широко застосовується в ринковій практиці. Прикладом франчайзингу на автомобільному ринку є дилерські підприємства виробника автомобілів, які отримують від нього ексклюзивне право використовувати сервісні технології виробника, продаж автомобілів, запасних частин та послуг автосервісу.

Створення робочих місць та технологій, їх упорядкування, кількісне та якісне узгодження їх структури є не що інше як технологічне проектування процесів обслуговування та ремонту автомобілів.

Організаційні ресурси – ресурси, які використовуються не в виробничому процесі, а в процес забезпечення діяльності, зокрема – в системі управління**.**

Ресурси розвитку – це ресурси, які не можна купити, їх можна лише створити за рахунок *освіченості, знань, компетентності, кваліфікації, досвіду, ідеї, ноу-хау, трудової діяльності працівників, їх вмотивованість, продуктивність фізичної та розумової праці, рівня організації, накопиченого та такого, що розвивається досвіду.*

Ресурси розвитку – це результат діяльності персоналу та створені ним внутрішні продукти, які, кожен окремо і всі разом, створюють конкурентні переваги, і ці переваги ніхто не можу повторити. Відмінності, створені в організації на основі ресурсів розвитку є головним джерелом розвитку бізнесу.

Ресурси розвитку для підприємства є найменш витратними тому, що їх надбання, як правило, відбувається не за рахунок підприємства, а привносять в нього ззовні, з соціального суспільного середовища, набуваються чи за рахунок суспільства чи за рахунок самого носія цього ресурсу. Крім того, він – цей ресурс – оновлюється і поповнюється, знову ж таки, у переважній більшості, не за рахунок підприємства, а отримуються за рахунок і завдяки впливу зовнішнього суспільного середовища, продуктом якого, незалежно від підприємства, є носій цього ресурсу. Інакше кажучи, людина, яка живе поза межами підприємства набуває досвіду та знань з зовнішнього оточення і привносить його підприємству. Чим більше носій ресурсу отримає знань і досвіду з зовнішнього середовища, тім більше користі може отримати від нього підприємство.

Очевидно, розумна поведінка підприємства в цьому разі зводиться до сприяння можливості носію ресурсу постійно отримувати якомога більше нового із зовнішнього відносно підприємства середовища, а також до того, щоб використовувати ресурс розвитку якомога більшою мірою.

Наприклад, Тойота використовує *кайдзен – постійне впровадження нововведень*, що сприяє повсякденному, більш ефективному впровадженню та використанню ресурсів розвитку.

Дамо характеристику складових ресурсів розвитку:

Досвідченість – це те, що залишається, коли все вивчене вже забуте.

Знання – це фундаментальне поняття, щодо якого не існує однозначного визначення [3].

Знання можна визначити як форму інформації, існування систематизованого результату інтелектуальної діяльності людини; за словами Платона знання – це «підтверджена істинна»

В контексті матеріалу статті знання – це те, що забезпечує вирішення та реалізацію конкретних задач на рівні розуміння їх об'єктивної сутності. Знання та життєвий досвід є основним джерелом ідей та рішень. Враховуючи те, що розвиток підприємства є постійним і невідворотнім, постійне оновлення знань є необхідною умовою цього розвитку.

Компетентності – це здатність перетворювати будь – які отримані знання в особистий спосіб мислення та дії, які стають оригінальним особистим надбанням, яке, в кінцевому результаті, стає природною сутністю людини, оригінальним рівнем сприйняття нею навколишньої дійсності.

Компетентність дає людині можливість інтерпретувати знання при прийнятті рішення.

Кваліфікація працівників – рівень професійної придатності, що забезпечується сукупною наявністю у працівників загальноосвітніх і спеціальних знань, умінь, здібностей, досвіду і трудових навичок, необхідних для виконання робіт певної складності за відповідною професією чи спеціальністю [4].

Досвід – це знання, навички та вміння, які людина чи будь-яке співтовариство людей придбали в процесі життя, практичної діяльності в тій чи іншій області. Досвід є позитивним ресурсом бізнесу, але таке його сприйняття не є однозначним. Досвід, як накопичене надбання людини, крім можливостей створює і обмеження. Обумовлено це закономірність розвитку людини.

Людина у своєму розвитку проходить певні стадії:

– перша стадія – це етап входження людини в соціальне середовище,

– друга стадія – реалізація основних життєвих цінностей,

– третя стадія: процес виникнення проблем з набуттям нового досвіду,

– четверта стадія – втрата актуальності існуючого досвіду.

Як показують дослідження, виконані на прикладі існуючої організації, за рахунок наявності в структурі персоналу великої кількості працівників третьої та четвертої стадії життєвого циклу, втрати її ефективності сягають 37% [1].

Ідеї – це обумовлений домінуючими потребами результат підсвідомого аналізу мозком всієї інформації, отриманої раніше і генерація на основі цього аналізу того, що ми називаємо ідеєю. Аналіз особистого досвіду і сторонньої інформації, на основі чого наша підсвідомість дала нашому мозку потрібну інформацію, він її проаналізував і згенерував на її основі якусь ідею [5].

Умовою виникнення ідеї є людські потреби, і чим ці потреби актуальніші і чим більшою мірою людина залежить від цієї потреби, чим вірогідніше спрямованість людини на пошук ідеї і її виникнення.

Ноу-хау – переводиться «знаю як». Це певний набір інформаційних підходів, що включають формули, методи, схеми та набори інструментів, необхідних для успішного ведення справ у будь-якій галузі чи професії. У деяких юрисдикціях сюди включено патенти, а також будь-яку іншу конфіденційну інформацію, здатну забезпечити перевагу над конкурентами. Результат творчої (евристичної) діяльності. Сукупність різних знань та досвіду (наукового, технічного, виробничого, адміністративного, фінансового, комерційного чи іншого характеру), які ще не стали загальним надбанням.

Трудова діяльність людей – діяльність, спрямована на отримання бажаного чи заданого результату.

Вмотивованість людини – внутрішнє спрямованість людини на досягнення результату. Вмотивованість – це внутрішній стан людини, який формує її пріоритетне ставлення до вирішення поставленої перед нею чи такої, що виникла з її особистих бажань, задачі. Кожна людина має свою структуру особистості і для кожної людини є свій неповторний набір характеристик, які формують її вмотивованість до певного роду діяльності. Чим більшою мірою співпадають особистісні

характеристики людини з характеристиками виконуваних нею завдань, тим вищий рівень вмотивованості людини і тим вищий її результат.

Продуктивність фізичної праці – кількість продукції чи дохід виробленої в одиницю часу**.**

Продуктивність розумової праці – результат, який дає розумова праця. Значення продуктивності розумової праці коливається від 0 до нескінченності (з чим можна порівняти теорія відносності Енштейна чи закони Ньютона***).***

На практиці рівень продуктивність розумової праці в структурі персоналу підприємства оцінується не вимірюваним, але спонтанно визначеним внеском людини в результат діяльності підприємства. В побуті це називається рівень корисності людини для організації.

В умовах сучасних технологій в структурі ресурсів пріоритетними стають інформаційні ресурси, що пояснюється їх порівняно розширеними можливостями, а також ускладненням як виробництва в цілому, так і окремих технологічних процесів. Самі процеси здійснюються, а їх обладнання працює на основі інформаційних технологій – програмного забезпечення , використання гаджетів, девайсів тощо. Відповідно до рекомендацій сучасної науки менеджменті в структурі ресурсів технічні мають займати не 80%, а інші – організаційні, інформаційні – 20% як це притаманно багатьом існуючим підприємствам, а навпаки, – останні мають займати 80%, а технічні 20% [1].

Чим відрізняються інвестиційні і функціональні ресурси від ресурсів розвитку.

Інвестиційні і функціональні ресурси за об'єктивними законами фізичного та морального старіння постійно і закономірно втрачають ефективність, а ресурси розвитку стають тим більш досконалими та ефективними, чим більшою мірою вони використовуються [6].

Існуючі підприємства автосервісу були створені за рахунок зусиль, знань та здібностей конкретних виконавців, без чого вони не могли з'явитися, працювати і розвиватися. Але ми ведемо мову не про короткочасні зусилля окремих керівників чи ентузіастів; ми ведемо мову про той пласт невичерпаного ресурсу, який може бути найбільшим і постійним надбанням організації. Ми ведемо мову не про якісне виконання своїх обов'язки за посадовою інструкцією. Ми ведемо мову про ті знання, вміння та досвід, який люди мають в собі і які, будучи відкритими для використання системою управління організації, стають невичерпним ресурсом, який ніхто не може повторити, тому, що він оригінальний, первинний, неповторний, як неповторна є сама особистість. Досвід використання ресурсів розвитку показує, що включення цих ресурсів чи не сама складна задача для системи управління підприємством.

По перше, що потрібно сформувати, це саме ставлення людини до себе, визнання своєї ролі в суспільстві та безпосередньому оточені. Якби ми поставили перед собою задачу дати характеристику нашої прорадянської ментальності, то ми були б вимушені назвати багато властивостей чи характеристик особистості, які слід було покращити чи змінити. Не слід очікувати від людини відданості, якщо вона має протилежні цінності. Стикнувшись з цим на конкретній практиці ми прийдемо до висновку, що цю задачу потрібно було починати вирішувати раніше і не на рівні підприємства, а на рівні суспільства. В цілому ми можемо стикнутися з ситуацією, від якої опустяться руки і ми прийдемо до висновку, що за існуючих умов ця задача не буде вирішена і це не той ресурс, яким ми можемо скористатися.

Але ми знаємо, що «статут монастиря» багато чого вартий і особистість, яка має бажання належати монастирю, прагне прийняти його статут. Тобто, якщо на підприємстві підібрані люди, які сповідають прийнятий статут, то ті, хто має відмінні погляди чи буде вимушений змінити їх, чи покинути організацію. Є достатньо методів схилити людину до потрібної системі поведінки. Ось приклади, які формують соціальний статус людини і її відношення до суспільства.

В 1727 р. почали формувати так звані «прутську добродійність», які в подальшому пояснюють успіхи німецької медицини. Моральні авторитети почали прищеплювати почуття обов'язку, старанності, зваженої амбітності, прагнення вирішити поставлене завдання всіма силами, і звичайно, знамениту німецьку пунктуальність. Їх ніхто не придумував і не поєднував у загальний канон, вони виникли як поведінкова максимума Прусії. За останні 300 років в Німеччині вони стали відповіддю на конкретні виклики ... *зараз вони присутні в усіх корпоративних філософіях, без них не можна вести бізнес, без них не можна розвивати державу*.

В Японії при формуванні суспільних норм, особливо в умовах фірми, приділяють особливу увагу ставленню людини до роботи. Співробітників не можна карати. Їх підтримують і заохочують. З ними радяться, їм допомагають, роз'яснюють, їх вчать, разом з ними приймають рішення. Це потрібно для того, щоб підняти внутрішню мотивацію, цінність і прихильність до компанії, домогтися, щоб співробітник працювали з ККД 100% і щоб співробітники шукали що і як можна покращити, не боялись робити помилки – (вони отримують досвід). Не думати, чому не можна, слід думати як краще зробити. Починайте, виправляйте помилки зразу, використовуйте свій розум. Мудрість досягається, коли стикаєшся з труднощами.

Кайзен – постійне покращення передбачає: роботу на клієнта, безперервні зміни, визнання проблеми, пропаганду відкритості в компанії, створення робочої команди, формування підтримуючих стосунків [7].

В Ізраїлі, де нема ніяких природних ресурсів, зроблена ставка на людей, як на творчий ресурс, який приносить основні здобутки. Під час пандемії, коли економіка всіх країн світу прийшла до кризового стану, в Ізраїлі економіка зросла на 5% [8]. При цьому в основі ставлення до ситуації лежить теза: «проблема – це ж гроші». Зокрема, вони розробили мобільний додаток, за допомогою якого в режимі реального часу визнаються всі важливі показники стану людину. Додаток був інтегрований в 7 млн. смартфонів. Вони винайшли спосіб отримання води з повітря і забезпечили ним засушливі регіони і країни. При чому, прилади генерації води мають діапазон від домашнього на 10л, до промислового на 5 $м^3$ води. Університетські дослідження в Ізраїль займають перше місце у світі за числом наукових публікацій на душу населення.

Аналіз діяльності наших підприємств приводить до висновку, що не співробітники не готові стати ресурсами розвитку, але і керівники не навантажують себе лишніми турботами. Обумовлено це особистим розумінням ролі керівника, рівнем його підготовки як фахівця, рівнем загального розвитку та досвідченості, рівнем зацікавленості в результатах роботи. І не лише керівника, заробітна плата якого не обов'язково функціонально чи кореляційно залежить від цих результатів, а і власника бізнесу, якого часто влаштовує існуючий рівень результатів діяльності. Влаштовує тому, що він не бажає прикладати зусилля для отримання кращих результатів. Влаштовує тому, що він, часто не знає, яким чином це можна зробити. Він, як і керівник, орієнтує працівника на гроші, які працівник має принести підприємству. Але, при цьому, він не пропонує методи заробляння грошей, не впроваджує нові технології отримання прибутку, він оцінює працівника за рівнем цього прибутку. Він не може займається тим, чого він не знає. Тим самим власник чи керівник втрачає контроль над процесами і діяльністю і, таким чином, перестає, по суті, керувати бізнесом. Прикладом може бути впровадження методів постійного покращення на однакових за видами діяльності та статусами двох підприємствах. На одному з них система постійного покращення стала основним фактором конкурентних переваг та зростання прибутків, на другому керівники, які не знають систему, не знайомі з технологією постійного покращення і, скоріш за все, не мають бажання чи можливостей піднятися до рівня її практичної реалізації, лише презентують її для виду в рекламних цілях, а насправді, самі не розуміють, як ця система працює. Вони не сприймають її як ідеологію бізнесу. У них інші уявлення. Вони не є носіями ідеї і силою її розвитку. Цей приклад реальний. Він відображає реальну картину. В його основі лежить аналіз роботи двох однорідних конкретних підприємств. Це два дилера одного і того ж виробника. Одне підприємств – з іноземними інвестиціями і іноземним менеджментом, інше – таке ж підприємство передане в руки нашого менеджменту. Сам дух підприємства відображає дух команди (чи керівника). В першому випадку – це дух прагнення, в іншому – відсутність будь якого прагнення.

Ніхто ніколи не оцінював керівників та власників наших автосервісних підприємств і ніхто не дасть відповіді на питання чи потрібно їх навчати. На мій погляд, їх потрібно міняти. Бізнес сприяє розвитку сучасного мислення і пагони нового менеджменту вже густо проростають. Поки що умови для їх проростання недостатньо сформовані.

Експертні оцінки керівників автосервісних підприємств з погляду здатності використовувати на практиці ресурси розвитку в цілому не приводять до оптимістичних висновків.

Крім перерахованих факторів є ті, про які незручно вести мову, але потрібно, тому, що вони є.

Ці фактори можна назвати факторами можливості взяти з клієнта за виконанні і невиконані роботи значно більше реальної вартості. Робиться це професійно: роботи не вимірюються в часі, а лише

у вартості, ні яких технологій не дотримуються, частіше їх просто немає. Така тенденція спостерігається не лише в автосервісі. Функціональний персонал СТО отримавши досвід оперативної роботи і розуміючи, що реальні умови функціонування підприємства не контрольовані і ніякої відповідальності ніхто не буде нести, працюють в цьому напрямку постійно вдосконалюють методи отримання коштів. Вони вдало виконують роботи, які ніяким чином не пов'язані з вирішенням проблеми (наприклад, пошук несправності не в тому місці, де потрібно, а в тому, де можна виконати більший обсяг не потрібної та коштовні роботи). Вони не несуть відповідальності за те, що запросили клієнта на певну годину, навіть і не думали виконувати роботу, вони набирали собі замовлення. Достатньо проглянути відгуки клієнтів, щоб прийти до жаху від того, що відбувається. Самий простий аналіз виконання замовлення, яке виконувалося протягом робочого дня (механік займався роботою 5 – 6 год, в перерахунку на вартість нормо-години мало трудомісткість в 12-13 нормо-годин. Звичайно, за таких умов виникає питання, чи є сенс розглядати питання ресурсів розвитку, коли реально задача прибутків лежить в іншій площині.

Створені умови, які спрямовують підприємства в напрямку легкого отримання не зовсім зароблених коштів. Ми завжди найдемо собі виправдання будь-якій нашій поведінці і будемо реалізувати таку поведінку до того часу, поки хтось не вкаже нам на те, що так не можна. Хтось, чи щось. А хтось у нас не скаже, тому, що він сам є джерелом такої поведінки. У нас диктатура корупції. Хтось не скаже, а щось не буде нічого говорити, ви самі відчуєте його вплив. Як тільки з'явиться реальна конкуренція (на стабільному ринку – обов'язково) такий спосіб отримання грошей більш не працюватиме, він назавжди залишиться по за ринком. Навіть, якщо необхідність вимусить змінити поведінку, звичні до такого способу не зможуть цього зробити, тому, що психологія не зміниться.

І ринок виштовхне такий спосіб і більше не прийме. Обманюючи людей ті, хто так робив брехав і людям і собі. Вони крали у людей гроші, а у себе – правду. У цих працівників правди – як істини стосунків у бізнесу вже не буде. Локальні тимчасові фінансові надбання обернуться повним неприйняттям таких методів в майбутньому. Цей «менеджмент» сьогодні знищив своє майбутнє і майбутнє такого бізнесу. Чим далі ми від правди, тим більше ми в боргу у правди.

Але кожен має право на свої рішення, і кожен сам за них несе відповідальність. Якщо навіть держава навчиться контролювати стосунки в бізнесі, це мало що змінить, тому що нічого і ніколи не зміниться в тих, хто прийняв неправедну ідеологію. Все зміниться у інших, у тих, хто вже сьогодні спитається на реальні цілі, реальну культуру бізнесу, реальні цінності. І вже сьогодні закладаються основи подальшого розвитку якісного правдивого бізнесу, який постійно і неминуче буде вдосконалюватися тому, що в його основі істина, людська мораль і правдива старанна людська праця для людей. Цей бізнес буде робити все, щоб людина була вдячна і за роботу і за повагу. А в іншому бізнесі інша людина буде робити те ж саме і люди зрозуміють, що нема іншого шляху, чим роботи людям добро. І добро буде примножуватися і люди відчують, наскільки це вигідніше всім разом і кожному окремо.

Ресурси розвитку, це наші з вами надбання, які ми можемо і здатні віддати організації з користю для себе і для інших. Для того, щоб розглядати ресурси розвитку, як інноваційні технології нам спочатку потрібно почистити «конюшні», виправити спосіб на напрямок нашого мислення і лише після цього приступити до інновації. Бур'яни в наших головах і справах не дозволять нам піднятися ні на один щабель.

Ресурси розвитку – це невикористане благо, яке будь – хто з задоволенням віддасть справі і людям, тому, що людина просто прагне себе реалізувати, це її природна потреба, і , якщо вона буде бачити, що те, що вона віддала корисно і працює на благо інших, вона буде задоволеною, це буде її самореалізація. Використовуючи ресурси розвитку ми не лише отримуємо користь для бізнесу, ми робимо благо для людей, які є цими ресурсами розвитку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Інженірінг систем автосервісу: підручник / О.Д. Марков, В.П. Матейчик, В.П. Волков. Харків: ХНАДУ, 2021 – 508с.

2. Управление автосервисом: Учебное пособие для вузов / Под общ. ред. д.т.н., проф. Л.Б. Миротина. – М.: Издательство «Экзамен», 2004. – 320 с.

3. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%BD%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F.
4. http://www.ukr.vipreshebnik.ru/entsiklopediya/56-k/2935-kvalifikatsiya-pratsivnikiv.
5. https://ideyne.com/ua/article/biznes_ideya_kak_sgenerirovat_svoyu_ideyu.
6. Волгин В.В. Автосервис: создание и компьютеризация / М.: Дашков и К, 2009-408 с.
7. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%B9%D0%B4%D0%B7%D0%B5%0%BD.
8. https://take-profit.org/statistics/countries/israel.

РЕФЕРАТ

Марков О.Д. Ресурси розвитку як фактор впровадження новітніх технологій / О.Д. Марков, О.Є. Січко, О.О. Пархоменко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

В статті запропоновано аналіз застосування нововведень та технологій, впровадження яких потрібна підготовка персоналу для реалізації інвестиційних, функціональних, організаційних ресурсів розвитку.

Об'єкт дослідження – шляхи розвитку сучасних підприємств.

Мета роботи – дослідження перспектив розвитку сучасних підприємств та пошук шляхів впровадження сучасних технологій для досягнення найбільшої ефективності.

Метод дослідження – аналіз факторів ресурсів розвитку сучасних підприємств.

Факторами, що визначають впровадження нововведень є зростаюча складність технологій та все більш обмежена можливість їх освоєння наявним персоналом. Поряд з іншими, цей фактор є визначальним з погляду темпів розвитку економіки, у всякому разі тієї її частини, в якій розвиток є не просто природною потребою, але й визначає місце організації серед конкурентів. За таких умов наука і практика впровадження новітніх технологій стикається з нетиповими задачами, які раніше не розглядалися як актуальні. Розглянуті фактори, які сприяють розвитку підприємства та визначити умови їх реалізації. До цих факторів, беззаперечно, можна віднести ресурси розвитку, тобто персонал, вірніше його вмотивованість до самореалізації в середовищі його діяльності.

Ресурси підприємства за ознаками слід поділити на такі групи інвестиційні, функціональні, організаційні та ресурси розвитку.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РЕСУРСИ ПІДПРИЄМСТВА, ІНВЕСТИЦІЙНІ, ФУНКЦІОНАЛЬНІ, ОРГАНІЗАЦІЙНІ, РЕСУРСИ РОЗВИТКУ.

ABSTRACT

Markov O.D., Sichko O.E., Parkhomenko O.O. Resources of development as a factor in the implementation of new technologies. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The article offers an analysis of the application of innovations and technologies, the implementation of which requires staff training for the implementation of investment, functional, organizational resources of development.

The object of study – modern enterprises.

The purpose of the work is to study the prospects for the development of modern enterprises and find ways to implement modern technologies to achieve maximum efficiency.

Research method – analysis of factors of resources of development of modern enterprises.

Factors determining the implementation of innovations are the growing complexity of technology and the increasingly limited ability to master them by existing staff. Among others, this factor is decisive in terms of the pace of economic development, at least that part of it in which development is not just a natural need, but also determines the place of the organization among competitors. Under such conditions, the science and practice of implementing the latest technologies face atypical challenges that were not previously considered relevant. Factors that contribute to the development of the enterprise and determine the conditions of their implementation are considered. These factors, of course, include development resources, ie staff, or rather its motivation for self-realization in the environment of its activities.

The resources of the enterprise should be divided into the following groups of investment, functional, organizational and development resources.

KEYWORDS: ENTERPRISE RESOURCES, INVESTMENT, FUNCTIONAL, ORGANIZATIONAL, DEVELOPMENT RESOURCES.

АВТОРИ:

Марков О.Д., кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: markovod@ukr.net, тел. +380503341144, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 410, orcid.org/0000-0001-8023-3389.

Січко О.Є., кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: sichkobox@gmail.com,, тел. +380980656027, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 410, orcid.org/ 0000-0003-4027-3890.

Пархоменко О.О., асистент, Національний транспортний університет, асистент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: olparkhom@gmail.com, тел. +380634380352, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 410, orcid.org/0000-0002-4752-0148.

AUTHORS:

Markov O.D, Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of Technical Operation of Cars and Car Service, e-mail: markovod@ukr.net, tel. +380503341144, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovich-Pavlenko, 1, room 410, orcid.org/0000-0001-8023-3389.

Sichko O.E, Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of Technical Operation of Cars and Car Service, e-mail: sichkobox@gmail.com ,, tel. +380980656027, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovich-Pavlenko, 1, room 410, orcid.org/ 0000-0003-4027-3890.

Parkhomenko O.O, assistant, National Transport University, assistant of the department of technical operation of cars and car service, e-mail: olparkhom@gmail.com, tel. +380634380352, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovich-Pavlenko, 1, room 410, orcid.org/0000-0002-4752-0148.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Солтус А.П., доктор технічних наук, професор, Черкаський державний технологічний університет, професор кафедри автомобілів та технологій їх експлуатації, Черкаси, Україна.

Поляков В.М, кандидат птехнічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри автомобілів, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Soltus A,P., Doctor of Technical Sciences, Professor, Cherkasy State Technological University, Professor of the Department of Automobiles and Technologies of Their Operation, Cherkasy, Ukraine.

Polyakov VM, Ph.D. of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Professor of the Department of Automobiles, Kyiv, Ukraine.

УДК 339.138
UDC 339.138
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-289-296

УПРАВЛІННЯ РИНКОМ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ ДЛЯ НАСЕЛЕННЯ В МІСТАХ УКРАЇНИ: ОРГАНІЗАЦІЙНО-ПРАВОВИЙ АСПЕКТ

Мельниченко О.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, melnichenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0001-9694-9824

Ігнатенко О.С., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, dntu.dnn@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0443-5469

Дмитриченко А.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, andrew_d@ukr.net, orcid.org/0000-0001-6144-7533

MANAGEMENT OF THE MARKET OF TRANSPORT SERVICES FOR THE POPULATION IN THE CITIES OF UKRAINE: ORGANIZATIONAL AND LEGAL ASPECT

Melnichenko O., Candidate of Science in Engineering, National Transport University, Kyiv, Ukraine, melnichenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0001-9694-9824

Ignatenko O., Doctor of Engineering Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, dntu.dnn@ukr.net, 0000-0003-0443-5469

Dmytrychenko A., Candidate of Engineering Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, andrew_d@ukr.net, rcid.org/0000-0001-6144-7533

Постановка проблеми в загальному вигляді. Транспортні послуги як вид публічних послуг є важливою складовою, базовим елементом діяльності центральних та місцевих органів публічної влади й управління, транспортних підприємств та організацій, основою розвитку економіки міст, регіонів та запорукою економічної незалежності України.

Формування ринку транспортних послуг є одним з найважливіших пріоритетів забезпечення високого рівня конкурентоспроможності держави. Незважаючи на те, що більшість функцій обслуговування населення транспортом регулюються чинним законодавством, застосування його норм не завжди характеризується системністю і досягненням ефективної результативності. Така невідповідність посилюється через незавершеність теоретико-методологічного узагальнення процесів управління ринком транспортних послуг в організаційно-правовому спрямуванні.

Базові правові аспекти надання публічних послуг громадянам закріплені в Конституції України, зокрема статтею 42 передбачено, що «держава захищає права споживачів, здійснює контроль за якістю і безпечністю продукції та усіх видів послуг і робіт, сприяє діяльності громадських організацій споживачів» [5], але для застосування цієї правової норми необхідний належний науковий супровід. Водночас, слід зазначити, що реалізація наведених положень в повній мірі як безпосередньо, так і опосередковано пов'язана з наданням транспортних послуг. Переліки публічних послуг різниться як від регіону до регіону так і від підприємства до підприємства, що залежить від місцевих умов, типу управління, характеристики ринку послуг, його соціально-економічної структури тощо.

Особливої складності набуває проблема саме організаційно-правового забезпечення управління ринком транспортних послуг в містах України. Це пояснюється значними обсягами перевезень, великою кількістю зайнятих суб'єктів господарювання. Рівень організації надання транспортних послуг визначає ефективність роботи як надавачів послуг, тобто транспортних підприємств та організацій, так і центральних та місцевих органів публічної влади й управління, які опікуються завданнями формування ринку транспортних послуг.

Отже, для досягнення позитивних результатів в перспективі необхідне системне управління сферою транспортних послуг, успішність якого передбачає вільне володіння сучасним організаційно-правовим інструментарієм, що й визначає актуальність обраної тематики дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, свідчить, що проблеми управління ринком публічних послуг стали об’єктом дослідження багатьох науковців. Зокрема, загальним засадам управління міським господарством і сферою муніципальних послуг в теоретичному та прикладному аспектах присв'ячено монографічне дослідження В. Бабаєва [2], а підходам до зміцнення містообслуговуючої сфери органами місцевого самоврядування – І. Гарькавого [3]. Проблемні питання організації взаємодії органів місцевого

самоврядування з місцевими органами виконавчої влади у сфері надання муніципальних послуг вивчала В. Колтун [4]. Узагальнення проблем муніципального права України здійснено під керівництвом В. Погорілко, О. Фрицького та М. Баймуратова [6]. Як теоретичну основу реалізації форм, методів та засобів муніципального менеджменту в сфері управління ринком публічних послуг можна вважати дослідження, проведені Ю. Шаровим, О. Чикаренком, О. Бобровською [7], а питання організації і технології надання послуг вивчались під керівництвом В. Апопія [8].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Аналіз наукових праць за темою дослідження свідчить, що вони мають фрагментарний характер і необхідно здійснити системний аналіз та узагальнення організаційно-правових аспектів управління ринком транспортних послуг для населення в містах України в межах діяльності центральних та місцевих органів публічного управління, транспортних підприємств та організацій. Таке спрямування досліджень пояснюється наявністю особливостей транспортних послуг як за структурою та процесами надання, так і за рівнем соціальної спрямованості.

Мета статті – здійснити аналіз та узагальнення організаційно-правових аспектів управління ринком транспортних послуг в містах України, а також визначити напрями підвищення рівня транспортного обслуговування населення та результативності діяльності суб'єктів управління та господарювання.

Виклад основного матеріалу. Аналіз свідчить, що організаційно-правові аспекти управління ринком транспортних послуг в містах в значній мірі методологічно закріплені в сучасному законодавстві України. Так, згідно з Законом України «Про місцеве самоврядування в Україні» розгляду проектів планів транспортних підприємств і організацій, які належать до комунальної власності відповідних територіальних громад, внесення до них зауважень і пропозицій, здійснення контролю за їх виконанням має здійснюватись виконавчими органами сільських, селищних, міських рад за повноваженнями у сфері соціально-економічного і культурного розвитку, планування та обліку [11]. Через реалізацію можливості подавати до районних, обласних рад необхідні показники та вносити пропозиції до програм соціально-економічного та культурного розвитку відповідно районів і областей, а також до планів підприємств, установ та організацій незалежно від форм власності, розташованих на відповідній території, з питань, пов'язаних із соціально-економічним та культурним розвитком території, задоволенням потреб населення в транспортних послугах ці ж органи публічної влади можуть суттєво впливати на конкурентоспроможність ринків транспортних послуг. Водночас, за повноваженнями щодо здійснення розміщення на договірних засадах замовлень на виконання транспортних послуг, необхідних для територіальної громади, на підприємствах, в установах та організаціях, виконавчі органи сільських, селищних, міських можуть забезпечити належний рівень збалансування попиту і пропозиції на ринку транспортних послуг.

Правові та організаційні засади реалізації державної регуляторної політики у сфері господарської діяльності, до якої відноситься сфера транспорту, визначає Закон України «Про засади державної регуляторної політики у сфері господарської діяльності». Важливо усвідомлювати, що до регуляторних органів, окрім Верховної Ради України, Президента України, Кабінету Міністрів України, інших державних органів, відносяться й місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування, а також посадові особи будь-якого із зазначених органів, якщо відповідно до законодавства ця особа має повноваження одноособово приймати регуляторні акти. Результатом такої діяльності є регуляторні акти, які або окремі положення яких спрямовані на правове регулювання господарських відносин, а також адміністративних відносин між регуляторними органами або іншими органами державної влади та суб’єктами господарювання [11]. В повній мірі це відноситься до управління ринком транспортних послуг для населення міст. Зокрема, законодавством про місцеве самоврядування визначено, що до відання виконавчих органів сільських, селищних, міських рад за делегованими повноваженнями належать участь у здійсненні державної регуляторної політики в межах та у спосіб, встановлені означеним Законом України "Про засади державної регуляторної політики у сфері господарської діяльності", а також розгляд і узгодження планів транспортних підприємств, установ та організацій, що не належать до комунальної власності відповідних територіальних громад, здійснення яких може викликати негативні соціальні, демографічні, екологічні та інші наслідки, підготовка до них висновків і внесення пропозицій до відповідних органів [11].

Для забезпечення належного управління транспортною системою міста, а також зміцнення та ефективного функціонування ринку транспортних послуг виконавчі органи сільських, селищних, міських рад в межах повноважень в галузі бюджету, фінансів і цін можуть:

- опікуватись питаннями залучення на договірних засадах коштів підприємств, установ та організацій незалежно від форм власності, розташованих на відповідній території, та коштів населення, а також бюджетних коштів на будівництво, розширення, ремонт і утримання на пайових засадах об'єктів транспортної інфраструктури та на заходи щодо охорони навколишнього природного середовища;

- здійснювати об'єднання на договірних засадах коштів відповідного місцевого бюджету та інших місцевих бюджетів для виконання спільних проектів або для спільного фінансування комунальних транспортних підприємств, установ та організацій, вирішення інших питань, що стосуються спільних інтересів територіальних громад.

Значний потенціал управління ринком транспортних послуг населенню міст України в організаційно-правовому аспекті, згідно із законодавством про місцеве самоврядування, мають повноваження виконавчих органів місцевих рад щодо управління комунальною власністю, які стосуються:

- управління в межах, визначених радою, майном, що має відношення до надання транспортних послуг і належить до комунальної власності відповідних територіальних громад;

- встановлення порядку та здійснення контролю за використанням прибутків транспортних підприємств, установ та організацій комунальної власності відповідних територіальних громад;

- підготовки і внесення на розгляд ради пропозицій щодо порядку та умов відчуження комунального майна, проектів місцевих програм приватизації та переліку об'єктів комунальної власності, які не підлягають приватизації; організація виконання цих програм.

Упорядкування супутніх питань розвитку ринку транспортних послуг стосуються повноваження щодо прийняття рішень про розміщення, обладнання та функціонування майданчиків для паркування транспортних засобів та стоянок таксі на вулицях і дорогах населених пунктів, здійснення контролю за цими напрямами, а також впровадження в межах відповідного населеного пункту автоматизованої системи контролю оплати вартості послуг з паркування, затвердження технічних вимог та завдання до цієї системи.

Підвищення конкурентоспроможності ринків транспортних послуг для населення та ефективності систем їх надання спричиняє вирішення питань:

- встановлення зручного для населення режиму роботи транспортних підприємств, що належать до комунальної власності відповідних територіальних громад;

- затвердження маршрутів і графіків руху, правил користування міським пасажирським транспортом незалежно від форм власності, узгодження цих питань стосовно транзитного пасажирського транспорту у випадках, передбачених законодавством;

- прийняття рішення про впровадження автоматизованої системи обліку оплати проїзду в міському пасажирському транспорті незалежно від форм власності та визначення особи, уповноваженої здійснювати справляння плати за транспортні послуги в разі запровадження автоматизованої системи обліку оплати проїзду [11].

В межах дослідження за обраною темою, важливо звернути увагу, що визначені в законодавстві повноваження виконавчих органів сільських, селищних, міських рад в організаційно-правовому аспекті пов’язані із встановленням порядку функціонування та вимог до автоматизованої системи обліку оплати проїзду в міському пасажирському транспорті незалежно від форм власності, а також видів, форм носіїв, порядку обігу та реєстрації проїзних документів, а також організацією недискримінаційного доступу постачальників електронних комунікаційних мереж та/або послуг, уповноважених ними осіб до інфраструктури об’єктів будівництва, транспорту, енергетики, кабельної каналізації електрозв’язку, будинкової розподільної мережі комунальної власності на договірній основі з підприємствами, на балансі яких перебуває ця інфраструктура.

Для формування конкурентного середовища в сфері транспортних послуг міст передбачено визначення на конкурсних засадах суб’єктів господарювання, що здійснюють у межах певної території надання послуг з вивезення побутових відходів спеціально обладнаними для цього транспортними засобами [10,11].

Низка питань розвитку системи управління ринком транспортних послуг для населення міст України в організаційно-правовому аспекті стосуються делегованих повноважень виконавчих органів сільських, селищних, міських ради. Слід зазначити, що делегованими повноваженнями вважають повноваження органів виконавчої влади, надані органам місцевого самоврядування законом, а також повноваження органів місцевого самоврядування, які передаються відповідним місцевим державним адміністраціям за рішенням районних, обласних рад на засадах законності, доцільності, обґрунтованості, добровільності та підконтрольності суб'єктів реалізації таких повноважень [2, с. 35].

За делегованими повноваженнями виконавчі органи місцевих рад мають здійснювати заходи щодо розширення та вдосконалення мережі підприємств транспорту, а також здійснення відповідно до законодавства контролю за належною експлуатацією та організацією обслуговування населення підприємствами транспорту, за належними, безпечними і здоровими умовами праці на цих підприємствах і об'єктах, прийняття рішень про скасування даного ними дозволу на експлуатацію об'єктів у разі порушення нормативно-правових актів з охорони праці, екологічних, санітарних правил, інших вимог законодавства, а також встановлення за погодженням з власниками зручного для населення режиму роботи розташованих на відповідній території підприємств, установ та організацій сфери обслуговування незалежно від форм власності [11].

Водночас, за виконавчими органами місцевих рад закріплено повноваження щодо здійснення контролю за дотриманням законодавства щодо захисту прав споживачів, а також здійснення контролю за дотриманням підприємствами комунальної власності вимог законодавства щодо забезпечення на договірній основі безперешкодного доступу постачальників електронних комунікаційних мереж та/або послуг, уповноважених ними осіб до інфраструктури об’єктів будівництва, транспорту, енергетики, кабельної каналізації електрозв’язку, що перебуває у них на балансі, а також за правильністю обрахування плати за доступ. Виконавчим органам сільських, селищних, міських рад забороняється делегування цих повноважень з контролю суб’єктам господарювання.

Управління ринком транспортних послуг населенню міст України в організаційно-правовому аспекті безпосередньо пов'язане розвитком транспортної інфраструктури міст за повноваженнями у галузі будівництва. Зокрема, це стосується:

- залучення на договірних засадах підприємств, установ та організацій незалежно від форм власності до участі в розвитку та реконструкції об'єктів транспортного обслуговування;
- організації розвитку інфраструктури об’єктів транспорту комунальної власності для розміщення технічних засобів електронних комунікацій з метою задоволення потреб населення у електронних комунікаційних послугах [11].

Базові положення організаційно-правового забезпечення ринку транспортних послуг населенню міст України з певною технологічною конкретизацією закріплені й Законом України "Про автомобільний транспорт", де визначено, що замовником транспортних послуг слід вважати юридичну або фізичну особу, яка замовляє транспортні послуги з перевезення пасажирів чи/та вантажів, а органи місцевого самоврядування формують мережу міських автобусних маршрутів загального користування і здійснюють контроль за виконанням транспортного законодавства на відповідній території згідно з повноваженнями, визначеними законами України [9].

В аспекті розвитку ринку транспортних послуг організація пасажирських перевезень на міських автобусних маршрутах загального користування покладається на виконавчий орган сільської, селищної, міської ради відповідного населеного пункту, які зобов'язані:

- забезпечувати формування автобусної маршрутної мережі загального користування й мережі таксомоторних стоянок та розробляти перспективи їх розвитку;
- організовувати утримання в належному стані проїзної частини автомобільних доріг та під'їздів (на міських автобусних маршрутах загального користування) і в разі завдання матеріальних збитків автомобільному перевізнику, що обслуговує автобусний маршрут загального користування, унаслідок неналежного утримання проїзної частини автомобільної дороги чи під'їзду компенсувати йому збитки;
- забезпечувати облаштування необхідною інфраструктурою автобусних маршрутів загального користування, а саме – автопавільйонами, інформаційним забезпеченням пасажирів і підтримувати її в належному технічному та санітарному стані;
- забезпечувати розроблення паспортів автобусних маршрутів загального користування з визначенням необхідної кількості автобусів, їх пасажиромісткості, класу, технічних та екологічних показників, розкладу руху. Порядок розроблення та затвердження паспорта маршруту визначає центральний орган виконавчої влади з питань автомобільного транспорту;
- проводити конкурс на перевезення пасажирів на автобусних маршрутах загального користування;
- забезпечувати укладання договору на автобусних маршрутах загального користування із автомобільним перевізником – переможцем конкурсу на міських, приміських та міжміських автобусних маршрутах загального користування, які не виходять за межі території області (внутрішньообласні маршрути), чи надання дозволу на приміських та міжміських автобусних

маршрутах загального користування, які виходять за межі території області (міжобласні маршрути), та забезпечувати контроль за виконанням ним умов договору чи дозволу;

- забезпечувати безпечне і якісне обслуговування пасажирів на автобусних маршрутах загального користування;

- забезпечувати компенсацію втрат автомобільному перевізнику внаслідок перевезення пільгових категорій пасажирів та регулювання тарифів [9].

Окремою статтею Закону визначено надання соціально значущих послуг автомобільного транспорту (Стаття 11). Передбачено, що надання таких послуг здійснюється відповідно до законодавства з питань поставки продукції для державних потреб. Соціально значущими послугами автомобільного транспорту є послуги з перевезення пасажирів автобусними маршрутами загального користування за визначеними уповноваженими органами тарифами та на пільгових умовах відповідно до законодавства. Означені організаційно-правові положення підпадають під дію Закону України «Про публічні закупівлі», який визначає правові та економічні засади здійснення закупівель послуг, зокрема транспортних послуг для забезпечення потреб територіальних громад та об'єднаних територіальних громад [12]. При цьому ставиться за мету забезпечення ефективного та прозорого здійснення таких закупівель, що сприяє створення конкурентного середовища, запобігання проявам корупції та розвитку добросовісної конкуренції на ринку транспортних послуг в містах. Водночас, на законодавчому рівні передбачено регулювання положень про забезпечення функціонування міського електричного транспорту, у тому числі метрополітену, та експлуатація його об'єктів для надання послуг з перевезення, а також надання послуг з перевезення пасажирів автобусами в межах міст, з дотриманням умов, визначених відповідним органом виконавчої влади чи органом місцевого самоврядування на визначених ним маршрутах.

Розвиток ринку транспортних послуг можливий за вмілого застосування органами місцевого самоврядування норм права, прогресивних технологій, форм і методів управління, а також реалізації внутрішнього потенціалу територій, спільно з іншими партнерами. Це дозволить не тільки підвищити якість обслуговування, а й перманентно збільшувати обсяги транспортних послуг, що надаються населенню [3, с.215].

Висновки і перспективи подальших розвідок у даному напрямі. Підводячи підсумок на підставі проведених досліджень зазначимо, що пріоритетами забезпечення належного рівня управління ринком транспортних послуг для населення в містах України в організаційно-правовому аспекті у взаємодії транспортних підприємств та організацій з виконавчими органами сільських, селищних, міських рад слід вважати:

- систематичне вивчення та прогнозування рівня попиту, критичних ситуацій на ринку транспортних послуг, розгляд проектів планів транспортних підприємств і організацій, формування пропозиції до програм соціально-економічного та культурного розвитку міст, районів і областей;

- здійснення державної регуляторної політики в межах та у спосіб, встановлені означеним законодавством України, залучення на договірних засадах коштів підприємств, установ та організацій незалежно від форм власності, розташованих на відповідній території на будівництво, розширення, ремонт і утримання транспортної інфраструктури та на заходи щодо охорони навколишнього природного середовища;

- управління майном, що має відношення до надання транспортних послуг, встановлення зручного для населення режиму роботи транспортних підприємств, що належать до комунальної власності відповідних територіальних громад, затвердження маршрутів і графіків руху, правил користування міським пасажирським транспортом незалежно від форм власності;

- впровадження автоматизованої системи обліку оплати проїзду в міському пасажирському транспорті незалежно від форм власності, встановленням порядку функціонування та вимог до автоматизованої системи обліку оплати проїзду, здійснення контролю за належною експлуатацією та організацією обслуговування населення підприємствами транспорту;

- забезпечення формування автобусної маршрутної мережі загального користування й мережі таксомоторних стоянок та перспективи їх розвитку, проведення конкурсу на перевезення пасажирів на автобусних маршрутах загального користування, забезпечення безпечного і якісного обслуговування пасажирів на автобусних маршрутах загального користування.

До важливих чинників розвитку ринку транспортних послуг, які можна вважати перспективними щодо подальших розвідок у даному напрямі, можна віднести створення конкурентного середовища, захист від недобросовісної конкуренції, боротьбу з тіньовими явищами – що в значній мірі залежать як суб'єктів господарювання, так і від місцевих органів публічної влади та управління.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бабаєв В. М. Управління міським господарством: теоретичні та прикладні аспекти: монографія / В. М. Бабаєв. – Харків : Вид-во ХарРІ НАДУ “Магістр”, 2014. 204 с.

2. Воронкова В. Г. Муніципальний менеджмент: навч. посіб. / В. Г. Воронкова. – Київ : ВД “Професіонал”, 2014. 256 с.

3. Гарькавий І. Б. Зміцнення містообслуговуючої сфери органами місцевого самоврядування : монографія / І. Б. Гарькавий. – Київ : НАДУ ; Фенікс, 2015. 356 с.

4. Колтун В. С. Організація взаємодії органів місцевого самоврядування з місцевими органами виконавчої влади у сфері надання муніципальних послуг / В. С. Колтун // Вісн. НАДУ. – 2012. – № 1. – С. 211-220.

5. Конституція України: Закон України від 28.06.1996 № 254к/96-ВР *Верховна Рада України. Законодавство України.* URL: http://zakon0.rada.gov.ua/laws/main/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80-вр.

6. Муніципальне право України : підручник / В. Ф. Погорілко, О. Ф. Фрицький, М. О. Баймуратов та ін. ; за ред. В. Ф. Погорілка, О.Ф. Фрицького. – Київ : Юрінком Інтер, 2001. – 352 с.

7. Муніципальний менеджмент : навч. посіб. / Ю. П. Шаров, О.А. Чикаренко, О. Ю. Бобровська та ін. ; за наук. та заг. ред. Ю. П. Шарова. – Дніпропетровськ : ДРІДУ НАДУ, 2007. – 350 с.

8. Організація і технологія надання послуг : навч. посіб. / за ред. проф. В. В. Апопія. – Київ : Видавн. центр “Академія”, 2006. – 311 с.

9. Про внесення змін до Закону України «Про автомобільний транспорт»: Закон України від 23.02.2006 р. № 3492–IV-ВР. *Верховна Рада України. Законодавство України.* URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14-вр.

10.Про засади державної регуляторної політики у сфері господарської діяльності: Закон України від 11.09.20103 р. № 1160-IV. *Верховна Рада України. Законодавство України.* URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1160-15-вр.

11.Про місцеве самоврядування в Україні: Закон України від 21.05.1997 р. № 280/97-ВР. *Верховна Рада України. Законодавство України.* URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/280/97-вр.

12.Про публічні закупівлі: Закон України від 05.12.2015 р. № 922-VIII. *Верховна Рада України. Законодавство України.* URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/922-19-вр.

REFERNCES

1. Babayev V.M. (2014) Management of urban economy: theoretical and applied aspects: a monograph. – Kharkiv: HarRI NAPA Publishing House “Master”. 204 p. [in Ukrainian].

2. Voronkova V.G. (2014) Municipal management: textbook. way. – Kyiv: VD “Professional”. 256 p. [in Ukrainian].

3. Garkavy I.B. (2015) Strengthening the city service sector by local governments: a monograph. – Kyiv: NAPA; Phoenix. 356 p. [in Ukrainian].

4. Koltun V.S. (2012) Organization of interaction of local governments with local executive bodies in the field of municipal services – Visn. NADU. 1. 211-220. [in Ukrainian].

5. The Constitution of Ukraine: Law of Ukraine of June 28, 1996 № 254k / 96-VR The Verkhovna Rada of Ukraine. Legislation of Ukraine. URL: http://zakon0.rada.gov.ua/laws/main/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80-вр. [in Ukrainian].

6. Pogorilko V.F. (2001) Municipal law of Ukraine: a textbook (2001) / for order. VF Pogorilka, OF Fritsky. – Kyiv: Yurinkom Inter, – 352 p. [in Ukrainian].

7. Sharov Y. P. (2007) Municipal management: textbook. way. – Dnipropetrovsk: DRIDU NADU, 350 p. [in Ukrainian].

8. Apopia V.V. (2006) Organization and technology of services: textbook. way. – Kyiv: Publishing house. Center "Academy", 311 p. [in Ukrainian].

9. On Amendments to the Law of Ukraine “On Road Transport”: Law of Ukraine of February 23, 2006 № 3492 – IV-VR. Verkhovna Rada of Ukraine. Legislation of Ukraine. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14-вр. [in Ukrainian].

10. On the principles of state regulatory policy in the field of economic activity: Law of Ukraine of 11.09.20103 № 1160-IV. Verkhovna Rada of Ukraine. Legislation of Ukraine. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1160-15-вр. [in Ukrainian].

11. On local self-government in Ukraine: Law of Ukraine of 21.05.1997 № 280/97-ВР. Verkhovna Rada of Ukraine. Legislation of Ukraine. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/280/97-вр. [in Ukrainian].

12. On public procurement: Law of Ukraine of 05.12.2015 № 922-VIII. Verkhovna Rada of Ukraine. Legislation of Ukraine. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/922-19-вр. [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Мельниченко О.І. Управління ринком транспортних послуг для населення в містах України: організаційно-правовий аспект / О.І. Мельниченко, О.С. Ігнатенко, А.М. Дмитриченко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

В статті досліджуються організаційно-правові аспекти управління ринком транспортних послуг для населення в містах України. Проведено систематизацію правових норм законодавства України за напрямом дослідження та визначено пріоритети забезпечення належного рівня управління ринком транспортних послуг у взаємодії транспортних підприємств й організацій з виконавчими органами сільських, селищних, міських рад.

Об'єкт дослідження – відносини, пов'язані з управлінням ринком транспортних послуг для населення в містах України.

Мета роботи –аналіз та узагальнення організаційно-правових аспектів управління ринком транспортних послуг в містах України, а також визначення напрямів підвищення рівня транспортного обслуговування населення та результативності діяльності суб'єктів управління та господарювання.

Методи дослідження – аналіз, синтез, абстрагування, узагальнення, індукція, дедукція.

Розвиток ринку транспортних послуг для населення в містах України в організаційно-правовому аспекті може бути досягнутий на умовах наукового супроводу щодо застосування правових норм за цим напрямом, прогресивних технологій, форм і методів управління, а також реалізації внутрішнього потенціалу територій, спільно з іншими партнерами. Встановлено, що зусилля транспортних підприємств й організацій, а також виконавчих органів сільських, селищних, міських рад мають концентрувати на виконанні завдань щодо вивчення та прогнозування рівня попиту на транспортні послуги, формування планів й програм соціально-економічного та культурного розвитку територій в транспортному аспекті; здійсненні ефективної державної регуляторної політики та залученні на договірних засадах коштів на будівництво, розширення, ремонт і утримання транспортної інфраструктури. Раціональним має бути управління майном, що має відношення до надання транспортних послуг, встановлення зручного для населення режиму роботи транспортних підприємств, затвердження маршрутів і графіків руху, правил користування міським пасажирським транспортом незалежно від форм власності. Слід приділити увагу впровадженню автоматизованої системи обліку оплати проїзду в міському пасажирському транспорті незалежно від форм власності, системі здійснення контролю за належною експлуатацією та організацією обслуговування населення підприємствами транспорту. Це дозволить не тільки підвищити якість обслуговування населення, а й підвищити ефективність роботи транспортних підприємств.

Результати досліджень можуть бути рекомендовані до впровадження транспортним підприємствам й організаціям, виконавчим органам сільських, селищних, міських рад у систему організаційно-правового управління ринком транспортних послуг для населення в містах України.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТРАНСПОРТНІ ПОСЛУГИ, УПРАВЛІННЯМ РИНКОМ, ПРАВОВІ НОРМИ, ТЕХНОЛОГІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ, МІСЬКИЙ ПАСАЖИРСЬКИЙ ТРАНСПОРТ, ПОВНОВАЖЕННЯ МІСЦЕВИХ ОРГАНІВ ПУБЛІЧНОЇ ВЛАДИ.

ABSTRACT

Melnichenko O, Ignatenko O., Dmytrychenko A. Management of the market of transport services for the population in the cities of Ukraine: organizational and legal aspect. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The article investigates the organizational and legal aspects of managing the market of transport services for the population in the cities of Ukraine. The systematization of legal norms of the legislation of Ukraine in the direction of research is carried out and the priorities of ensuring the proper level of management of the market of transport services in interaction of transport enterprises and organizations with executive bodies of village, settlement, city councils are determined.

The object of research is the relations related to the management of the market of transport services for the population in the cities of Ukraine.

The purpose of the work is the analysis and generalization of organizational and legal aspects of management of the market of transport services in the cities of Ukraine, as well as determination of directions of increase of the level of transport service of the population and efficiency of activity of subjects of management and management.

Research methods – analysis, synthesis, abstraction, generalization, induction, deduction.

The development of the market of transport services for the population in the cities of Ukraine in the organizational and legal aspect can be achieved through scientific support for the application of legal norms in this area, advanced technologies, forms and methods of management and internal potential of territories, together with other partners. It is established that the efforts of transport enterprises and organizations, as well as executive bodies of village, settlement, city councils should focus on tasks to study and forecast the level of demand for transport services, formation of plans and programs of socio-economic and cultural development in transport; implementation of an effective state regulatory policy and attraction of funds on a contractual basis for the construction, expansion, repair and maintenance of transport infrastructure. Property management related to the provision of transport services, the establishment of a convenient mode of operation of transport enterprises, approval of routes and schedules, rules for the use of urban passenger transport, regardless of ownership, should be rational. Attention should be paid to the introduction of an automated fare accounting system in urban passenger transport, regardless of ownership, a system of control over the proper operation and organization of public services by transport enterprises. This will not only improve the quality of public services, but also increase the efficiency of transport companies.

The results of research can be recommended for implementation by transport enterprises and organizations, executive bodies of village, settlement, city councils in the system of organizational and legal management of the market of transport services for the population in the cities of Ukraine.

KEY WORDS: TRANSPORT SERVICES, MARKET MANAGEMENT, LEGAL STANDARDS, TECHNOLOGIES OF TRANSPORTATION ORGANIZATION, CITY PASSENGER PASSENGER TRADE

АВТОРИ:

Мельниченко Олександр Іванович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, завідувач кафедрою виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: melnichenko@ntu.edu.ua, тел. +380506562446, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омелянович-Павленко 1, orcid.org/0000-0001-9694-9824

Ігнатенко Олександр Семенович, доктор технічних наук, Національний транспортний університет, професор, професор кафедри транспортних технологій, Київ, Україна, ignatenco@gmail.com, +38679059744, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омелянович-Павленко 1, orcid.org/0000-0003-0443-5469

Дмитриченко Андрій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортного права та логістики, Національний транспортний університет, e-mail: andrew_d@ukr.net, +380502816006, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омелянович-Павленко 1, orcid.org/0000-0001-6144-7533.

AUTHOR:

Melnichenko Oleksand 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. +38(050)6562446, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka str. 1, orcid.org/0000-0001-9694-9824

Ignatenko Oleksandr Semenovych, Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Professor, Professor of the Department of Transport Technologies, Kyiv, Ukraine, ignatenco@gmail.com, +38679059744, Ukraine, 01010, Kyiv, st. M. Omelyanovich-Pavlenko 1, orcid.org/0000-0003-0443-5469

Dmytrychenko Andij Mykolayovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, associate professor of department transport law and logistic, National Transport University, e-mail: andrew_d@ukr.net, +380502816006, orcid.org/0000-0001-6144-7533.

РЕЦЕНЗЕНТИ

Данченко О. Б., доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних наук та системного аналізу Черкаського державного технологічного університету, Черкаси, Україна.

Прокудін Г.С., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Міжнародних перевезень та митного контролю» Національного транспортного університету, Київ, Україна.

REVUEWER

Danchenko O.B., Ph.D., Technical (Dr.), Professor, Professor of Computer Science and Systems Analysis of Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine.

Prokudin G.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department for International Transportation and Gustoms Control, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

УДК 621.879.445 DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-297-306
UDC 621.879.445

ВИЗНАЧЕННЯ СИЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ОПОРНОЇ ЛИЖІ РОТОРНОГО РОБОЧОГО ОРГАНА УНІВЕРСАЛЬНОЇ ЗЕМЛЕРИЙНОЇ МАШИНИ

Мусійко В.Д., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, musvd@i.ua, orcid.org/0000-0001-9983-3296
Коваль А.Б., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, kandr@i.ua, orcid.org/0000-0003-1295-8200
Мороз В.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, frost2013@i.ua, orcid.org/0000-0003-3000-4961
Варфоломєєв Ю.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна, varfolomeev1947@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5388-6624

DETERMINATION OF THE POWER LOAD FOR THE SKID OF THE MULTIPURPOSE EARTHMOVING MACHINE'S ROTARY IMPLEMENT

Musiiko V.D., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kiev, Ukraine, musvd@i.ua, orcid.org/0000-0001-9983-3296
Koval A.B., Candidate of Science (Engineering), National Transport University, Kyiv, Ukraine, kandr@i.ua, orcid.org/0000-0003-1295-8200
Moroz V.V., Candidate of Science (Engineering), National Transport University, Kyiv, Ukraine, frost2013@i.ua, orcid.org/0000-0003-3000-4961
Varfolomeev Yu.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine, varfolomeev1947@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5388-6624

Постановка проблеми. Земляні роботи, особливо в галузі транспортного будівництва, пов'язані з розробкою та переміщенням мільярдів кубічних метрів ґрунту. Виконання таких об'ємів робіт можливе виключно з використанням високопродуктивних землерийних машин, в першу чергу екскаваторів безперервної дії. Ними швидко та ефективно можуть бути споруджені траншеї різного призначення, канали, дренажні системи в меліоративному будівництві, нафтогазотранспортні та газорозподільні системи. Використання з цією метою екскаваторів повздовжнього копання дозволяє підвищити в декілька разів продуктивність праці і цим прискорити темпи будівництва інженерних об'єктів різного призначення. Продуктивність спеціалізованих екскаваторів повздовжнього копання в 3-4 рази більша, ніж універсальних екскаваторів циклічної дії рівної маси.

Таким чином, розширення областей використання екскаваторів повздовжнього копання, підвищення техніко-експлуатаційних показників їх роботи повністю відповідає сучасним вимогам прискореного науково-технічного прогресу та створення нових технологій.

Існуючі типорозміри екскаваторів дозволяють відкопувати протяжні виїмки в ґрунті лише заданого профілю, а відкопування виїмок іншого профілю можливо шляхом переоснащення машин змінним робочим обладнанням [1].

З урахуванням вище викладеного, створення високопродуктивних універсальних землерийних машин (УЗМ) безперервної дії, здатних одним і тим самим робочим органом (РО) відкопувати в ґрунті протяжні виїмки різних лінійних розмірів та технологічного призначення за різних ґрунтових умов є актуальним та своєчасним.

Аналіз результатів останніх досліджень і публікацій. Аналіз опублікованих науково-технічних робіт, патентів та авторських свідоцтв [2-4], у яких викладено результати досліджень ефективності конструкцій робочого обладнання землерийних машин безперервної дії свідчить, що при їх створенні існує ряд не вирішених питань стосовно забезпечення високої продуктивності розробки ґрунтів та якості виконання земляних робіт в процесі спорудження інженерних об'єктів [5].

Протягом останніх років проблемами удосконалення процесів розроблення ґрунтів ланцюговими робочими органами землерийних машин займались вчені та науковці багатьох наукових та навчально-наукових установ, Національного транспортного університету (НТУ) : В.Д. Мусійко, А.Б. Коваль; М.К. Сукач (КНУБА); С.В. Кравець (НУВГП) – Україна; А.Я. Котлобай (Білоруський національний технічний університет) – Білорусія; В.С. Щербаков, М.Е. Агапов (Сибірська державна автомобільно-дорожня академія) – Російська Федерація та інші [6-12].

Не зважаючи на вище викладене, проблема створення високоефективних землерийних машин безперервної дії, що відповідають зазначеним вимогам залишається актуальною.

На землерийних машинах безперервної дії в якості робочого обладнання використовуються як роторні (ківшеві і безківшеві), так і ланцюгові (ківшеві та ланцюгово-балкові) робочі органи [13, 14].

Одним із проблемних питань створених ефективних конструкцій універсальних землерийних машин (УЗМ) є забезпечення в процесі синтезу конструкції її високої прохідності, врівноваженості та курсової стійкості під час копання ґрунту, особливо в режимі віяльно-поступальної подачі робочого органу на забій.

Розглядаючи в якості вихідної конструкцію роторного робочого органу машин (рис. 1), необхідно відзначити складність та багатовекторність зовнішніх навантажень, що виникають в процесі спорудження широких виїмок в ґрунті (котлованів).

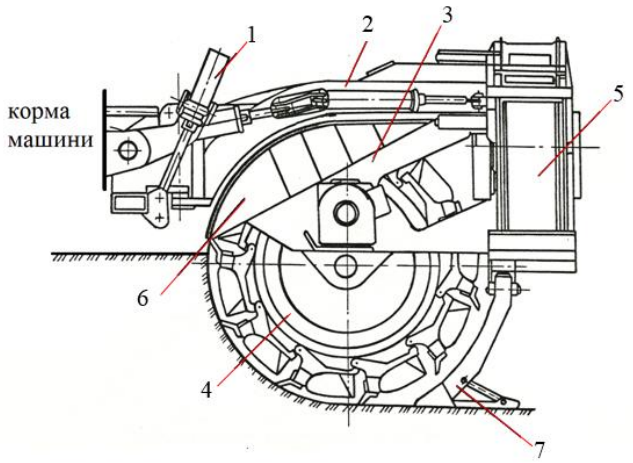


Рисунок 1 – Конструктивна схема робочого органа універсальної землерийної машини:
1 – гідроциліндр підйому; 2 – проміжна рама; 3 – рама ротора; 4 – ротор; 5 – метальник;
6 – захисний кожух; 7 – опорна лижа

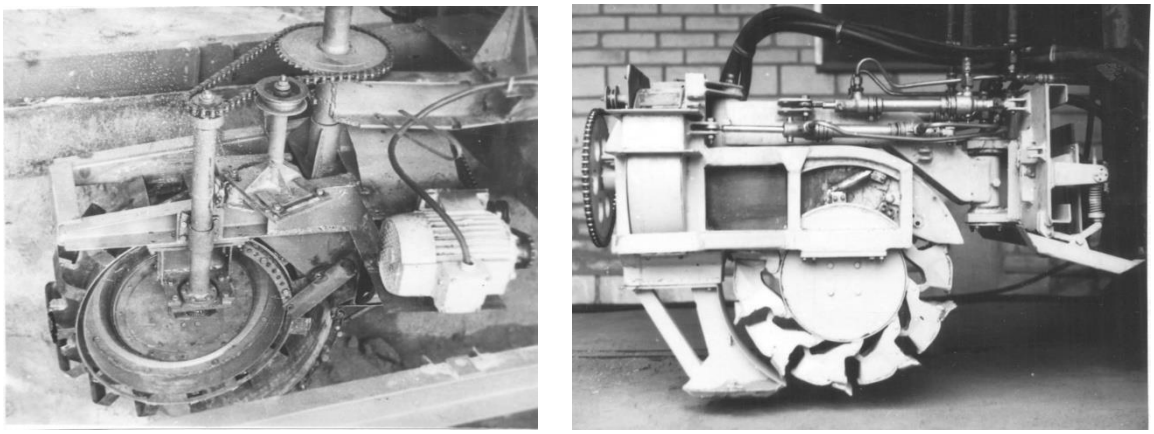
Figure 1 – Structural scheme of the multipurpose earthmoving machine's implement: 1 – hydraulic cylinder; 2 – intermediate frame; 3 – rotor frame; 4 – rotor; 5 – thrower; 6 – protection enclosure; 7 – skid

Врівноважити машину, забезпечивши рівномірний розподіл тиску гусениць на ґрунт, а значить і достатню курсову стійкість, пропонується шляхом використання опорної лижі робочого органу, що опирається своєю п'ятою на поверхню дна забою (див. рис. 1). При цьому лижа, розміщена позаду робочого органу, сприймає на себе значну частину зовнішніх навантажень як вертикальних, так і бічних, що виникають в процесі копання ґрунту, сприяючі таким чином рівномірному розподілу тиску під гусеницями машини. Це покращує тягово-зчіпні властивості машини, збільшує її прохідність та курсову стійкість.

Колективом кафедри дорожніх машин НТУ було проведено комплекс наукових робіт зі створення роторних УЗМ [6, 15-19]. Об'єктами експериментальних досліджень були фізичні моделі робочого обладнання УЗМ з безківшевими (рис. 2 а) [17] та ківшевими (рис. 2 б) роторними робочими органами (РО) [18, 19]. Для розроблення ґрунту використовувався роторний ківшевий РО з роторним лопатевим метальником.

Під час проведення досліджень розробка котлованів забезпечується суміщенням обертання РО з швидкістю ω_p, поздовжнім переміщенням зі швидкістю подачі V_n та бічною подачею на забій зі швидкістю $V_{бп}$ завдяки механізму поперечного (віяльного) руху РО відносно поздовжньої вісі навколо шарніру з вертикальною віссю в точці О. Необхідний профіль котловану відривається послідовними проходами (рис. 3).

В процесі суміщення поступального руху машини і бічного переміщення робочого органа розробка забою в горизонтальній площині здійснюється стружками серповидної форми, а параметри стружок, які зрізуються ріжучими елементами ротора змінюються від нуля до визначеної величини (див. рис. 3). В кінці напівциклу руху, коли ротор підходить до бічної стінки виїмки, ґрунт поступає в порожнини РО з цілика забою стружкою максимальної товщини та з призми волочіння, яка притискається до бічної стінки котловану. Утворення призми волочіння приводить до значного збільшення усіх силових навантажень, а також збільшення кількості залишкового ґрунту на дні котловану, об'єм складає 15,4 – 16,7 % від об'єму котловану. Значну частину цих навантажень сприймає опорна лижа робочого органа.



а) б)

Рисунок 2 – Моделі робочого обладнання УЗМ: а) з безківшевим ротором; б) з ківшевим ротором
Figure 2 – Models of the MEM working equipment: a) with the bucketless rotor; b) with bucket rotor

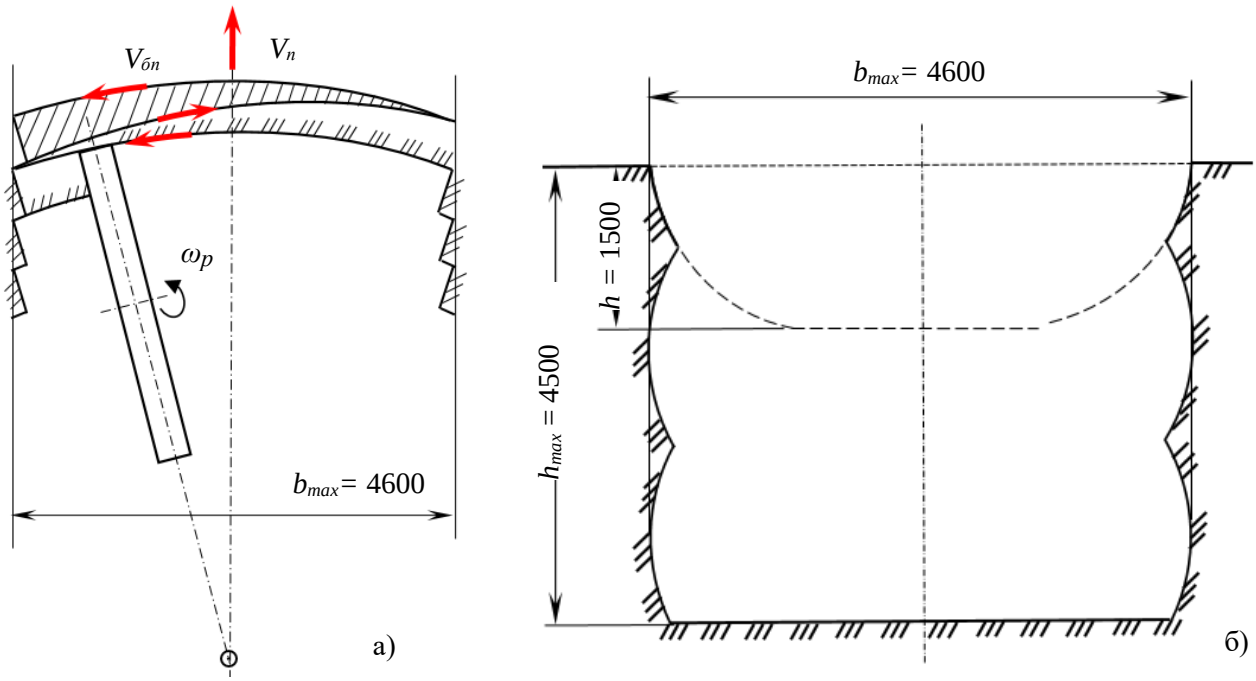


Рисунок 3 – Схема відривання котловану: а) – вид в плані; б) – поперечний переріз виїмки
Figure 3 – The scheme of pit development: a – view in the plan; b – cross-section of the excavation

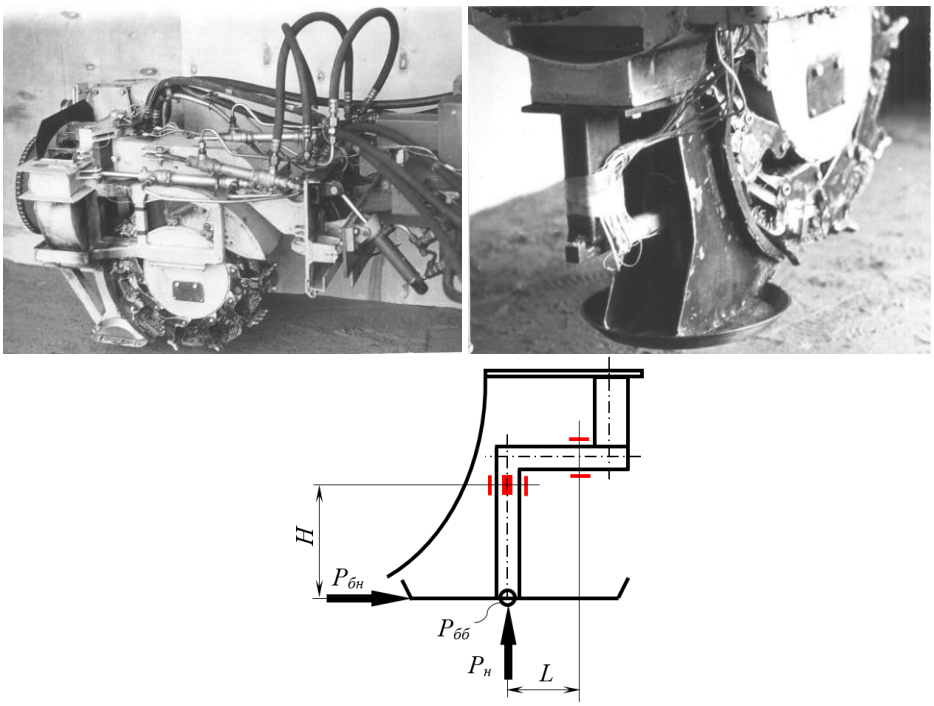
Експериментальними дослідженнями УЗМ з ківшевим роторним РО із відцентровим розвантаженням, який змонтовано на двохшарнірному механізмі поперечного переміщення (рис. 2 б) було встановлено, що силове навантаження РО залежить від режимів роботи і в значній мірі від форми стружки, яку розробляє РО в горизонтальній площині. Зменшити зовнішні навантаження та вирівняти їх величину в процесі копання ґрунту можливо шляхом удосконалення кінематики переміщення робочого органа в забої, а саме за рахунок довороту робочого органа в кінці кожного напівциклу.

Метою дослідження є визначення фізичної суті та величини параметрів силового навантаження опорної лижі робочого органа та шляхи зменшення цих навантажень.

Основна частина.

Опорна лижа є одним із важливих опорних конструктивних елементів робочого обладнання УЗМ. Криволінійну поверхню частини лижі повернуто до ротора, і вона направляє ґрунт, що не потрапив у вікно метальника, назад у зону копання. Таким чином в значній мірі попереджується утворення просипів ґрунту.

Експериментальні дослідження проведено на фізичній моделі робочого обладнання роторної універсальної машини (рис. 4 а). Під час дослідження силового навантаження штатна конструкція опорної лижі замінялась на опорну лижу з тензометричною підвіскою (рис. 4 б), схема якої наведена на рис. 4 в.

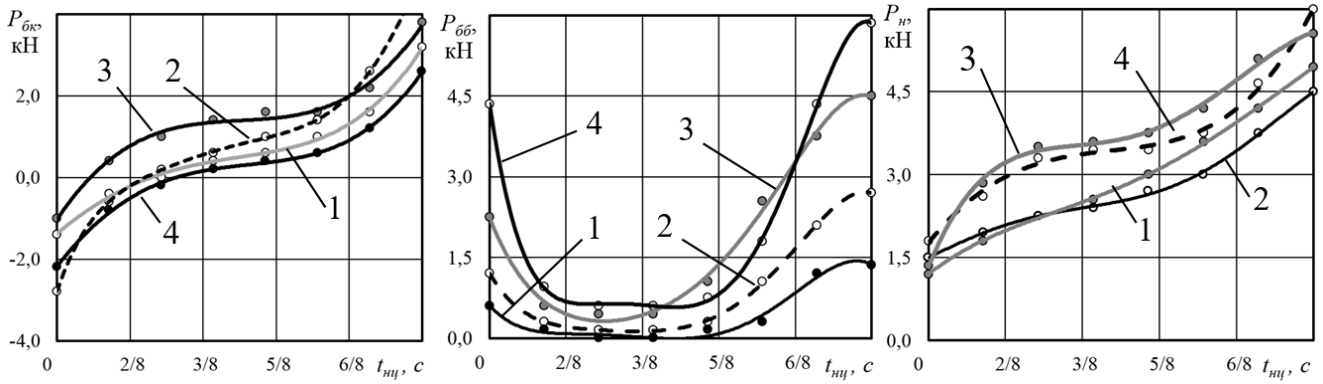


а) б) в)

Рисунок 4 – Фізична модель робочого органа універсальної землерийної машини: а) загальний вигляд; б) опорна лижа з тензометричною підвіскою; в) схема тензометричної підвіски лижі

Figure 4 – Physical model of the multipurpose earthmoving machine's implement: a) general view; b) skid with extensometric suspension; c) scheme of the extensometric suspension of the skid

Тензометричні дослідження навантаження опорної частини лижі дозволили виміряти реакції ґрунту на неї у трьох взаємно перпендикулярних площинах. Цими реакціями є поздовжня у площині ротора сила – $P_{б.н}$, бічна сила – $P_{б.б}$ і вертикальна $P_н$. Характер зміни кожної з цих реакцій за час переміщення робочого органа від однієї стінки траншеї до протилежної (за час напівциклу) є практично однаковим, відмінності полягають в абсолютних значеннях діючих сил (рис. 5). За результатами виконання модельного експерименту побудовано залежності зміни поздовжньої сили на лижі за час напівциклу під час копання виїмки в ґрунті шириною В = 4,5 м.



а) б) в)

Рисунок 5 – Силове навантаження опорної лижі за час напівциклу:

а) поздовжня сила, б) бічна сила, в) вертикальна сила; 1 – $V_п$= 27 м/год., $V_р$ = 6 м/с, $t_з$ = 0 с; 2 – $V_п$ = 27 м/год., $V_р$ = 6 м/с, $t_з$ = 1,1 с; 3 – $V_п$ = 104 м/год., $V_р$ = 6 м/с, $t_з$ = 1,1 с; 4 – $V_п$ = 104 м/год., $V_р$ = 9 м/с, $t_з$ = 1,1 с.

Figure 5 – Power load of the skid during half-cycle: a) longitudal force b) transverce force c) vertical force; 1 – $V_п$= 27 м/h, $V_р$ = 6 м/s, $t_з$ = 0 s; 2 – $V_п$ = 27 м/h, $V_р$ = 6 м/s, $t_з$ = 1,1 s; 3 – $V_п$ = 104 м/h, $V_р$ = 6 м/s, $t_з$ = 1,1 s; 4 – $V_п$ = 104 м/h., $V_р$ = 9 м/s, $t_з$ = 1,1 s.

Для більшої наочності та забезпечення можливості зіставлення навантажень в однакових положеннях робочого органа в забої, час циклу представлено не в абсолютних величинах, а у частках від загальної тривалості циклу. Із залежностей видно, що абсолютне значення поздовжньої сили на опорній лижі змінюється від 2,8 кН до 4 кН.

Для представлених режимів роботи характерний негативний напрям дії вектора поздовжньої сили (реакції) на початку переміщення (приблизно до $^2/_8$ тривалості напівциклу $t_{нц}$) з відносно швидким її зростанням. На середині напівциклу значення поздовжньої сили стабілізується на рівні 0,2-1,5 кН. Наприкінці напівциклу ($^5/_8$–$^8/_8$ $t_{нц}$) навантаження зростає.

Такий характер зміни поздовжньої сили за час напівциклу визначається кінематикою руху опорної частини лижі й особливостями її взаємодії з просипами ґрунту на дні виїмки. На початку руху вектор поздовжньої швидкості центру опорної частини лижі направлено від ротора до лижі, тобто опорна лижа відходить назад. Поздовжня сила має від'ємне значення, що зменшує величину необхідної сили тяги на переміщення робочого обладнання. У середині виїмки рух опорної частини лижв по дну виїмки стабілізується, а поздовжня швидкість опорної поверхні відносно підошви забою залишається практично незмінною. З урахуванням стабільності об'ємів просипів ґрунту у середній зоні забою мають місце постійні за величиною навантаження ($P_{б.н}$, $P_{б.б}$, $P_н$) на лижу у середині напівциклу (див. рис. 5).

При підході робочого органа до протилежної стінки забою поздовжня сила, що діє на лижу, зростає ($^5/_8$ – $^8/_8$ $t_{нц}$). Це відбувається внаслідок того, що основний об'єм залишкових просипів зосереджено на дні забою біля бічних стінок виїмки (рис. 6). Зустрічаючи на своєму шляху призму ґрунту, тарілчаста опорна поверхня лижі переміщує її, підпресовуючи ґрунт під собою та притискуючи його до бічної стінки ґрунтової виїмки. Цим обумовлюються максимальні навантаження на лижу ($P_{б.н}$, $P_{б.б}$, $P_н$) саме наприкінці робочого напівциклу. Основним чинником формування навантаження опорної лижі є наявність залишкових просипів на дні виїмки. Наявність довороту проміжної рами зменшує кількість залишкових просипів.

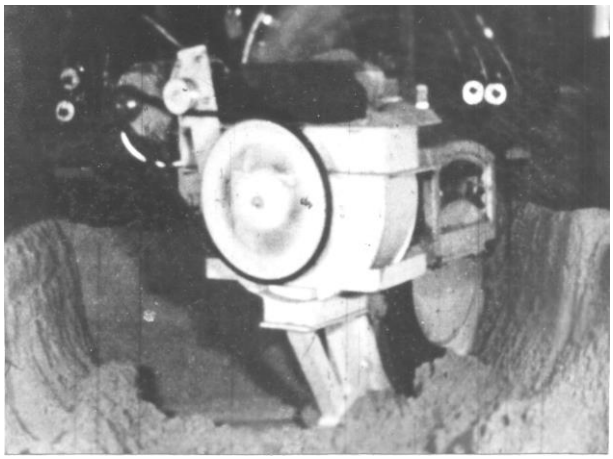


Рисунок 6 – Взаємодія опорної поверхні башмака з залишковими просипами наприкінці напівциклу
Figure 6 – Interaction of the shoe bearing surface with the residual spill at the end of the half-cycle

Як видно з рис. 5, для схожих режимів, але з різною тривалістю часу довороту ($t_з$ = 0 с і $t_з$ = 1,1 с), навантаження лижі може бути більшим як за $t_з$ = 0 с, так і за $t_з$ = 1,1 с. Це залежить від того, наскільки правильно величину тривалості довороту проміжної рами підібрано відповідно до режиму роботи машини. Логічний висновок: з метою мінімізації навантаження опорної лижі для кожного режиму роботи необхідна своя, оптимальна величина тривалості довороту проміжної рами.

Як видно з рисунка 5 б, у початковий момент переміщення значення бічної складової сил на лижі перебуває в межах 0,5-3 кН залежно від режиму роботи машини. Приблизно за час t = ⅛ $t_{н.ц}$ значення бічної сили стабілізується у межах 0-5 кН. До кінця напівциклу, починаючи з t = ⅝ $t_{нц}$, спостерігається інтенсивне зростання аналізованої складової $P_{б.б}$ до значень 1,5-6 кН. На початку руху опорна частина лижі знаходиться на ущільненому ґрунті, на неї діє вертикальна сила $P_н$, що обумовлює силу тертя приблизно рівну бічній силі $P_{б.б}$. Далі опорна частина лижі сходить із підпресованого раніше ґрунту (див. рис. 6). Причини та характер зміни бічної сили у середній частині ґрунтової виїмки та при підході робочого органа до стінки виїмки є аналогічними за фізикою взаємодії з закономірностями зміни поздовжньої сили на лижі.

Характер зміни вертикальної сили $P_н$, що діє на опорну поверхню лижі, є аналогічним зміні величини поздовжньої сили $P_{б.н}$. Відмінність полягає в тому, що вертикальна сила завжди є додатною внаслідок підпресовування ґрунту з просипів під опорну поверхню лижі. Змінюється вона у межах 1,1-6,0 кН із поличкою посеред напівциклу на рівні 2,5-3,6 кН залежно від режиму роботи машини (рис. 5 в).

Отримані навантаження на опорну лижу є наслідком ідеального робочого процесу. Робота реальної машини відрізняється тим, що система «робочий орган – тягач» схильна до коливань у просторі залежно від величини робочих навантажень. На навантаження опорної лижі та всієї машини значною мірою впливатимуть поздовжній і поперечний крен машини, осадка її гусениць у процесі розробки ґрунту.

Висновки.

1. Розкрито фізичну сутність формування зовнішніх навантажень на опорній лижі робочого органа універсальної землерийної машини.

2. Встановлено діапазони та закономірності зміни зовнішніх навантажень на опорній лижі необхідні для виконання розрахунків курсової стійкості УЗМ.

3. Доказана можливість мінімізації зовнішніх навантажень на лижі за рахунок оптимізації режимів переміщення робочого органа в режимі копання ґрунту шляхом довороту робочого органа в кінці кожного напівциклу робочого процесу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Створення траншейно-котлованних універсальних землерийних машин безперервної дії. Теоретичні дослідження кінематики переміщення робочого органа УЗМ в забої та забезпечення умов курсової стійкості універсальних землерийних машин безперервної дії. Звіт про НДР (проміжний). / Нац. трансп. ун-т. ; кер. Дем'янюк В.А.; вик. Мусійко В.Д. [та інш.]. – К., 2015. – 88 с. № ДР 0115U002269.

2. Домбровский М.Г. Многоковшовые экскаваторы. Конструкция, теория и расчет. – М. , Машиностроение, 1972. – 432 с.

3. Кравець С.В. Наукові основи створення землерийно-ярусних машин та підземнорухомих пристроїв : монографія / Кравець С.В., Кованько В.В., Лук'янчук О.П. – Рівне : НУВГП, 2015. – 322 с.

4. Мусійко В.Д. Теорія та створення інноваційних землерийних машин безперервної дії: монографія. Видання друге, доповнене / Мусійко В.Д., Коваль А.Б. . Київ: «Видавництво Людмила», 2018, 282 с.

5. Быков А.В. Исследование конструктивно-кинематических параметров цепнобалочного рабочего органа универсальной землеройной машины : дис. … канд. тех. наук / Быков Александр Владимирович. – К., 1986. – 205 с.

6. Створення екологічно безпечної технології пошарової розробки ґрунтів та проекту спеціальної землерийної машини для її реалізації. Звіт про НДР (остаточний) / Нац. трансп. ун-т. ; кер. Матейчик В.П. ; вик. Мусійко В.Д. [та інш.]. – К., 2018. – 233 с. № ДР 0107U002324.

7. Juraj Gerlici, Volodymyr Musiiko, Andrii Koval, Volodymyr Nikolaenko, Jurii Lazaruk, Tomas Lack, Kateryna Kravchenko. Experimental analysis of the universal continuous digging machine working processes. Manufacturing Technology 2020, 20(4):429-435 DOI: 10.21062/mft.2020.066.

8. Синтез землерийної і дорожньої техніки : підручник для студ. вищ. навч. закл. / М. К. Сукач, Є. В. Горбатюк, О. А. Марченко ; М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т будівництва і архітектури. – К. : Ліра-К, 2013. – 376 с.

9. Кравець С.В. Визначення числа ліній різання та висоти ґрунтотранспортних скребків ланцюгово-скребкових траншейних екскаваторів / С.В. Кравець, О.В. Косяк, Р.О Гапонов, Т.О. Янчик // Сб. научн. тр. Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. Серия: Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование. – Дніпро : ГВУЗ «ПГАСА», 2019. – Вип. № 107. – С. 66-74.

10. Котлобай А.Я. Формирование направлений модернизации землеройных машин. / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай, В.Ф. Тамело // Наука и техника. – 2013. № 5. С. 54–59.

11. М. Е. Агапов. Взаимодействие рабочего органа цепного траншейного экскаватора с грунтом в поперечной плоскости./ Вестник СибАДИ : Научный рецензируемый журнал. – Омск: ФГБОУ ВПО «СибАДИ». – № 5 (33). – 2013. С. 7-9.

12. Щербаков В. С. Совершенствование системы управления рабочим органом цепного траншейного экскаватора : монография / В. С. Щербаков, Р. Ю. Сухарев; СибАДИ. – Омск : СибАДИ, 2011. – 149 с.

13. Мусійко В.Д. Шляхи підвищення продуктивності траншейних екскаваторів безперервної дії / В.Д. Мусійко, А.Б. Коваль, Д.І. Пацьора // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2021. – Вип. 3 (50). С. 132-143.

14. Проведення тензометричних випробувань машини ПЗМ-3-01. Звіт про НДР (остаточний). / Нац. трансп. ун-т. ; кер. Мусійко В.Д.; вик Коваль А.Б. [та інш.]. – К., 2017. – 61 с. № ДР 0117U001719

15. Мусійко В. Основи синтезу компонувальної схеми універсальних землерийних машин безперервної дії / Мусійко В., Коваль А., Лейченко Ю. // Systemy i srodki transportu samochodowego. Wubrane zagadnienie. Monografia Nr 4. Seria: Transport pod redakcja naukowa Kazemierza Lejdy. – Rzeszów (Polska) : Politechnika Rzeszowska, 2015. – S. 263–268.

16. Коваль, А.Б. Визначення умов забезпечення курсової стійкості універсальних землерийних машин: автореф. дис… канд. техн. наук 05.05.04/ Коваль Андрій Борисович ; ДВНЗ «Придніпровська держ. акад. буд-ва .та архіт. – Д., 2014. – 21 с.

17. Экспериментальные исследования рабочих процессов перспективных землеройных машин с целью определения их основных параметров. Отчет о НИР / Киев. Автом.-дор. ин-т. ; рук. Маевский А.Г. ; исполн.: Мусийко В.Д. [и др.]. – К., 1983. – 146 с. – Библиогр.: с. 144–146. – № ГР 01.84.0000355 – Инв. № 0283.0086514.

18. Определение оптимальных кинематических параметров рабочего процесса и компоновочного решения универсальной роторной землеройной машины. Отчет о НИР / Киев. автом.-дор. ин-т. ; рук. Мусийко В.Д. ; исполн.: Коваль А.Б., Лейченко Ю.Б., Маслов В.Ф., Варфоломеев Ю.М., Юрчиков Б.В., Федорков В.И., Бережнюк В.И. – К., 1987. – 196 с. – № ГР 01.86.0017418; Инв. № 02880051223.

19. Створення траншейно-котлованних універсальних землерийних машин безперервної дії. Звіт про НДР (заключний). / Нац. трансп. ун-т. ; кер. Дем'янюк В.А.; вик Мусійко В.Д. [та інш.]. – К., 2018. – 202 с. № ДР 0115U002269.

REFERENCES

1. Demianiuk V.A., Musiiko V.D. Stvorennia transheino-kotlovannykh universalnykh zemleryinykh mashyn bezperervnoi dii. Teorenychni doslidzhennia kinematyky peremishchennia robochoho orhana UZM v zaboi ta zabezpechennia umov kursovoi stiikosti universalnykh zemleryinykh mashyn bezperervnoi dii [Design of the continuously operating trench- and pit digging machines. Theoretical researches of kinematics of movement rotary implement of UZM in a face and maintenance of conditions of course stability of universal earthmoving machines of continuous action]. Kyiv, National Transport University, 2015. 88 p.

2. Dombrovskiy, N. G. *Mnohokovshovye ekskavatory. Konstruktsiya, teoryya y raschet* [Multi bucket excavators. Construction, theory and calculation] Moskva, 1972, 432 p.

3. Kravets S.V., Kovanko V.V., Lykianchuk O.P. *Naukovi osnovy stvorennia zemleryino-yarusnykh mashyn ta pidzemnorukhomykh prystroiv* [Scientific bases of creation of earthmoving machines and underground mobile devices]. Rivne, NUVHP Publ., 2015. 322 p.

4. Musiiko V. D., Koval A.B. Teoriia ta stvorennia innovatsiinykh zemleryinykh mashyn bezperervnoi dii [Theory and creation of innovative earthmoving machines of continuous action]. Kyiv, Vydavnytstvo Ludmyla Publ., 2018 .282 p.

5. Bykov, A.V. *Yssledovanye konstruktyvno-kynematycheskykh parametrov tsepnobalochnoho rabocheho orhana unyversal'noy zemleroynoy mashyny* [Investigation of the structural-kinematic parameters of the chain-working apparatus of a universal earthmoving machine. Doct. Diss.] Kyiv, 1986, 205 p

6. Mateichyk V.P., Musiiko V.D. Stvorennia ekolohichno bezpechnoi tekhnolohii posharovoi rozrobky gruntiv ta proektu cpetsialnoi zemleryinoi mashyny dlia ii realizatsii [Creation of the environmentally safe technology of layerwise soil excavation and the design of the specialized earthmoving machine for the implementation of this technology]. Kyiv, National Transport University, 2018. 233 p.

7. Juraj Gerlici, Volodymyr Musiiko, Andrii Koval, Volodymyr Nikolaenko, Jurii Lazaruk, Tomas Lack, Kateryna Kravchenko. Experimental analysis of the universal continuous digging machine working processes. Manufacturing Technology 2020, 20(4):429-435 DOI: 10.21062/mft.2020.066.

8. Sukach M.K., Horbatiuk Ye.V., Marchenko O.A. *Syntez zemleryinoi i dorozhnoi tekhniky : pidruchnyk dlia studentiv vyshchykh navchalnykh zakladiv* [Synthesis of earthmoving and road machinery: a textbook for students of higher educational institutions]. Kyiv, Lira-K, 2013. 376 p.

9. Kravets S.V., Kosiak O.V., Haponov R.O., Yanchyk T.O. Vyznachennia chysla linii rizannia ta vysoty gruntotransportnykh skrebkiv lantsiuhovo-skrebkovykh transheinykh eksravatoriv [Determining the number of cutting lines and the height of soil scrapers scraper chain scraper trench excavators] Stoitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Intensifikatsiya rabochikh protsesov stroitelnykh i dorozhnykh mashyn. Seriya: Podemno-transportnye, stroitelnye i dorozhnye mashyny i oborudovanie. [Building. Materials Science. Mechanical Engineering. Intensification of of working processes of building and road machines. Series: Hoisting, building and road machines and equipment.], 2019, issue 107, p.p. 66-74. (Ukr)

10. Kotlobay A.Ya., Kotlobay A.A., Tamelo V.F. Formirovanie napravleniy modernizatsii zemleroynykh mashyn [Formation of directions for the modernization of earthmoving machines]. *Nauka I tekhnika – Science and technology*, 2013, issue 5, pp.54-59.

11. Agapov M.E. Vzaimodeystvie rabochego organa tsepnogo transheynogo ekskavatora s gruntom v poperechnoy ploskosti [Interaction of the working body of a chain trench excavator with soil in the transverse plane]. Vesnik SibADI – Bulletin SibADI, 2013, issue 5, pp. 7-9.

12. Shcherbakov V.S. Sovershenstvovanie sistemy upravlenya rabochim organom tsepnogo transheynogo ekskavatora [Improving the control system of the working body of a chain trench excavator]. Omsk, SibADI Publ., 2011. 149 p.

13. Musiiko V. D.. Shliakhy pidvyshchennia produktyvnosti transheinykh ekskavatoriv bezperervnoi dii [Ways to increase the productivity in continuously operating trenching excavators]. Visnyk natsionalnoho transportnoho universytenu [Bulletin of the National Transport University, 2021, issue 3(50), pp. 132-143.

14. Musiiko V.D., Koval A.B. Provedennia tenzometrychnykh vyprobuvan mashyny PZM-3-01 [Conducting of PZM-3-01 mashine strain testing]. Kyiv, National Transport University, 2017. 61 p

15. Musiiko V., Koval A., Leichenko Yu. *Osnovy syntezu komponovalnoi skhemy universalnykh zemleryinykh bezperervnoi dii* [Fundamentals of synthesis of layout scheme of universal earthmoving machines of continuous action]. Systemy i srodki transportu samochodowego. Wubrane zagadnienie. Monografia Nr 4. Seria: Transport pod redakcja naukowa Kazemierza Lejdy. – Rzeszów (Polska) : Politechnika Rzeszowska, 2015. – S. 263–268.

16. Koval A.B. *Vuznachennia umov zabezpechennia kursovoi stiikosti universalnykh zemleryinykh mashyn*. Avtoreferat Diss. [Definition of the conditions assuring the course stability of the multipurpose earth-moving machine. Auror's abstract.]. Dnipropetrovsk, 2013. 21 p.

17. Maevskiy A.G., Musiyko V.D. *Eksperimentalnye issledovaniya rabochikh protsesov zemleroynykh mashyn s tselyu opredeleyiya ikh osnovnykh parametrov* [Experimental research of working processes perspective earthmoving machines to determine their basic parameters]. Kiev, Kiev Automobile and Highway Institute, 1983. 146 p.

18. Musiyko V.D., Koval A.B., Leychenko Yu.B., Maslov V.F., Varfolomeev Yu.M., Yurchikov B.V., Fedorkov V.I., Berezhnyuk V.I. *Opredelenie optimalnykh kinematicheskikh parametrov rabochego protsessa i komponovochnogo resheniya universalnoy rotornoy zemleroynoy mashyny* [Determination of optimal kinematic parameters of the working process and the layout decision of the multipurpose earth-moving machine]. Kiev, Kiev Automobile and Highway Institute, 1987. 196 p. (Rus)

19. Musiyko V.D., Koval A.B., Leychenko Yu.B., Maslov V.F., Varfolomeev Yu.M., Yurchikov B.V., Fedorkov V.I., Berezhnyuk V.I. *Opredelenie optimalnykh kinematicheskikh parametrov rabochego protsessa i komponovochnogo resheniya universalnoy rotornoy zemleroynoy mashyny* [Determination of optimal kinematic parameters of the working process and the layout decision of the multipurpose earth-moving machine]. Kiev, Kiev Automobile and Highway Institute, 1987. 196 p.

РЕФЕРАТ

Мусійко В.Д. Визначення силового навантаження опорної лижі роторного робочого органа універсальної землерийної машини / В.Д. Мусійко, А.Б. Коваль, В.В. Мороз, Ю.М. Варфоломєєв // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

В статті розглянуто фізичну суть взаємодії опорної лижі роторного робочого органа універсальної землерийної машини з поверхнею дна відкопаної виїмки в ґрунті та експериментальне визначення параметрів силового навантаження лижі як чинника, що обумовлює курсову стійкість машини в процесі копання ґрунту.

Об’єкт дослідження: процес силового навантаження опорної лижі роторного робочого органа універсальної землерийної машини.

Мета дослідження: визначення фізичної суті та величини параметрів силового навантаження опорної лижі роторного робочого органа землерийної машини.

Метод дослідження – експериментальний на фізичній моделі робочого органа.

Експериментальне визначення величини та характеру зміни в процесі копання ґрунту параметрів силового навантаження опорної лижі робочого органа машини в режимі віяльно-поступальної подачі за відсутності апробованих методик їх розрахунку слід вважати єдиним способом оцінки навантаження як окремих вузлів, так і машини в цілому. Це необхідно для оцінки балансу потужності машини, що працює в режимі копання ґрунту та для визначення курсової стійкості машини.

В процесі виконання досліджень встановлено, що величини складових сил навантаження опорної лижі (вертикального, бічного та повздовжнього), в основному обумовлюються формуванням та переміщенням призми волочіння ґрунту, що просипався на дно споруджуваної виїмки в процесі копання. В найбільшій мірі вказаний ефект проявляється поблизу стінок споруджуваної виїмки що обумовлює тарільчасту форму опорної поверхні лижі, яка забезпечує її «спливання» над призмою ґрунту, що просипався.

Встановлено залежність величини складових сил навантаження опорної лижі в залежності від кінематичних характеристик режимів переміщення робочого органа в процесі копання ґрунту. Виявлена закономірність дозволяє мінімізувати силове навантаження лижі шляхом регулювання тривалості довороту робочого органа в кінці кожного напівциклу, збільшуючи таким чином курсову стійкість машини в процесі спорудження широких виїмок (котлованів) в ґрунті.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ҐРУНТ, ДОВОРОТ, КОПАННЯ, КУРСОВА СТІЙКІСТЬ, ОПОРНА ЛИЖА, РЕЖИМИ РОБОТИ, РОБОЧИЙ ОРГАН, СИЛОВІ ПАРАМЕТРИ

ABSTRACT

Musiyko V.D., Koval A.B., Moroz V.V., Varfolomeev Yu.M. Determination of the power load for the skid of the multipurpose earthmoving machine’s rotary implement. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

This article is concerned with the physical substance of the interaction between the skid of the multipurpose earthmoving machines implement and the surface of the soil excavation and experimental determination of the power load parameters of the skid as a factor that ensures the cource stability of the machine during the excavation process.

Study object: process of the power loading of the skid in the rotary implement of the multipurpose earthmoving machine.

Objective: determination of the physical substance and values of the power load parameters for the skid in the rotary implement of the multipurpose earthmoving machine.

Method – the experiment on the physical model of the implement.

The experimental determination of the value and beavior of the power load on the skid of the machine’s implement during excavation in the mode of reciprocating approach in the absence of proven calculation methods should be concider the only way to evaluate the load on perticular assembly as well as on the machine as a whole. This is necessary for power balance evaluation for the machine that works in the soil excavation mode and for the determination of the course stability of the machine

During the study we have concluded that the values of the skid power load components (longitudal, transverse, vertical) are mainly determined by forming and movement of the soil traction prism that spills to the bottom of the excavation during digging. To the outmost this effect manifests near the walls of the excavation that causes the plated shape of the skid bearing surface which ensures it’s ‘emersion’ above the prism of the spilled soil.

We have determined the dependancy of the skid load forces from kinematic characteristics of the implements translation modes during excavation. The consistent pattern that we have detected allows to minimize the power load of the skid by tweaking the duration of the implements additional turn at the end of each half-cycle which leads to the increase of the course stability during creation of the of the wide excavations.

KEYWORDS: SOIL, ADDITIONAL TURN, DIGGING, COURSE STABILITY, SKID, WORKING MODES, IMPLEMENT, POWER PARAMETER

АВТОРИ:

Мусійко Володимир Данилович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри дорожніх машин, професор, e-mail: musvd@i.ua, тел: +380501040262, Україна, 01010 , м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, кв. 226а, orcid.org/0000-0001-9983-3296.

Коваль Андрій Борисович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожніх машин, e-mail: kandr@i.ua, тел. +380500240894, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226, orcid.org/0000-0003-1295-8200.

Мороз Валентин Валентинович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожніх машин, e-mail: frost2013@i.ua, тел. +380936794238, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226, orcid.org/0000-0003-3000-4961.

Варфоломєєв Юрій Михайлович, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожніх машин, e-mail; varfolomeev1947@gmail.com, тел. +380964755574, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226, orcid.org/0000-0001-5388-6624.

AUTHORS:

Musiiko Volodymyr Danilovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of Road Machines, Professor, e-mail: musvd@i.ua, tel: +380501040262, Ukraine, 01010, Kyiv, street. M. Omelianovicha-Pavlenka, 1, ap. 226a, orcid.org/0000-0001-9983-3296.

Koval Andrii Borysovych., Candidate of Science (Engineering), National Transport Unversity, associate professor department of road machines, e-mail: kandr@i.ua, tel. +38050240894, Ukraina, 01010, Kyiv, M. Omelianovicha-Pavlenka, 1, of. 226, orcid.org/0000-0003-1295-8200.

Moroz Valentyn Valentynovych, Candidate of Science (Engineering), National Transport Unversity, associate professor department of road machines, e-mail: frost2013@i.ua, tel. +380936794238, Ukraina, 01010, Kyiv, M. Omelianovicha-Pavlenka, 1, of. 226, orcid.org/0000-0003-3000-4961.

Varfolomeev Yurii Mykhailovych, National Transport Unversity, associate professor department of road machines, e-mail: varfolomeev1947@gmail.com, tel. +380964755574, Ukraina, 01010, Kyiv, M. Omelianovicha-Pavlenka, 1, of. 226, orcid.org/0000-0001-5388-6624.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Сахно В. П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

Іткін О. Ф., доктор технічних наук, генеральний директор ПрАТ «Промислово-виробничий інститут зварювально-ізоляційних технологій при будівництві трубопроводів «Нафтогазбудізоляція»«, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Sakhno V. P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of Department of Automobiles, Kyiv, Ukraine.

Itkin O. F., Doctor of Technical Sciences, General Director «Neftegazstroyizoliatsiya» Industrial Production Institute of welding-insulation technologies to a piping building, Kyiv, Ukraine.

УДК 621. 824.32–044.952 DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-307-313
UDC 621. 824.32–044.952

УМОВИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ПРИЧИНИ І ВИДИ ЗНОШУВАННЯ ВАЛІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ І ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ЗНОСОСТІЙКОСТІ І ТЕРМІНУ СЛУЖБИ

Посвятенко Е.К., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, pek1943@ukr.net, orcid.org/0000-0001-6606-1365
Головащук М.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, mihajlogolovasuk@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5329-2612

CONDITIONS OF OPERATION, CAUSES AND TYPES OF WEAR OF SHAFTS OF ENGINES OF INTERNAL COMBUSTION AND INCREASE OF THEIR WEARABILITY AND LIFE

Posviatenko E.K., Doctor of Technical Science, professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, pek1943@ukr.net, orcid.org/0000-0001-6606-1365
Golovashchuk M.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, mihajlogolovasuk@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5329-2612

Постановка проблеми.

Проблему енергозбереження найефективніше можна вирішити під час впровадження технологій поверхневого зміцнення. Зміцнюючі покриття та технології є найбільш пріоритетним напрямком розвитку у сучасному двигунобудуванні. Несправності та дефекти деталей двигунів впливають на його технічний стан. Як показав аналіз різних груп деталей двигунів, кількість і конструктивна значущість деталей типу «вал» є визначальними у забезпеченні їх працездатності. Зі всіх відновлюваних типорозмірів деталей – 60% становлять деталі типу «вал» (рис.1).

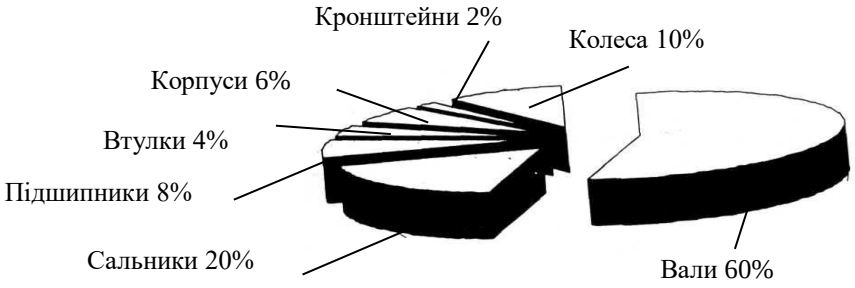


Рисунок 1 – Статистика виходу з ладу деталей двигунів
Figure 1 – Failure statistics of engine parts

До деталей типу «вал» двигунів відносяться як власне вали (колінчастий, розподільний), так і деталі, що мають конструктивні поверхні характерні для валів (осі, шкворні, втулки та ін.). Серед деталей двигунів найчастіше виходять з ладу і вимагають ремонту колінчасті та розподільні вали. Вони є відповідальними, дорогими та найбільш високонавантаженими деталями. Деталі типу ”вал”, зокрема колінчасті та розподільні вали, працюють в умовах тертя зі змащенням.

У процесі експлуатації знакозмінні навантаження, що діють на вал, викликають тертя та зношування його шийок; вигини та скручування внаслідок згинальних, крутильних та осьових його коливань, втомні руйнування у місцях переходу шийок у щоки та у місцях виходів оливних каналів. Зношування шийок валу в цілому визначає термін їх служби. Шийки валів у парі з підшипниками працюють в умовах динамічних знакозмінних навантажень. Поєднання шийка валу – підшипник працює в умовах гідродинамічного мастила. Стабільність режиму гідродинамічного тертя часто порушується і виникає напіврідке, а іноді напівсухе тертя. У таких умовах різко зростає швидкість зношування робочої поверхні валу та підшипника, що негативно впливає на ресурс двигунів. Зносу корінних шийок колінчастого валу сприяють сила інерції та відцентрова сила. Тиск газів та інерційна сила передають колінчастому валу поштовхи, скручують його та згинають, викликаючи пружні деформації. В результаті пружних деформацій у валі виникають внутрішні напруження.

При збігу періодів і напрямків тиску газів та інерційної сили, з одного боку, і внутрішніх пружних напруг – з іншого, амплітуда коливань валу зростає, що призводить до утворення в найбільш напружених місцях (галтелях та щоках) втомних тріщин, розвиток яких може спричинити несправність валу. Знос корінних шийок значною мірою залежить від неспіввісності корінних підшипників і шийок, неспіввісності колінчастого валу та валу муфти зчеплення, а також від незбалансованості колінчастого валу, маховика та муфти зчеплення. При збільшенні динамічних навантажень та кількості обертів колінчастих валів двигунів має місце таке негативне явище як фретин. Крім сил тертя, на знос шийок впливає конструкція валу та його жорсткість.

Внаслідок експлуатації колінчасті вали можуть мати такі дефекти: овальність; конусність; прогин; пошкодження шатунних та корінних шийок (задири, тріщини, вм'ятини, хвилястість, сліди корозії); пошкодження або зношування отворів під болти кріплення маховика; знос гнізда в торці колінчастого валу під шарикопідшипник валу муфти зчеплення; знос шпонкової канавки; знос оливозгінного різьблення; знос посадкових місць під шестерні та шків вентилятора. За статистикою пошкодження валів становлять: 75% – внаслідок викривлення їхньої осі; 70% – внаслідок дефектів колінчастих валів по щоках, 20% – але мотилеві шийки, 10% – по рамових підшипниках. В експлуатації частіше зустрічаються несправності, викликані циклічними згинальними напругами, що виникають через нерівномірне зношування сполучення шийка валу – підшипник.

Ресурс деталей двигунів обумовлений зносостійкістю деталей, що є важливою експлуатаційною характеристикою, що лімітує термін їхньої служби. Найбільш раціональним та економічно доцільним вирішенням проблеми, яка пов'язана з підвищенням зносостійкості деталей, є нанесення на їх робочі поверхні зносостійких покриттів. Виготовлення деталей двигунів зі зносостійкими покриттями обмежено, що є однією з причин недостатнього терміну служби. Тому розробка ефективних способів виготовлення деталей із покриттями підвищеної зносостійкості – одне з найважливіших завдань підвищення терміну служби автотракторних двигунів. У зв'язку з цим розробка комплексу науково обґрунтованих технологічних рішень щодо збільшення терміну служби валів автотракторних двигунів, зокрема щодо підвищення їх зносостійкості, є актуальним науковим завданням у галузі двигунобудування.

Розглянемо використовувані практично способи збільшення терміну служби валів. У ремонтному виробництві України, за нинішньої економічної ситуації, найчастіше відновлення деталей типу «вал» здійснюється двома способами: наданням їх поверхням нових, так званих ремонтних розмірів і повним відновленням початкових розмірів зношених місць деталей.

При першому способі, який отримав назву способу ремонтних розмірів, зі зношеної частини валу (наприклад, шийка) знімається шар металу з метою усунення відхилень від правильної геометричної форми. Отриманий після обробки новий розмір називається ремонтним. Спосіб ремонтних розмірів найбільш економічний через простоту (весь ремонт зводиться до механічної обробки). Однак цей метод ускладнює технологічний процес ремонту через різноманітність валів різних розмірів.

При другому способі вал спочатку піддається механічній обробці для надання їй правильної геометричної форми, потім нарощується її поверхня, після чого проводиться механічна обробка під номінальний розмір. Спосіб відновлення початкових розмірів дорожчий, але позбавлений недоліків, властивих способу ремонтних розмірів, тому вважається більш прогресивним.

Існують різні технологічні способи відновлення зношених, пошкоджених деталей: механічна та слюсарна обробка, зварювання та наплавлення, пластичне деформування, електролітичне нарощування, напилення, припікання, електрофізичні засоби обробки і т.п.

Сьогодні основним напрямком при відновленні деталей типу «вал» можна вважати нанесення покриттів на зношені поверхні валу. Нанесення покриттів – один з основних шляхів підвищення твердості та зносостійкості деталей типу «вал» та збільшення терміну їхньої служби. Зміцнюючі покриття та технології є найбільш пріоритетним напрямком розвитку у сучасному двигунобудуванні. Більшість деталей типу «вал» двигунів можна відновлювати різними методами наплавлення та напилення (табл. 1). Головний недолік методів наплавлення – «холодні» та «гарячі» тріщини в зоні термічного впливу (ЗТВ), які різко знижують ресурс відновлюваної деталі. Наплавлення вимагає фінішної механічної обробки посадочних місць для необхідного розміру і чистоти поверхні.

При призначенні способу відновлення та валу зміцнюючими зносостійкими покриттями враховують його матеріал, форму, розміри, види пошкоджень та враховувати такі положення:

– по-перше, розплавлення основи та покриття у процесі відновлення небажано, оскільки призводить до зміни хімічного складу та властивостей матеріалів покриття та деталі, і в результаті, визначає необхідність використання низки технологічних заходів;

– по-друге, перебіг процесів кристалізації наплавленого металу у вільних умовах без використання зовнішнього механічного фактора зумовлює утворення у покритті зварювальних дефектів;

– по-третє, тепловий режим нанесення покриттів на поверхні, що відновлюються, деталей різних розмірів і форм повинен забезпечувати сприятливий характер розподілу залишкових напруг. Зокрема, в покритті і в зоні з'єднання його з поверхнею, що відновлюється, бажано утворення стискаючих залишкових напруг, які підвищують опір втоми;

– і-четверте, тривалість процесу нанесення покриттів повинна бути мінімальною, щоб його структура не зазнавала небажаних змін [1-4].

Таблиця 1 – Способи відновлення деталей типу «вал»
Table 1 – Methods of restoring parts of the type «shaft»

Деталь	Спосіб відновлення
Колінчастий вал (шийки)	Автоматична наплавка під шаром флюсу Автоматичне наплавлення порошковим дротом Наплавлення у вуглекислому газі Широкошарова наплавка Вібродугове наплавлення Електроконтактне приварювання металевої стрічки Плазмове напилення Електродугове напилення Газополум'яне напилення Газополум'яне напилення шнуровими матеріалами
Розподільчий вал (шийки)	Вібродугове наплавлення Наплавлення у вуглекислому газі Автоматична наплавка під шаром флюсу Газополум'яне напилення Електродугове напилення

Електродугове напилення (ЕДН) застосовується для відновлення зношених посадочних місць чавунних, високовуглецевих та високолегованих сталевих деталей типу «вал». Перевага ЕДН перед наплавленням: тривалість наплавлення 1 год 10 хв, витрата дроту 1,3 кг, тривалість ЕДН – 24 хв, витрата дроту – 0,95 кг. ЕДН – один з найбільш економічних методів розпилення сталевих дротяних матеріалів і характеризується наступними перевагами: одержанням покриттів завдовжки від 0,1 до 10 мм; відсутністю значного термічного впливу на деталь; технологічною гнучкістю; низькою собівартістю відновлення (в 1,4-1,8 рази нижче за наплавлення). Обладнання, на якому виробляють напилення, є порівняно простим, легким та його можна досить швидко переміщати. Габарити деталей не лімітують застосування ЕДН. При реалізації ЕДН твердість покриттів становить 35-40 HRC, міцність зчеплення не перевищує 80 МПа, пористість становить 10-20% [1-4].

Таким чином, у роботі вирішувалося одне з актуальних завдань підвищення ресурсу найбільш відповідальних деталей двигунів – валів за рахунок створення на їх робочих поверхнях зносостійких покриттів методом ЕДН.

Мета проведених досліджень – створення способу формування зносостійких покриттів методом електродугового напилення (ЕДН) та встановлення впливу його технологічних режимів на властивості покриттів, для підвищення експлуатаційних властивостей (зносостійкості) та терміну служби валів двигунів. Загальна схема досліджень складалася з наступних етапів:

1) аналіз умов експлуатації деталей типу «вал» двигунів, встановлення їх основних дефектів та способів їх усунення. Вибір способу відновлення та його характеристика;

2) дослідження властивостей відновлених поверхонь валів з покриттями: пористості, адгезійної та когезійної міцності системи покриття-деталь, витривалості, мікротвердості та зносостійкості;

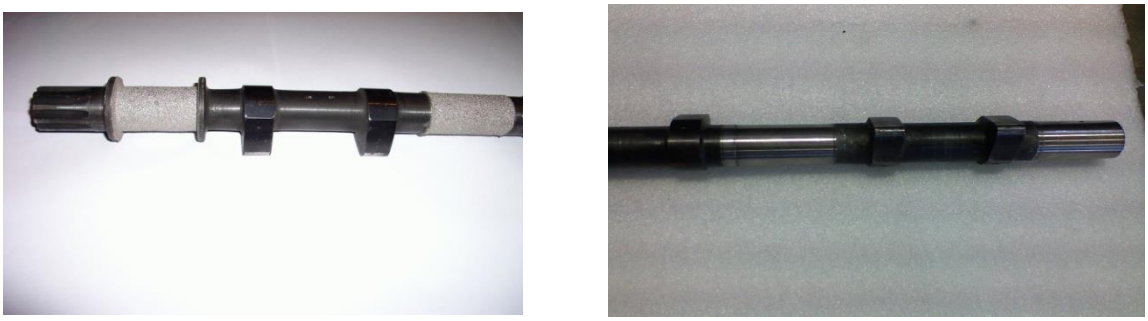
3) оптимізація режиму ЕДН покриттів та розробка технологічного процесу відновлення валу та практичних рекомендацій.

Технологічний процес (ТП) нанесення покриттів на зношені шийки розподільних валів двигунів складається з наступних операцій: миття, дефектації, механічної обробки (з метою зняття дефектного шару), дробоструминної обробки перед ЕДН (для підвищення шорсткості відновлюваної поверхні та міцності зчеплення дроту) 40Х13 (рис. 2), чистове механічне оброблення (шліфування) та контролю.



Рисунок 2 – Процес нанесення покриттів на розподільний вал методом ЕДН
Figure 2 – The process of coating the camshaft by EDN

Процес електродугового напилення покриттів на шийки розподільного валу представлений на рис. 2, а сам розподільний вал відновлений вал з покриттям і після механічної обробки представлений на рис. 3.



а б

Рисунок 3 – Розподільчий вал 14-04-20-1 двигуна Д-160.111-1 з покриттям і після обробки
Figure 3 – Camshaft 14-04-20-1 of the D-160.111-1 engine with a covering and after processing

Висновки.

У роботі вирішено актуальне науково-технічне завдання, пов'язане з підвищенням терміну служби системи «покриття-відновлювана поверхня» на прикладі валів ДВЗ методом ЕДН, що відображено у таких результатах:

– запропоновано на підставі аналізу літературних джерел та патентно-інформаційних досліджень підвищувати зносостійкість та термін служби валів ДВЗ шляхом відновлення їх робочих поверхонь способом ЕДН покриттів;

– вибрано обладнання та матеріали для експериментальних досліджень. Як досліджувані матеріали використовували дріт 40Х13;

– розроблено математичні моделі, що описують взаємозв'язок технологічних параметрів процесу нанесення покриттів з їх властивостями та визначено оптимальні параметри процесу, що забезпечують необхідні властивості покриттів. Встановлено, що міцність зчеплення покриттів становила 100...150 МПа, а пористість 51...10 %;

– прийнято рішення дослідити механічні властивості системи «відновлена поверхня-покриття» (когезійну та адгезійну міцність, деформативність, рівень напруги в покритті та зоні адгезійного контакту, вид руйнування системи) на одному зразку за одне випробування за допомогою експериментально-розрахункової методики;

– запропоновано визначати оптимальне співвідношення адгезійної та когезійної міцності – за допомогою критерію адгезійно-когезійної рівноміцності, який дозволить керувати якістю одержуваного покриття та з'єднання його з відновлюваною поверхнею, що полягають в отриманні необхідної структури в зоні їх з'єднання за допомогою контролю величини деформації процесу і т.д.;

– на підставі теоретичних та експериментальних досліджень розроблено технологію відновлення валів, яка полягає в ЕДН дроту 40Х13. Розроблено ТП відновлення валів, який складається з наступних операцій: миття, дефектація, механічна обробка (МО) з метою зняття дефектного шару, струминно-абразивна обробка (САО) перед ЕДН для підвищення шорсткості відновлюваної поверхні та міцності зчеплення покриття, ЕДН покриттів, чистове та контроль шийок валу з напиленим покриттям;

– проведені лабораторні та стендові випробування валів показали, що зносостійкість поверхонь, відновлених за допомогою технології ЕДН у 2,5-5 рази вище, ніж поверхонь, відновлених газополуменевим напиленням (ГПН) та у 1,5-1,7 рази – порівняно з новими валами. Термін служби відновлених валів збільшився у 2...2,5 рази порівняно з новими деталями та деталями, відновленими ГПН.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Канарчук В.Є., Посвятенко Е.К., Лопата Л.А. Інженерія поверхні деталей транспортних засобів: сучаний стан і перспективи // Вісник Національного транспортного університету. – 2000. – Вип. 4. – С.3–14

2. Інженерія поверхні: Підручник / Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Кузнецов В.Д., Корж В.М. – Київ: Наукова думка, 2007. – 559 с.

3. Influence a material and the technological factors on improvement of operation properties of machine parts by reliefs and film coatings / Posviatenko E., Posviatenko N, R. Budyak and et. // Fastern-european journal of enterprise technologies. – 2018. – № 5/12 (95). – С. 48 – 56.

4. Posviatenko Eduard, Posviatenko Natalija Cold plastic deformation as an effective method of engineering surface machine parts // Scientific letters of academic society of Michal Baludansky. – 2019. – № 1 (7). – P. 73–78

REFERENCES

1. Kanarchuk VE, Posvyatenko EK, Shovel LA Surface engineering of vehicle parts: current state and prospects // Bulletin of the National Transport University. – 2000. – Vip. 4. – P.3–14

2. Surface Engineering: Textbook / Yushchenko KA, Borisov YS, Kuznetsov VD, Korzh VM – Kyiv: Scientific Opinion, 2007. – 559 p.

3. Influence a material and the technological factors on improvement of operation properties of machine parts by reliefs and film coatings / Posviatenko E., Posviatenko N, R. Budyak and et. // Fastern-european journal of enterprise technologies. – 2018. – № 5/12 (95). – С. 48 – 56.

4. Posviatenko Eduard, Posviatenko Natalija Cold plastic deformation as an effective method of engineering surface machine parts // Scientific letters of academic society of Michal Baludansky. – 2019. – № 1 (7). – P. 73–78

РЕФЕРАТ

Посвятенко Е.К. Умови експлуатації, причини і види зношування валів двигунів внутрішнього згоряння і підвищення їх зносостійкості і терміну служби / Е.К. Посвятенко, М.В. Головащук // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

В статті розглядається напрям енергозбереження який можна вирішити під час впровадження технологій поверхневого зміцнення.

Мета роботи: створення способу формування зносостійких покриттів методом електродугового напилення (ЕДН) та встановлення впливу його технологічних режимів на властивості покриттів, для підвищення експлуатаційних властивостей (зносостійкості) та терміну служби валів двигунів.

Об'єкт дослідження – процес нанесення покриттів на деталі типу «вал» методом ЕДН.

Дослідження складалися з наступних етапів:

1) аналіз умов експлуатації деталей типу «вал» двигунів, встановлення їх основних дефектів та способів їх усунення. Вибір способу відновлення та його характеристика;

2) дослідження властивостей відновлених поверхонь валів з покриттями: пористості, адгезійної та когезійної міцності системи покриття-деталь, витривалості, мікротвердості та зносостійкості;

3) оптимізація режиму ЕДН покриттів та розробка технологічного процесу відновлення валу та практичних рекомендацій.

Розроблено математичні моделі, що описують взаємозв'язок технологічних параметрів процесу нанесення покриттів з їх властивостями та визначено оптимальні параметри процесу, що забезпечують необхідні властивості покриттів.

Встановлено, що міцність зчеплення покриттів становила 100...150 МПа, а пористість 51...10 %.

Прийнято рішення дослідити механічні властивості системи «відновлена поверхня-покриття» (когезійну та адгезійну міцність, деформативність, рівень напруги в покритті та зоні адгезійного контакту, вид руйнування системи) на одному зразку за одне випробування за допомогою експериментально-розрахункової методики;

Запропоновано визначати оптимальне співвідношення адгезійної та когезійної міцності – за допомогою критерію адгезійно-когезійної рівноміцності, який дозволить керувати якістю одержуваного покриття та з'єднання його з відновлюваною поверхнею, що полягають в отриманні необхідної структури в зоні їх з'єднання за допомогою контролю величини деформації процесу і т.д.

На підставі теоретичних та експериментальних досліджень розроблено технологію відновлення валів, яка полягає в ЕДН дроту 40Х13. Розроблено ТП відновлення валів, який складається з наступних операцій: миття, дефектація, механічна обробка (МО) з метою зняття дефектного шару, струминно-абразивна обробка (САО) перед ЕДН для підвищення шорсткості відновлюваної поверхні та міцності зчеплення покриття, ЕДН покриттів, чистове та контроль шийок валу з напиленим покриттям;

Проведені лабораторні та стендові випробування валів показали, що зносостійкість поверхонь, відновлених за допомогою технології ЕДН у 2,5-5 рази вище, ніж поверхонь, відновлених газополуменевим напиленням (ГПН) та у 1,5-1,7 рази – порівняно з новими валами. Термін служби відновлених валів збільшився у 2...2,5 рази порівняно з новими деталями та деталями, відновленими ГПН.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗОНА ТЕРМІЧНОГО ВПЛИВУ, ЕЛЕКТРОДУГОВЕ НАПИЛЕННЯ, ГАЗОПОЛУМИНЕВЕ НАПИЛЕННЯ, СТРУМИННО-АБРАЗИВНА ОБРОБКА, МЕХАНІЧНА ОБРОБКА .

ABSTRACT

Posvyatenko E.K., Golovashchuk M.B. Operating conditions, causes and types of wear of internal combustion engine shafts and increase their wear resistance and service life. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The article considers the direction of energy saving which can be solved during the introduction of surface hardening technologies.

Purpose: to create a method of forming wear-resistant coatings by electric arc spraying (EDN) and to establish the impact of its technological modes on the properties of coatings, to improve performance (wear resistance) and service life of motor shafts.

Object of research – the process of coating parts such as «shaft» by EDN.

The study consisted of the following stages:

1) analysis of the operating conditions of parts such as «shaft» of engines, the establishment of their main defects and ways to eliminate them. Choice of recovery method and its characteristics;

2) study of the properties of the restored surfaces of shafts with coatings: porosity, adhesive and cohesive strength of the coating system-detail, durability, microhardness and wear resistance;

3) optimization of the EDN mode of coatings and development of the technological process of shaft restoration and practical recommendations.

Mathematical models have been developed that describe the relationship of technological parameters of the coating process with their properties and the optimal process parameters that provide the necessary properties of coatings have been determined.

It was found that the adhesion strength of the coatings was 100 ... 150 MPa, and the porosity 51 ... 10%.

It was decided to investigate the mechanical properties of the system «restored surface-coating» (cohesive and adhesive strength, deformability, stress level in the coating and the zone of adhesive contact, the type of destruction of the system) on one sample per test using experimental methods;

It is proposed to determine the optimal ratio of adhesive and cohesive strength – using the criterion of adhesive-cohesive strength, which will control the quality of the coating and its connection with the renewable surface, consisting in obtaining the desired structure in the area of their connection by controlling the deformation. etc.

On the basis of theoretical and experimental researches the technology of restoration of shafts which consists in EDN of a wire 40X13 is developed. Developed TP shaft restoration, which consists of the following operations: washing, defecting, machining (MO) to remove the defective layer, jet-abrasive treatment (CAO) before EDN to increase the roughness of the recoverable surface and the strength of the coating, EDN coatings, clean and control of necks of a shaft with a sprayed covering;

Laboratory and bench tests of shafts showed that the wear resistance of surfaces restored using EDN technology is 2.5-5 times higher than surfaces restored by gas-flame spraying (GPN) and 1.5-1.7 times – compared to new shafts . The service life of restored shafts has increased by 2 ... 2.5 times compared to new parts and parts restored by GPN.

KEY WORDS: ZONE OF THERMAL INFLUENCE, ELECTRIC ARC SPRAYING, GAS-FLAME SPRAYING, JET-ABRASIVE TREATMENT, MECHANICAL.

АВТОРИ:

Посвятенко Едуард Карпович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: pek1943@ukr.net, тел. +380442808203, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 101а, orcid.org/0000-0001-6606-1365

Головащук Михайло Володимирович, асистент, Національний транспортний університет, асистент кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: mihajlogolovasuk@gmail.com тел. +380442808203, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 101а, orcid.org/0000-0002-5329-2612

AUTHOR:

Posviatenko Eduard K., Doctor of Technical Science, professor, National Transport University, professor, department of production, repair and materials science, e-mail: pek1943@ukr.net, +380442808203, Ukraine, Kyiv, st. Omelianovicha-Pavlenko, 1, r. 101a, orcid.org/0000-0001-6606-1365

Golovashchuk Mykhailo Volodymyrovych, Assistant, National Transport University, Postgraduate Student, Department of Production, Repair and Materials Science, e-mail: mihajlogolovasuk@gmail.com tel. +380442808203, Ukraine, 01010, Kyiv, street Omelyanovich-Pavlenko, 1, room 101a, orcid.org/0000-0002-5329-2612

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Ковбасенко С.В., кандидат технічних наук, доцент, професор, Національний транспортний університет, директор Центру заочного та дистанційного навчання, Київ, Україна.

Клименко С.А., доктор технічних наук, професор, Член-кореспондент НАН України, Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля, Київ, Україна.

REVIEWER:

Kovbasenko SV, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, National Transport University, Director of the Center for Distance and Distance Learning, Kyiv, Ukraine.

Klymenko SA, Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Superhard Materials. V.M. Bakulya, Kyiv, Ukraine.

УДК 621.919.2 DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-314-322
UDC 621.919.2

ПОЛІПШЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ХОЛОДНИМИ ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

Посвятенко Н.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, natali1963@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2217-4170

Рибак І.П., Національний транспортний університет, Київ, Україна, ilya.003@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2071-5754

IMPROVEMENT THE OPERATING PROPERTIES OF THE MACHINE PARTS BY THE COLD PLASTIC DEFORMATION

Posviatenko N.I., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, natali1963@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2217-4170

Rybak I.P., National Transport University, Kyiv, Ukraine, ilya.003@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2071-5754

Постановка проблеми.

Матеріали та технології виготовлення виробів визначають у кінцевому результаті надійність і експлуатаційні властивості машин, причому рівень цих властивостей на 80% залежить від стану поверхні і поверхневого шару, а на 20% – від основи деталі [1 – 4]. Наші попередні дослідження показали, що серед багатьох методів інженерії деталей машин важливу роль відіграють методи модифікування матеріалу холодним пластичним деформуванням (ХПД) [3 – 5]. Перевагою цих методів, що включають процеси поверхневого та об'ємного деформування, а також обробку різанням лезовим та абразивним інструментом і різні комбінації цих процесів, слід у цілому вважати відсутність термічної дії на матеріал. Тобто «холодні» технологічні методи не супроводжуються виникненням короблення, сітки мікротріщин, окислення, поля потужних залишкових напружень тощо. Для реалізації методів ХПД не потрібні низькотемпературне відпускання і заключні процеси чорнової або напівчистової механічної обробки [3].

Важливу роль у поліпшенні показників надійності та експлуатаційних властивостей деталей машин відіграють спеціально створені регулярні рельєфи поверхонь останніх [6 – 8]. Для реалізації ХПД у цьому випадку використовується серійне обладнання: верстати, преси, волочильні стани тощо. На відміну від інших способів модифікування, цей процес може бути формоутворювальним, тобто заготовка отримує нові потрібні розміри, які поєднуються з регулярними рельєфами поверхневого шару деталі.

Проблемі функцій рельєфів та технологій отримання останніх присвячено ряд робіт Шнейдера Ю.Г., Киричка П.О., Нахайчука О.В. та ін. науковців [7 – 9]. Проте ці дослідження слід вважати фрагментарними, оскільки вони стосуються, головним чином, поділу припуску перед обробкою різанням [7], або виготовлення трубчастих деталей з нанесенням рельєфу на поверхню отвору [8, 10]. Експлуатаційні властивості деталей машин частково розглянуті у роботах [8, 9], однак, ці праці не є системними стосовно проблеми рельєфів.

Виходячи із сказаного, нами визначена мета та завдання даного етапу дослідження, які полягають у наступному.

Мета і завдання дослідження – розробити методику експериментальних досліджень регулярних рельєфів, включаючи обладнання, інструмент і матеріал дослідних зразків; створити класифікацію регулярних рельєфів за призначенням; визначити механіку заглиблення лінійного індентора у металевий зразок; провести серію експериментів заглиблення лінійних інденторів з різними кутами та радіусом округлення при вершині; розробити технологічні рекомендації та дослідний інструмент.

Методика експериментальних досліджень.

Нормальна сила P, тобто сила, що діяла на лінійний індентор у напрямку формування канавки рельєфу, створювалась на гідравлічних пресах: лабораторному (P_{max} = 0,02МН; рис.1) і випробувально-дослідницькому (P_{max} = 0,2МН; рис. 2).

Лінійні індентори, що слугували для отримання одиничних канавок рельєфів, були виготовлені із швидкорізальної сталі Р18 (63 *HRC*; $\sigma_{зг}$ = 320 кг/мм^2; ударна в'язкість 3,5 Дж/м^2;

теплостійкість 550 °С). Робоча поверхня інденторів шліфувалась і полірувалась до шорсткості $Ra \leq 0{,}02$. Подвійний кут при вершині становив: $\alpha = 60°; 70°; 80°; 90°$, радіус при вершині був рівним $\rho = 0{,}005; 0{,}02; 0{,}1; 0{,}5$ мм. Глибина канавок h мікро- і макрорельєфу знаходилась в межах 0,02 – 5 мм.



Рисунок 1 – Лабораторний прес Hydraulic shop press
Figure 1 – Laboratory Hydraulic shop press



Рисунок 2 – Гідравлічний прес ПММ–200
Figure 2 – Hydraulic press PMM–200

Досліджувані зразки, на котрі наносились канавки рельєфу, виготовлялись із матеріалів, механічні властивості котрих подано у табл. 1.

Таблиця 1 – Марка та механічні властивості матеріалів
Table 1 – Brand and mechanical properties of materials

Матеріал	Стан	Властивості				
		НВ/HV10 кг/мм^2/МПа	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	δ, %	ψ, %
Сталь 38ХН3МА, крупногабаритні відповідальні деталі	гартування + середнє відпускання	260/2700	790	620	11	33
Сталь 12Х18Н10Т, корозійностійка аустенітна	гартування, 1050 °С	170/1950	510	200	40	55
Бронза ливарна олов'яниста ОЦС 5–5–5	лиття у кокіль	60/700	160	100	6	10
Латунь деформівна Л62, деталі, отримувані холодним пресуванням	відпал	56/600	330	110	49	–
Дуралюмін Д16 (2117), за ДСТУ 11069–01	природно зістарений плакований	27/300	520	380	11	15
Титановий сплав ВТ6 (6% Al; 4% V); деталі високої питомої міцності	лиття у кокіль у захисній атмосфері + відпал	270/2900	900	770	10	30
Чавун сірий феритно-перлітний СЧ20; блоки і гільзи ДВЗ; станини верстатів	виплавка шихти у вагранках та електропечах	230/2500	200	–	–	–
Чавун сірий феритний ковкий КЧ 33–8; фланці; картери редукторів; важелі	графітизуючий відпал білих доевтектичних чавунів	160/1750	320	–	8	–

Що стосується алюмінієвого сплаву Д16(2117), то канавки регулярного рельєфу наносились і досліджувались також у зоні термічного впливу (ЗТВ) і зоні, власне зварювального шва. Попередньо пластини із цього сплаву зварювались автоматичним дуговим зварюванням у середовищі аргону за методом М.М.Бенардоса. Присадкою служив дріт із сплаву Д16 без захисного покриття.

У всіх експериментах використовувалась мастильно-охолоджувальна рідина (МОР) на основі ріпакової олії з протиадгезійними присадками.

Для приготування металографічних шліфів служила установка Beta Grinder–Polisher фірми Buehler. Перед утворенням рельєфів досліджувані матеріали шліфувались і полірувались за допомогою алмазних паст із синтетичними алмазами марок АСМ 5/3 і АСМ 3/1. Для вивчення мікроструктури використовувались стандартні травники, що рекомендуються окремо для кожного із матеріалів. Для дослідження мікроструктури застосовувались оптичні мікроскопи МИМ–7 і GX53. Корисні збільшення цих мікроскопів варіювалось у межах х200 – х1000.

Зміна властивостей експериментальних зразків у зонах контакту з лінійним індентором, у основі канавки порівняно з властивостями матеріалу за межами дії пружно-пластичної деформації вивчалась за методами мікротвердості. Для цього використовувались мікротвердоміри ПМТ–3 і DuraScan–20.

Профіль канавки рельєфу (глибина, дійсний кут після індентування, область основи і напливи) досліджувались у залежності від глибини наступними методами. Для мікрорєльєфів використовувався стандартний профілограф-профілометр «Калібр-ВЭИ». Макропрофілі безконтактним методом вивчались за допомогою подвійного мікроскопу. Використовувався також нутромір індикаторний, у якому голка була замінена на лезо.

Дослідження шорсткості поверхні проводилось також за допомогою приладу «MicronAlpho» конструкції Національного авіаційного університету. Деякі технічні характеристики приладу: роздільна здатність по горизонталі – 0,15мкм; вимір по вертикалі – до 50 мкм.

Результати дослідження.

На даному етапі досліджень у експериментах користувались аналогіями з методами заглиблення ділильного елемента при дискретному протягуванні і редукуванні на фасонній прямолінійній оправці. Ці методи є статичними, тому аналогії є виправданими.

Досліди показали, що при подвійному куті при вершині лінійного індентора $\alpha = 60°$ і радіусі при вершині $\rho = 5$ мкм між силою заглиблення P у зразок із сталі 38ХН3МА і глибиною канавки h спостерігається залежність $h/P = 0{,}075$, а при силі $P = 0{,}02$ МН формується канавка глибиною $h = 2$ мм.

На рис. 3 дано загальний вигляд такої канавки.

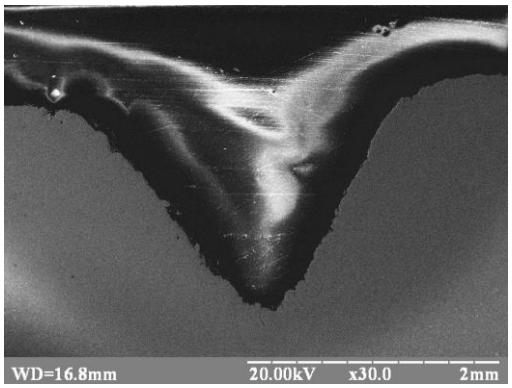


Рисунок 3 – Мікрофотографія канавки, отриманої заглибленням трикутного лінійного індентору

Figure 3 – Microphotograph of a groove obtained by immersion of a triangular linear indenter

У процесі досліджень розроблено також класифікацію регулярних мікро- та макрорельєфів за призначенням (функціями). При цьому розглядались лише рельєфи, що створювались методами ХПД та обробкою різанням. Класифікація подана на рис. 4.

Що стосується попереднього поділу осколочних корпусів боєприпасів, то більш детально це описано у нашій праці [11]. Проте відзначимо, що отримання канавок для поділу корпусів боєприпасів має переваги над відомими методами поділу, які полягають у високому ступені вичерпання пластичності металу біля основи канавки. Це забезпечує поділ порожнистої деталі при значно менший затраті енергії ініціювання вибухової речовини.

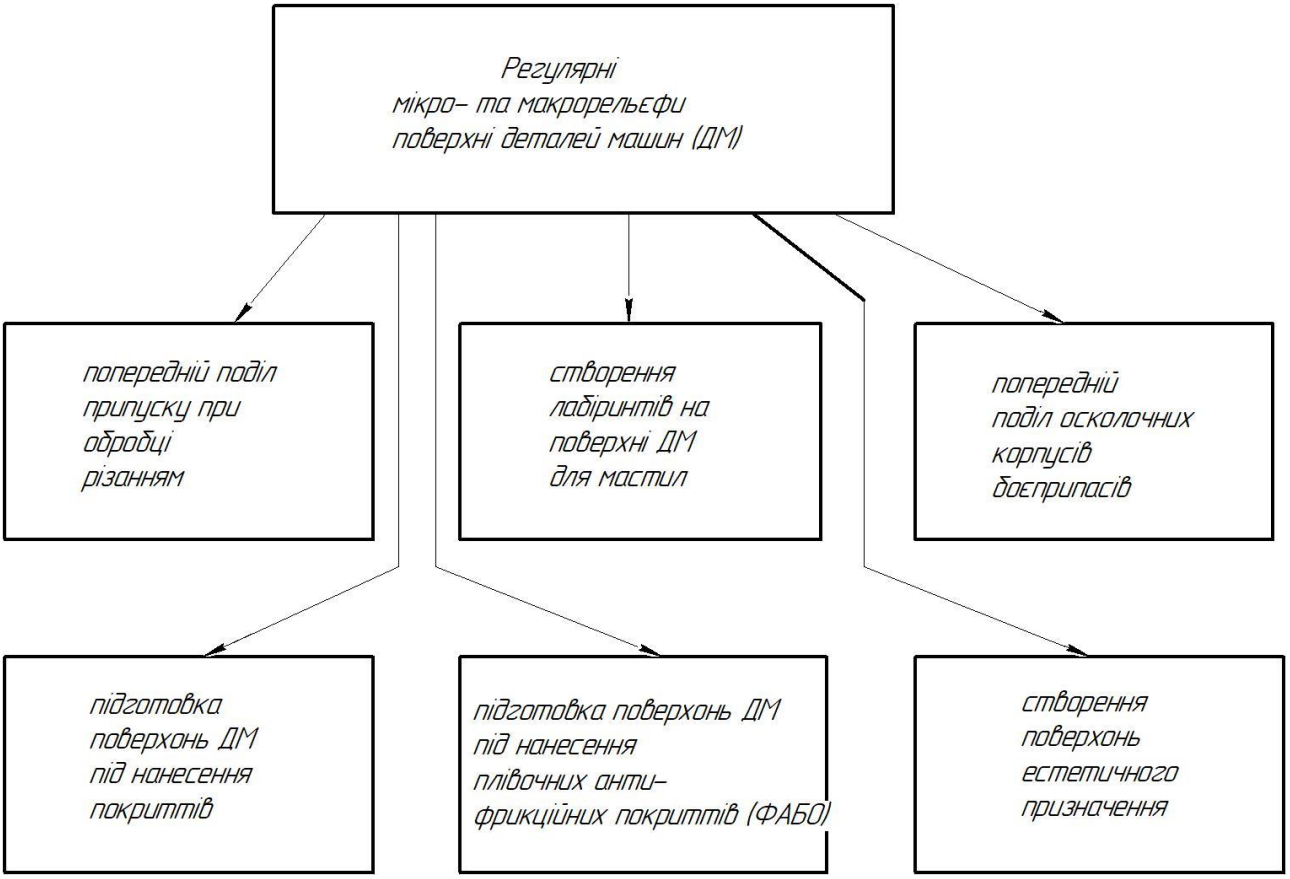


Рисунок 4 – Класифікація регулярних рельєфів за призначенням
Figure 4 – Classification of regular reliefs by destination

На рис. 5 показана схема дії сили P заглиблення лінійного індентора у металевий зразок. При розробці цієї схеми за основу була прийнята схема проф. Давиденкова Н.Н. (Некоторые проблемы механики материалов. Ленинград, 1943). На рис.5: h – глибина заглиблення; α – кут при вершині індентора; ρ – радіус округлення вершини індентора; h_1 – висота виступів матеріалу після заглиблення індентора; A – площа цих виступів; B – площа поперечного перерізу утвореної канавки.

Проекція елементарної нормальної сили dN на напрямок дії зовнішньої сили P дорівнюватиме:

$$dN = \sigma_N \sin\frac{\alpha}{2} dF, \tag{1}$$

де σ_N – контактне напруження; dF – площа елементарної площадки.

Проекція дотичного напруження $d\tau$:

$$d\tau = \eta\sigma_N \cos\frac{\alpha}{2} dF, \tag{2}$$

де η – коефіцієнт тертя (за законом Амонтона–Кулона).

Таким чином:

$$P = \int_0^F \left(\sigma_N \sin\frac{\alpha}{2} + \eta\sigma_N \cos\frac{\alpha}{2} \right) dF, \tag{3}$$

або після інтегрування:

$$P = \pi h^2 \sigma_N tg\frac{\alpha}{2}\left(tg\frac{\alpha}{2} + \eta\right), \tag{4}$$

чи:

$$h = \sqrt{\frac{P}{\pi\sigma_N tg\frac{\alpha}{2}\left(tg\frac{\alpha}{2} + \eta\right)}}. \tag{5}$$

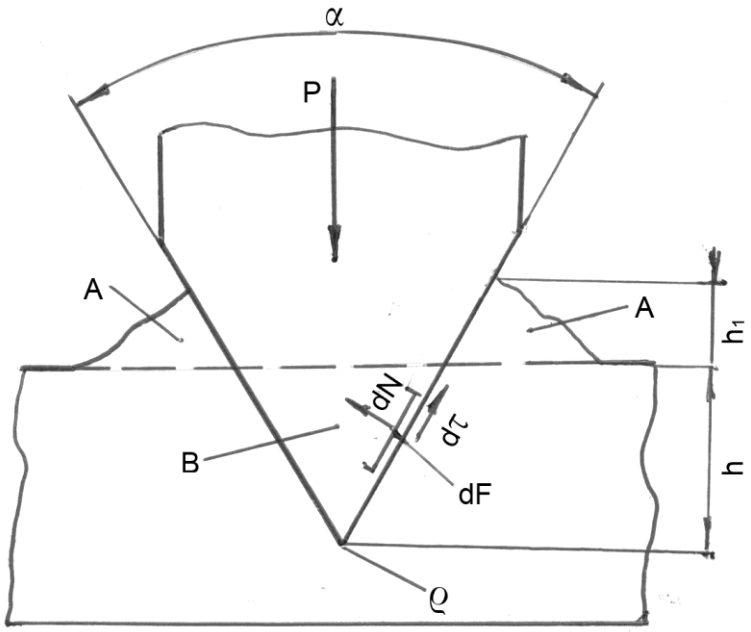


Рисунок 5 – Схема дії сили заглиблення на елементарну площадку твірної індентора
Figure 5 – Scheme of action of the deepening force on the elementary site of the generating indenter

Для визначення глибини h канавки за залежністю (5) слід знати значення середнього коефіцієнта тертя η та контактного напруження σ_N. Приймаємо середнє значення для заглиблення лінійного індентора у всі матеріали $\eta \approx 0{,}3$. Контактне напруження σ_N можна визначити із залежності (4), знаючи силу P і глибину канавки h.

Що стосується виступів A металу, які утворюються при заглибленні лінійного індентора, то з великою точністю їх площа буде рівнятись поперечній площі канавки, тобто

$$A \approx \frac{B}{2}. \tag{6}$$

На рис. 6 подано приклади наших експериментів по отриманню канавок при заглибленні лінійного індентора, причому на позиції (*а*) – досліджуваний зразок – сталь 38ХН3МА; $h = 3$ мм; $\rho = 0{,}02$ мм;$\alpha = 70°$; на позиції (*б*) – досліджуваний зразок – бронза ОЦС 5–5–5; $h = 1$ мм; $\rho = 0{,}5$ мм; $\alpha = 90°$.



а) *б*)

Рисунок 6 – Поперечний переріз канавок, які отримано у зразках зі сталі 38ХН3МА (*а*) і бронзи ОЦС 5–5–5 (*б*) при заглибленні лінійного індентора
Figure 6 – Cross-section of the grooves obtained in the samples of steel 38 ХН3МА (a) and bronze ОЦС 5-5-5 (b) when deepening the linear indenter

На рис. 7 показано зразок розробленого нами на основі теоретичних та експериментальних досліджень інструменту (вставки – індентори сталь Р18; α = 90°; діаметр вершини інденторів – 60 мм) та фрагмент досліджуваного зразка із дуралюміну Д16 після індентування цим інструментом.



Рисунок 7 – Дослідний інструмент (зліва) та фрагмент зразка після індентування (дуралюмін Д16, справа)
Figure 7 – Test tool (left) and fragment of the sample after indentation (duralumin D16, right)

Обговорення результатів дослідження.

У процесі досліджень уперше розроблено класифікацію регулярних рельєфів за призначенням, причому розглядались тільки рельєфи, які створювались лише методами ХПД та обробкою різанням. Створена класифікація розширює інформацію про експлуатаційні та технологічні властивості рельєфів і дозволяє знайти нове використання останніх та упорядкувати їх застосування. Регулярні мікро- та макрорельєфи слід використовувати: як технологічні (для попереднього поділу припуску при обробці різанням), для створення лабіринтів на поверхні деталей під мастила, для підготовки поверхні під нанесення покриттів, для попереднього поділу осколочних корпусів боєприпасів, а також як естетичні.

Розроблена схема дії сили заглиблення дозволяє знайти глибину канавки при заданих куті трикутного лінійного індентора та радіусі округлення його вершини. Коефіцієнт тертя прийнято для усіх випадків заглиблення приблизно рівним 0,3, виходячи з умови, що тертя відбувається за законом Амонтона–Кулона. Контактне напруження визначається при відомих силі заглиблення індентора і глибині канавки. Сумарна площа виступів, що утворюються при заглибленні у поперечному перерізі приблизно дорівнює площі отриманої канавки.

Проведені експерименти на дослідних зразках усіх груп матеріалів підтвердили результати, що отримані теоретично.

На основі результатів дослідження розроблено та випробувано зразок інструменту, який оснащено 19-ма лінійними інденторами. Випробування на трубчастих деталях із дуралюміну Д16 (2117) показали перспективність використання отриманих результатів у виробництві та навчальному процесі спеціальностей «Прикладна механіка» і «Матеріалознавство».

Висновки.

У результаті проведеного дослідження встановлено наступне.

На основі аналізу науково-технічної літератури з проблем формування мікро- та макрорельєфів поверхні деталей машин визначено холодне пластичне деформування лінійним індентором як основний метод отримання канавок трикутної форми глибиною до 3 мм з радіусом округлення у основі 0,005 – 0,5 мм. Розроблено методику досліджень, що передбачає використання двох гідропресів, інструменту із швидкорізальної сталі з кутом при вершині 60° – 90° і зразків із характерних сталей, чавуну, бронзи, латуні, алюмінієвого та титанового сплавів. У дослідженнях застосували оптичні та електронні мікроскопи, твердоміри та мікротвердоміри, профілографи і профілометри традиційних та сучасних марок.

Розроблена класифікація рельєфів за призначенням: технологічні (для попереднього поділу припуску перед зрізанням та підготовки поверхні під нанесення покриттів); експлуатаційні (для створення лабіринтів під мастильно-охолоджувальні матеріали); поділу осколочних корпусів на фрагменти при ініціюванні вибухових речовин; декоративні.

Розроблена механіка заглиблення лінійного індентора у металевий зразок, що об'єднує значення сили заглиблення з геометричними параметрами індентора, коефіцієнта тертя, контактним напруженням та глибиною канавки.

Експерименти на 8-ми типових представниках конструкційних матеріалів підтвердили теоретичні положення механіки заглиблення.

На основі отриманих наукових результатів дослідження розроблено та випробувано зразок інструменту на трубчастій деталі з дуралюміну Д16 (2117).

Процес поліпшення експлуатаційних властивостей деталей машин за рахунок нанесення рельєфів рекомендується здійснювати у такий послідовності основних операцій: підготовка поверхні під індентування; заглиблення лінійного індентора; видалення виступів металу різанням. Для отворів порожнистих деталей останнім може бути різальне протягування.

Передбачаються подальші експериментальні дослідження у даному науково-технічному напрямку та підтвердження їх практичного застосування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 2860:1994. Надійність техніки. Терміни та визначення. Київ, Держстандарт України, 1995. 26 с.

2. ISO 14577–3:2015. Metallic materials. Instrumented indentation test for hardness and materials parameters. Part 3: Calibration of reference blocks. Geneva, ISO Publ, 2015. 8p.

3. Континуальная и дискретно-континуальная модификация поверхностей деталей: монография / Н.А. Ткачук, С.С. Дьяченко, Э.К. Посвятенко и др. Харьков, «Планета-Принт», 2018. 259 с.

4. Influence of material and the technological factors on improvement of operating properties of machine parts by reliefs and film coatings / E. Posviatenko, N. Posviatenko, R. Budyak and other. Eastern-European journal of enterprise technologies, 2018, № 5/12 (95). P. 48 – 56.

5. Інженерія деталей, оброблених протягуванням: монографія / Посвятенко Е.К., Немировський Я.Б., Шейкін С.Є. та інш. Кропивницький, 2021. 466 с.

6. ГОСТ 24773-81. Поверхности с регулярным микрорельэфом: классификация, параметры и характеристики. Москва, Государственный комитет СССР по стандартам. 1981. 13 с.

7. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом: Монография / Ю.Г. Шнейдер. Л.: Машиностроение, 1982. 248 с.

8. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням: посібник / І.С. Афтаназів, А.П. Гавриш, П.О. Киричок та ін. Житомир: Житомирський інженерно-технологічний ін-т, 2001. 516 с.

9. Нахайчук О.В. Исследование механики внедрения плоского штампа в жесткопластический материал с использованием метода конечных элементов / О.В. Нахайчук // Физика и техника высоких давлений. 2004. Т.14. № 1. С. 71–78.

10. Посвятенко Е.К. Формування регулярного макрорельєфу поверхонь отворів деталей комбінованим протягуванням / Е.К. Посвятенко, Ю.Б. Паладійчук // Вісник Національного технічного ун-ту України «Київський політехн. ун-т». К: Машинобудування, 1999. Вип.37. С. 256–261.

11. Інноваційні технології композиційного зміцнення поверхні елементів виробів для оборонної та енергетичної галузей / А.П. Марченко, М.А. Ткачук, О.В. Соболь, Е.К. Посвятенко та ін. // Механіка та машинобудування: наук.-техн. журнал. Х.: НТУ «ХПІ», 2017. № 1. С. 234–245.

12. Посвятенко Е.К., Посвятенко Н.І., Рибак І.П. Підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин рельєфами поверхні // Вісник Національного транспортного ун-ту: Серія технічні науки. К.: НТУ, 2021. Вип. 1 (48). С.270–282.

REFERENCES

1. *Nadiynist' tekhniky. Terminy ta vyznachennya* [*Reliability of technology. Terms and definitions*]. (1995) DSTU 2860:1994. Kiev: Derzhstandard Ukraine. 26 c. [in Ukrainian].

2. *Metallic materials. Instrumented indentation test for hardness and materials parameters. Part 3: Calibration of reference blocks*. (2015) ISO 14577–3:2015. Geneva, ISO. 8p.

3. Tkachuk N.A., Diachenko S.S., Posviatenko E.K. (2018) *Kontinual'naya i diskretno-kontinual'naya modifikatsiya poverkhnostey detaley [Continual and discrete-continual modification of surfaces of parts: monograph]*. Kharkov: «Planeta–Print». 259p. [in Russian].

4. *Influence of material and the technological factors on improvement of operating properties of machine parts by reliefs and film coatings* / E. Posviatenko, N. Posviatenko, R. Budyak and other. Eastern-European journal of enterprise technologies, 2018, № 5/12 (95). P. 48 – 56.

5. Posviatenko E.K., Nemyrovskyi Ya.B., Sheykin S.Ye. and et. (2021) *Inzheneriya detaley, obroblenykh protyahuvannyam: monohrafiya* [*Engineering of details processed by drawing: monograph*]. Kropyvnytskyi. 466 p. [in Ukrainian].

6. *Poverkhnosti s regulyarnym mikrorel'efom: klassifikatsiya, parametry i kharakteristiki* [*Surfaces with a regular microrelief: classification, parameters and characteristics*]. (1981) GOST 24773-81. Moscow: USSR State Committee for Standards. 13 p. [in Russian].

7. Shneider, Yu. G., (1982) *Ekspluatatsionnyye svoystva detaley s regulyarnym mikrorel'yefom*. [*Operational properties of parts with regular microrelief*]. Leningrad: Mashinostroenie. 248 p. [in Russian]. [in Russian].

8. Aftanaziv, i.S., Gavrish, A.P., Kyrychok, P.O. (2001) *Pidvyshchennya nadiynosti detaley mashyn poverkhnevym plastychnym deformuvannyam. [Improving the reliability of machine parts by surface plastic deformation*]. Zhytomyr: Zhytomyrs'kyi inzhenerno-tehnologichnii institut. 516 p. [in Ukrainian].

9. Nahaichuk, O.V. (2004) *Issledovaniye mekhaniki vnedreniya ploskogo shtampa v zhestkoplasticheskiy material s ispol'zovaniyem metoda konechnykh elementov [The study of the mechanics of embedding a flat die in a rigid plastic material using the finite element method]*. Fizika i tekhnika vysokikh davleniy – Physics and technique of high pressures. Vol. 14/1. P.71 – 78. [in Russian].

10. Posviatenko, E.K., Paladiichuk, Yu. B., (1999) *Formuvannya rehulyarnoho makrorel'yefu poverkhon' otvoriv detaley kombinovanym protyahuvannyam [Formation of a regular macro-relief of the surfaces holes of the parts by combined stretching]*. Visnyk Natsional′noho tekhnichnoho universitetu Ukraiini»Kyyivs′kyy politekhnichnii institut» – Bulletin of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic University». Issue 37. P. 256–261. [in Ukrainian].

11. Marchenko, A.P., Tkachuk, M.A., Sobol, O.V., Posviatenko, E.K. (2017). *Innovatsiyni tekhnolohiyi kompozytsiynoho zmitsnennya poverkhni elementiv vyrobiv dlya oboronnoyi ta enerhetychnoyi haluzey* [*Innovative technologies of composite hardening of the surface of elements of products for the defense and energy industries*]. Mekhanika ta mashinobuduvannia – Mechanics and machine building. Kharkiv: NTU»KhPI». 1, PP. 234–245. [in Ukrainian].

12. Posviatenko, E.K., Posviatenko, N.I., Rybak, I.P. (2021) Pidvyshchennya ekspluatatsiynykh vlastyvostey detaley mashyn rel′yefamy poverkhni [*Increasing the operating properties of the machine parts by the surface reliefs*]. Visnyk Natsional′noho transportnoho universytetu: Seriya tekhnichni nauky. – Visnyk National Transport University:Technical sciences. Scientific and Technical Collection. Kyiv: NTU. Issue 1 (48). P. 270–282. [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Посвятенко Н.І. Поліпшення експлуатаційних властивостей деталей машин холодним пластичним деформуванням / Н.І. Посвятенко, І.П. Рибак // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

В статті розглядається напрям поліпшення експлуатаційних властивостей деталей машин холодним пластичним деформуванням.

Мета роботи: розробити методику експериментальних досліджень регулярних рельєфів, включаючи обладнання, інструмент і матеріал дослідних зразків; створити класифікацію регулярних рельєфів за призначенням; визначити механіку заглиблення лінійного індентора у металевий зразок; розробити технологічні рекомендації та дослідний інструмент.

Об'єкт дослідження – регулярні рельєфи на поверхні деталей машин.

Вибрано методику і пристрої для проведення експериментів: гідрофіковані преси, лінійні індентори, оптичні мікроскопи, мікротвердоміри, досліджувані матеріали, прилади та вимірювальний інструмент. Матеріалами служили легована та нержавіюча сталі, сірий та ковкий чавуни, бронза і латунь, алюмінієвий та титановий сплави.

Розроблено класифікацію рельєфів за призначенням, що здійснюється холодним пластичним деформуванням і різанням.

Розроблена механіка заглиблення лінійного індентора у металевий зразок, що об'єднує значення сили заглиблення з геометричними параметрами індентора, коефіцієнта тертя, контактним напруженням та глибиною канавки.

Експерименти на 8-ми типових представниках конструкційних матеріалів підтвердили теоретичні положення механіки заглиблення.

На основі отриманих наукових результатів дослідження розроблено та випробувано зразок інструменту на трубчастій деталі з дуралюміну Д16 (2117).

Запропоновано такий процес поліпшення експлуатаційних властивостей деталей машин: підготовка поверхні під індентування; заглиблення індентора; видалення виступів металу різанням.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РЕГУЛЯРНИЙ РЕЛЬЄФ, ХОЛОДНЕ ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМУВАННЯ, ЛІНІЙНИЙ ІНДЕНТОР, ПОВЕРХНЯ ДЕТАЛІ, МЕХАНІКА ЗАГЛИБЛЕННЯ.

ABSTRACT

Posviatenko N.I., Rybak I.P. Improvement the operating properties of the machine parts by the cold plastic deformation Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The article discusses the direction of improving the operational properties of machine parts by the cold plastic deformation.

Purpose – to develop methods of experimental research of regular reliefs, including equipment, tools and material of prototypes; to create a classification of regular reliefs by purpose; to determine the mechanics of deepening of the linear indenter in the metal sample; to develop technological recommendations and research tools.

The object of research – regular reliefs on the surface of machine parts.

Methods and devices for conducting experiments were selected: hydrogenated presses, linear indentors, optical microscopes, microhardness testers, research materials, instruments and measuring instruments. The materials were alloy and stainless steel, gray and malleable cast iron, bronze and brass, aluminum and titanium alloys.

The classification of reliefs by purpose, obtained by cold plastic deformation and cutting, has been developed.

The mechanics of deepening of a linear indenter into a metal sample has been developed, which combines the values of the depth of indentation with the geometrical parameters of the indenter, friction coefficient, contact stress and groove depth.

Experiments on 8 typical representatives of structural materials confirmed the theoretical principles of the mechanics of deepening.

Scientific results allowed to develop and test a sample of the tool on a tubular part made of duralumin D16 (2117).

The following process of improvement of operational properties of details of cars is offered: preparation of a surface under indentation; indenter deepening; removal of metal protrusions by cutting.

KEYWORDS: REGULAR RELIEF, COLD PLASTIC DEFORMATION, LINEAR INDUCTOR, SURFACE OF PARTS, MECHANICS OF DEEPING.

АВТОРИ:

Посвятенко Наталія Іванівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожніх машин, e-mail: natali1963@ukr.net, тел. 044-280-97-73, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226, orcid.org/0000-0002-2217-4170

Рибак Ілля Петрович, аспірант, Національний транспортний університет, аспірант кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: ilya.003@ukr.net, тел. +380442808203, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 101а, orcid.org/0000-0002-2071-5754.

AUTHOR:

Posviatenko Natalia.I., Ph.D., associate professor, National Transport University, associate professor department road vehicles, e-mail: natali1963@ukr.net, tel. 044-280-97-73, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovicha-Pavlenko str. 1, of.226, orcid.org/0000-0002-2217-4170

Rybak Ilya P., post-degree student, National Transport University, post-degree student, department of production, repair and materials science, e-mail: ilya.003@ukr.net, tel. +380442808203, Ukraine, 01010, Kyiv, st. Omelianovicha-Pavlenko, 1, r. 101a, orcid.org/0000-0002-2071-5754

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Клименко С.А., член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, професор, заступник директора з наукової роботи Інституту надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України НАН України, Київ, Україна.

Матейчик В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри екології та безпеки життєдіяльності, Київ, Україна.

REVIEWER:

Klimenko S.A., vice-academician National Academy of Sciences of Ukraine, Ph.D. Engineering (Dr.), professor, Deputy Director for Scientific Work of Institute Superhard Materials named V.N. Bakul NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

Mateichik V.P., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, professor, department of Environment and Safety, Kyiv, Ukraine.

УДК 656.073 : 519.852.35 DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-323-331
UDC 656.073 : 519.852.35

ЛОГІСТИЧНИЙ ПІДХІД К ОРГАНІЗАЦІЇ НЕЗБАЛАНСОВАНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ

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

Хоботня Т.Г., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, evol_tanya@ukr.net, orcid.org/0000-0001-7094-6297

Гілевська К.Ю., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, katerinagui@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0076-0942

Денис О.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, denysolena@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5786-9119

LOGISTIC APPROACH TO THE ORGANIZATION OF UNBALANCED FREIGHT TRANSPORTATION ON TRANSPORT NETWORKS

Prokudin H.S., Doctor of Technical Sciences, 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

Khobotnia T.H., Phd, National Transport University, Kyiv, Ukraine, evol_tanya@ukr.net, orcid.org/0000-0001-7094-6297

Hilevska K.Y., PhD, National Transport University, Kyiv, Ukraine, katerinagui@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0076-0942

Denis O.V., Phd, National Transport University, Kyiv, Ukraine, denysolena@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5786-9119

Постановка проблеми. В процесі вантажних перевезень часто виникає ситуація, коли обсяги поставок вантажу від його постачальників перевищують можливості складських приміщень його споживачів. В цьому випадку ми стикаємося з необхідністю використання проміжних пунктів для тимчасового зберігання надлишків вантажу і як слідство багатоетапною транспортною задачею. Також часто матриця транспортних кореспонденцій між постачальниками, споживачами і проміжними пунктами не задається в явному вигляді, а просто вводиться картосхема їх розміщення, тобто транспортне завдання задається за допомогою транспортної мережі. Наведемо опис логістичного підходу, який за допомогою використання транспортних технологій вирішує задачу оптимальної організації незбалансованих перевезень вантажу на транспортних мережах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Внаслідок соціально-економічних змін, які відбуваються в Україні, та під впливом явищ глобалізації зазнають змін логістичні ланцюги постачання товарів та сировини на підприємствах. Вони стають довшими і складнішими за структурою. Під впливом інформаційних технологій, які супроводжують матеріальні та фінансові потоки, посилюється інтеграція окремих ланок ланцюгів постачання, які є самостійними господарськими одиницями. Також розширюється географія руху матеріальних потоків, що проявляється, зокрема, у збільшенні вантажообігу, як у міжміському [1] так і у міжнародному [2] сполученні на автомобільному транспорті.

Для зазначеного класу транспортних задач розроблені досить досконалі методи їх розв’язання (Дейкстра Э.В., Канторович Л.В., Кожин А.П., Бідняк М.Н., Воркут А.І., Кунда Н.Т., Прокудін Г.С. та ін.) [3-5]. Але досить вагомим недоліком матричних методів оптимізації рішення ТЗ є те, що вони спроможні дати оптимальний план перевезень лише на транспортної мережі (ТМ) з орієнтованими графами.

Ефективне функціонування вантажних митних комплексів (ВМК) та терміналів забезпечує оптимізацію роботи рухомого складу транспортних підприємств, що займаються вантажними перевезеннями. Технологія доставки вантажу із застосуванням ВМК у якості проміжних тимчасових пунктів його збереження при регулярних перевезеннях дозволить збільшити кількість автопоїздів автотранспортних підприємств (АТП) на маршрутах та підвищити ефективність їх використання [6].

В міжнародних перевезеннях вантажів за маршрутом Україна-ЄС та ЄС-Україна пунктом перевантаження може виступати ВМК, який знаходиться на українській стороні кордону [2]. Західні області України, які межують з країнами-членами ЄС, за умови ефективного транскордонного співробітництва, дозволяють використовувати вигідний геополітичний потенціал держави. Довгострокові проекти щодо використання ВМК вздовж західного кордону – один із варіантів раціоналізації вантажних перевезень, тому раціональна організація роботи і співпраці АТП із термінальними і складськими комплексами є дуже важливою і актуальною.

Виклад основного матеріалу. Наведемо опис логістичного підходу, який вирішує задачу поетапного транспортування вантажів (багатоетапна транспортна задача – БТЗ) в її мережевому уявленні. При цьому розглядаються два варіанти, коли сумарні складські приміщення споживачів вантажу і проміжних пунктів більше або рівні (перший), або менше (другий) обсягів вантажу, який пропонується для перевезення постачальниками вантажу.

Припустимо ми маємо m пунктів постачання (ПП) однорідного вантажу $A_1, A_2, \ldots A_m$, які мають його, відповідно, в обсягах $a_1, a_2, \ldots a_m$ і n пунктів його споживання (ПС) $B_1, B_2, \ldots B_n$, які мають заявки на нього в обсягах, відповідно, $b_1, b_2, \ldots b_n$ (рис. 1). Причому загальні обсяги поставок цього вантажу перевищують загальні обсяги заявок на нього, а саме:

$$\sum_{i=1}^{m} a_i > \sum_{j=1}^{n} b_j . \qquad (1)$$

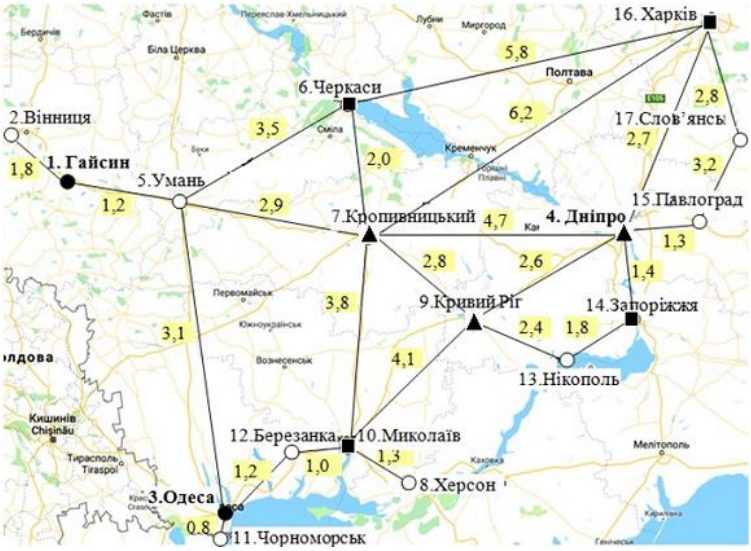


Рисунок 1 – Дорожньо-транспортна мережа
Figure 1 – Road transport network

Припустимо також, що є l проміжних складських пунктів (СП) $C_1, C_2, \ldots C_l$ для тимчасового зберігання надлишків вантажу, які можуть вміщати його в обсягах, відповідно, $c_1, c_2, \ldots c_l$, при цьому можуть виникнути два різних варіанта співвідношень $\sum_{i=1}^{m} a_i, \sum_{j=1}^{n} b_j$ і $\sum_{k=1}^{l} c_k$ при обов'язковому виконанні умови (1):

1-й варіант:
$$\sum_{j=1}^{n} b_j + \sum_{k=1}^{l} c_k = \sum_{i=1}^{m} a_i , \qquad (2)$$

2-й варіант:
$$\sum_{j=1}^{n} b_j + \sum_{k=1}^{l} c_k > \sum_{i=1}^{m} a_i , \qquad (3)$$

3-й варіант:
$$\sum_{j=1}^{n} b_j + \sum_{k=1}^{l} c_k < \sum_{i=1}^{m} a_i . \qquad (4)$$

Розглянемо найбільш цікавий з практичної точки зору 3-й варіант доставки вантажу (4) на конкретному прикладі, у якому схема розташування пунктів поставки та отримання вантажу представлена у вигляді дорожньо-транспортної мережі (ДТМ). На ДТМ вказуються: основні вантажоутворюючі і вантажопоглинаючі пункти; середній час руху між ними (рис. 1), а саме: ПП вантажу відмічені чорними кружками (Гайсин – A_1, Одеса – A_2), ПС вантажу – чорними квадратами (Черкаси – B_1, Харків – B_2, Запоріжжя – B_3, Миколаїв – B_4) та СП – чорними трикутниками (Кропивницький – C_1, Дніпро – C_2, Кривий Ріг – C_3).

На ДТМ кількість ПП вантажу m = 2 (A_1, A_2), в яких a_1 = 10 одиниць вантажу (*о.в.*), a_2 = 10 *о.в.*; кількість ПС вантажу n = 4 (B_1, B_2, B_3, B_4), в яких b_1 = 2 *о.в.*, b_2 = 2 *о.в.*; b_3 = 2 *о.в.*, b_4 = 2 *о.в.*; кількість проміжних СП l = 3 (C_1, C_2, C_3), причому їх місткість буде складати: c_1 = 1 *о.в.*, c_2 = 1 *о.в.*, c_3 = 1 *о.в.* Також на ДТМ присутні 8 проміжних транзитних пунктів. Спрощена схема ДТМ представлена на рис. 2.

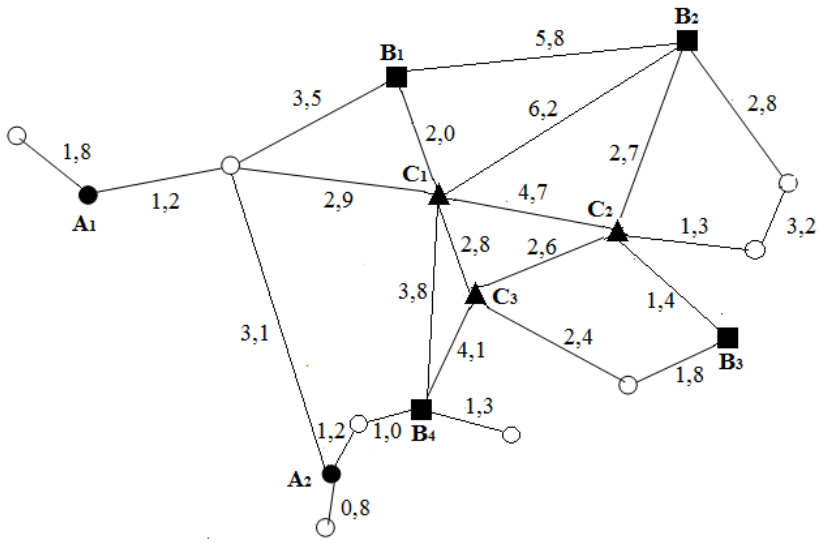


Рисунок 2 – Спрощена схема ДТМ
Figure 2 – Simplified DTM scheme

Для того, щоб представити цю інформацію у вигляді, зручному для її подальшої обробки, необхідно звести мережеве представлення схеми доставки вантажів до табличного виду [7]. Спочатку складається масив відстаней між сусідніми пунктами ДТМ, причому цей етап припускає ручне складання масиву. Потім автоматично (за допомогою відповідної програми) по масиву відстаней будується матриця транспортних кореспонденцій між всіма пунктами ДТМ.

Метод найкоротших маршрутів [8], використовуючи дані матриці транспортних кореспонденцій, знаходить значення найкоротших відстаней на ДТМ від кожного ПП вантажу до кожного його і складського пункту (табл. 1), від кожного складського пункту до кожного ПС вантажу (табл. 2). Також будуються відповідні цим відстаням маршрути [7], які можуть містити проміжні пункти на шляхах транспортування вантажу (для прикладу наведені маршрути від ПП Гайсин до його чотирьох ПС:

Гайсин → Умань → Черкаси = **4.7**;
Гайсин → Умань → Кропивницький → Харків = **10.3**;
Гайсин → Умань → Кропивницький → Дніпро → Запоріжжя = **10.2;**
Гайсин → Умань → Одеса → Березанка → Миколаїв = **6.5**.

З метою розв'язання проблеми планування і подальшого здійснення масових вантажних перевезень на ДТМ був спроектований програмно-інструментальний комплекс (ПІК) за допомогою алгоритмічної мови програмування *Delphi* та макросів *Visual Basic for Application* для сумісної роботи з табличним процесором *Excel* [9]. Процес функціонування ПК включає 4 кроки, які представлені на рис. 3-6. На рис. 3 представлено діалогове вікно завдання структури перевезень, тобто кількості ПП, ПС та СП.

Таблиця 1 – Відстані від ПП до ПС і СП
Table1 – Distances from PP to PS and SP

Пункти ПП\ПС	Черкаси	Харків	Запоріжжя	Миколаїв	Пункти ПП\СП	Кропивницький	Дніпро	Кривий Ріг
Гайсин	**4.7**	**10.3**	**10.2**	**6.5**	Гайсин	4.1	8.8	6.9
Одеса	6.6	11.6	10.3	2.2	Одеса	6	8.9	6.3

Таблиця 2 – Відстані від СП до ПС
Table 2 – Distances from SP to PS

Пункти ПП\СП	Черкаси	Харків	Запоріжжя	Миколаїв
Кропивницький	2	6.2	6.1	3.8
Дніпро	6.7	2.7	1.4	6.7
Кривий Ріг	4.8	5.3	4	4.1

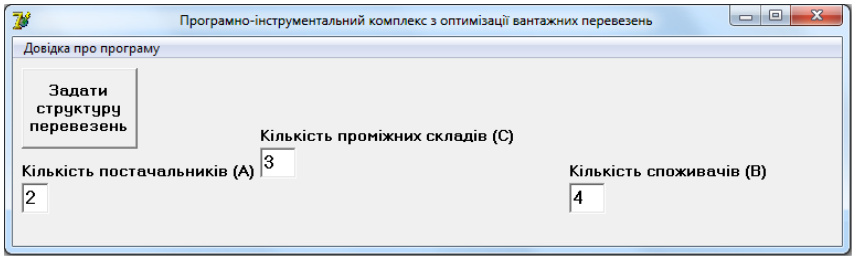


Рисунок 3 – Діалогове вікно 1-го кроку роботи ПІК
Figure 3 – Dialog box of the 1st step of PIC operation

На рис. 4 представлено діалогове вікно введення обсягів перевезення вантажу.

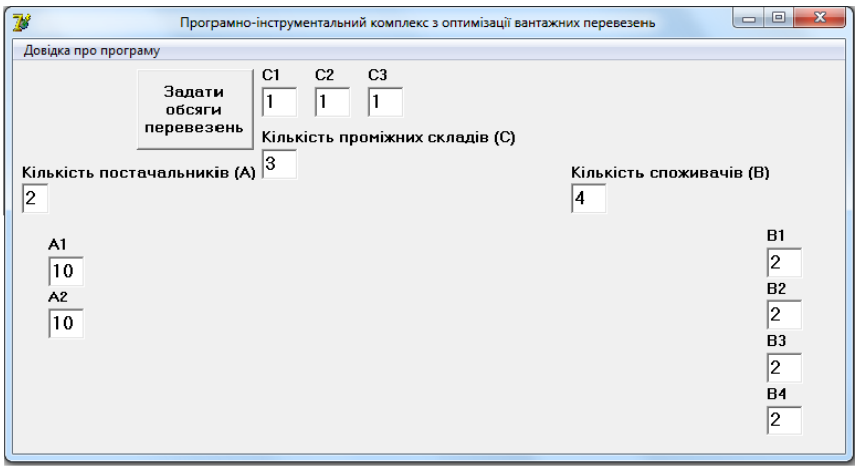


Рисунок 4 – Діалогове вікно 2-го кроку роботи ПІК
Figure 4 – Dialog box of the 2st step of PIC operation

На рис. 5 представлено діалогове вікно введення матриці транспортних комунікацій ТМ, тобто найкоротших відстаней між ПП і ПС, ПП і СП, СП і ПС (див. табл. 1-2).

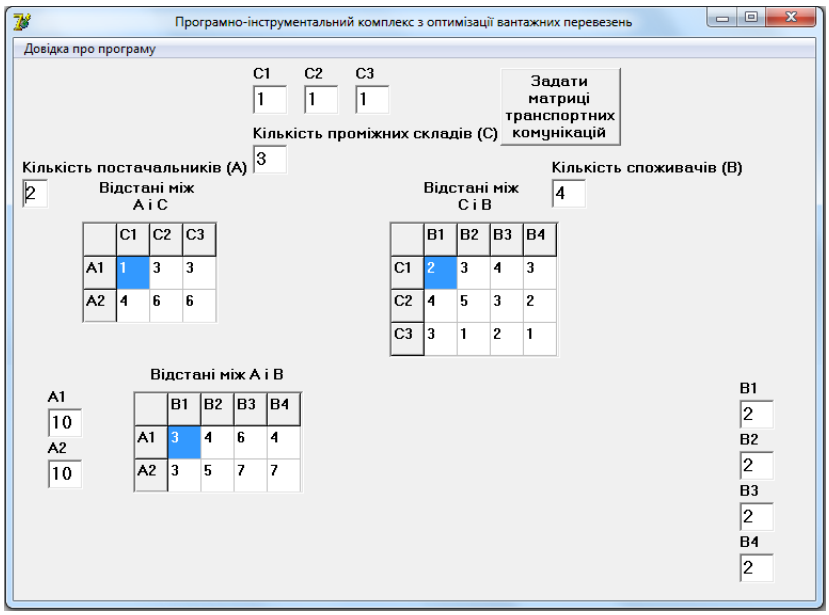


Рисунок 5 – Діалогове вікно 3-го кроку роботи ПІК
Figure 5 – Dialog box of the 3st step of PIC operation

Рис. 6 містить діалогове вікно 4-го кроку роботи ПК, на якому схематично представлені результати його виконання, а саме: обсяги перевезення вантажу між ПП A_1, A_2 і ПС B_1, B_2, B_3, B_4 на *першому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 54.9 *у.г.о.*); обсяги перевезення вантажу між ПП A_1, A_2 і СП C_1, C_2, C_3 також на *першому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 19.3 *у.г.о.*); обсяги перевезення вантажу між СП C_1, C_2, C_3 і ПС B_1, B_4 на *другому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 7.4 *у.г.о.*); обсяги перевезення вантажу між ПП A_1, A_2 і ПС B_1, B_2, B_3, B_4 на *третьому етапі* доставки вантажу (вартість його реалізації складає 55 *у.г.о.*); сумарна вартість (поточна) здійснення усіх трьох етапів доставки вантажу складає 136.6 *у.г.о.*

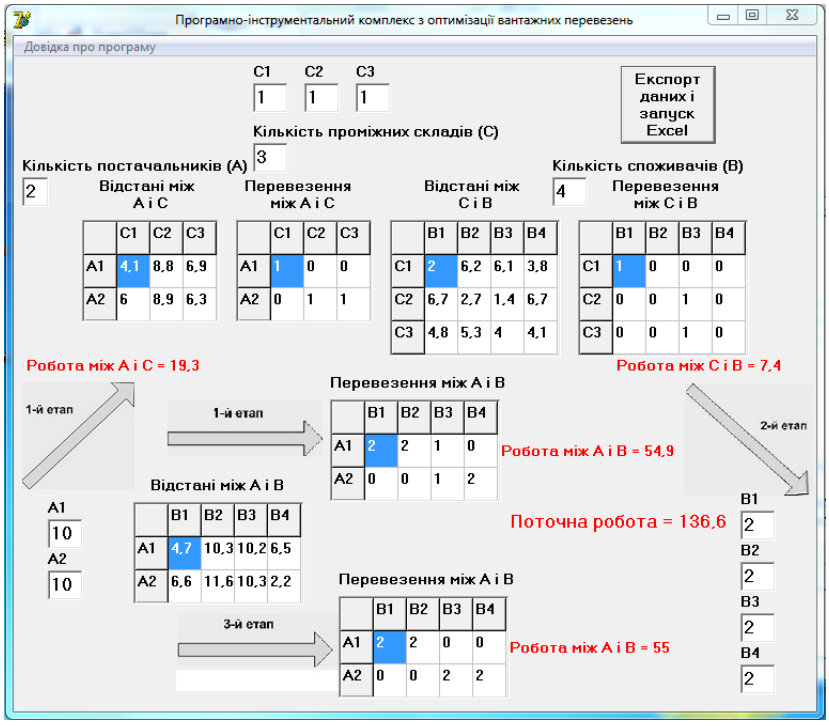
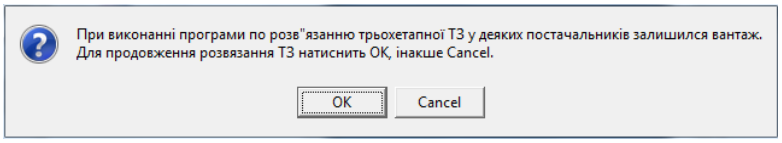


Рисунок 6 – Діалогове вікно 4-го кроку роботи ПІК
Figure 6 – Dialog box of the 4st step of PIC operation

У той же час на екран виводиться інформаційне повідомлення, яке інформує користувача про продовження розрахунків:



Після натискання клавіши ОК розв'язання БТЗ продовжується і у результаті на рис. 7 представлено діалогове вікно по доставці вантажу по суті на *четвертому етапі*. На цьому рисунку (див. рис. 7) схематично представлені результати виконання цього останнього кроку роботи ПК, а саме: обсяги перевезення вантажу між ПП A_2 і ПС B_1 вартістю у 2.2 *у.г.о.* і сумарна вартість (остаточна) здійснення усіх чотирьох етапів доставки вантажу, яка складає 138.8 *у.г.о.*

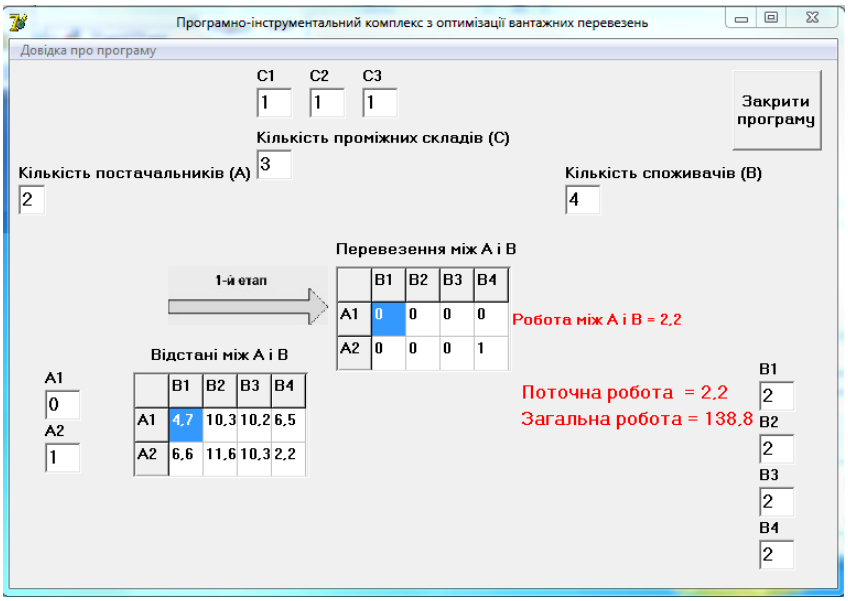


Рисунок 7 – Діалогове вікно 4-го етапу розв'язання БТЗ
Figure 7 – Dialog box for the 4th stage of BTC solution

Висновки. Запропонований логістичний підхід к організації незбалансованих вантажних перевезень на транспортних мережах був реалізований у вигляді програмно-інструментального комплексу, який об'єднує етап зведення мережевого представлення схеми доставки вантажів до табличного вигляду і етап планування і подальшого здійснення масових вантажних перевезень на ДТМ. Він показав свою ефективність при оптимізації вантажних перевезень на автопідприємствах асоціації міжнародних автомобільних перевізників України.

Цей підхід до оптимізації масових вантажних перевезень на ДТМ, який базується на використанні сучасних засобів інформаційних технологій, демонструє один з напрямів цього рішення, але має наступні обмеження:

1. На 2-ому, 3-ому і подальших етапах зроблено припущення про готовність всіх його одержувачів до розміщення цього вантажу в обсягах, відповідних їх первинним замовленням.

2. Для успішного застосування запропонованого підходу необхідно попередньо перетворити мережеву модель представлення перевезень вантажу до табличного вигляду.

3. ПІК може буде застосований для ДТМ малої та середньої розмірності у зв'язку з обмеженістю програмного середовища його реалізації – табличного процесора *Excel*.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мосьпан Н.В. Формування стратегій автотранспортних підприємств по обслуговуванню разових замовлень на перевезення вантажів у міжміському сполученні : автореф. дис. … канд. техн. наук : спец. 05.22.01 – транспортні системи, ХНАДУ. – Харків, 2018. – 212 с.

2. Прокудін Г.С., Ремех І.О., Майданик К.О. Ефективність застосування системи тягових плечей при перевезенні вантажів у міжнародному сполученні. Systemy i srodki transportu samochodowego. Monografia nr 10. [monographia] pod redakcja naukowa K. Lejdy Politechnika Rzeszowska. Rzeszow. 2017. №10. С.79–86.

3. Кунда Н.Т. Дослідження операцій у транспортних системах. Навчальний посібник для студентів напряму «Транспортні технології» вищих навчальних закладів. – К.: Видавничий дім «Слово», 2008. – 400 с.

4. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки. Київ : Вища школа, 1986. 447 с.

5. Прокудін Г.С. Моделі і методи оптимізації перевезень у транспортних системах. Київ : НТУ, 2006. 224 с.

6. Державна служба статистики України. Статистична інформація. Транспорт. Обсяги перевезених вантажів за видами транспорту: http://www.ukrstat.gov.ua/.

7. Прокудін Г.С., Чупайленко О.А., Дудник О.С., Пилипенко Ю.В. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на науковий твір № 92194 «Метод перетворення мережевих моделей процесу вантажних перевезень у матричні моделі». Київ: Мінекономрозвитку України, 20.09.2019. 5 с.

8. Prokudin G., Chupaylenko O., Dudnik A., Dudnik O, Omarov D. Improvement of the Methods for Determining Optimal Characteristics of Transportation Networks / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. N. 6/3 (84). P. 54-61. (ISSN 1729-3774, DOI:10.15587/1729-4061.2016.85211).

9. Prokudin G., Chupaylenko O., Dudnik O., Dudnik A., Prokudin O., Svatko V. Application of Information Technologies for the Optimization of Itinerary when Delivering Cargo by Automobile Transport / Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. N. 2/3 (92). P. 51-59. (ISSN 1729-3774, DOI:10.15587/ 1729-4061.2016.85211).

REFERENCES

1. Mospan, N.V. (2018). *Formuvannia strategii avtotransportnykh pidpryiemstv po obslugovuvanniu razovykh zamovlen na perevezennia vantazhiv u mizhmiskomu spoluchenni. [Formation of strategies of motor transport enterprises on service of one-time orders for transportation of cargoes in long-distance communication]. – KhNADU. Kharkiv. – 212 p. [in Ukrainian].*

2. Prokudin, G.S., Remekh, I.O., Maidanyk, K.O. (2017). *Efektyvnist zastosuvannia systemy tiagovykh plechei pri perevezennia vantazhiv u mizhnarodnomu spoluchenni. [The effectiveness of the traction arm system in the transportation of goods in international traffic]. – Politechnika Rzeszowska. Rzeszow. № 10. – P.79-86. [in Ukrainian].*

3. Kunda, N.T. (2008). *Doslidzhennia operatsii u transportnykh systemakh [Operations research in transport systems]. – Vydavnychyi dim «Slovo». Kyiv. – 400 p. [in Ukrainian].*

4. Vorkut, A.I. (1986). *Gruzovye avtomobilnye perevozki. [Freight road transport]. – Higher School. Kyiv. – 447 p. [in Russian].*

5. Prokudin, G.S. (2006). *Modeli i metody optymizatsii perevezen u transportnykh systemakh. [Models and methods of traffic optimization in transport systems]. – NTU. Kyiv. – 224 p. [in Ukrainian].*

6. Obsiahy perevezenykh vantagiv za vydamy transportu. [Volumes of transported cargoes by types of transport]. – State Statistics Service of Ukraine. Statistical information. Transport. http://www.ukrstat.gov.ua/. *[in Ukrainian].*

7. Prokudin, G.S., Chupaylenko, O.A., Dudnik, O.S., Pilipenko, Yu.V. (2019). *Svidotstvo pro reiestratsiiu avtorskogo prava na naukovyi tvir № 92194 «Metod peretvorennia merezhevykh modelei protsesu vantazhnykh perevezen u matrychni modeli». [Certificate of copyright registration for a scientific work № 92194 "Method of converting network models of the freight process into matrix models"]. – Minekonomrozvytku of Ukraine Kyiv. – 5 p. [in Ukrainian].*

8. Prokudin, G., Chupaylenko, O., Dudnik, A., , O, Omarov, D. (2016). *Udoskonalennia metodiv vyznachennia optymalnykh kharasterystyk transportnykh merezh. [Improvement of the Methods for Determining Optimal Characteristics of Transportation Networks]. Skhidnoievropeiskyi zhurnal peredovykh tekhnologii – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. № 6/3 (84). – P. 54-61. [in English].*

9. Prokudin, G., Chupaylenko, O., Dudnik, O., Dudnik, A., Prokudin, O., Svatko, V. (2018). *Zastosuvannia informatsiinykh tekhnologii dlia optymizatsii marshrutu dostavky vantazhiv avtomobilnym transportom. [Application of Information Technologies for the Optimization of Itinerary when Delivering Cargo by Automobile Transport]. Skhidnoievropeiskyi zhurnal peredovykh tekhnologii – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. № 2/3 (92). – P. 51-59. [in English].*

РЕФЕРАТ

Прокудін Г.С. Логістичний підхід к організації незбалансованих вантажних перевезень на транспортних мережах / Г.С. Прокудін, О.А. Чупайленко, Т.Г. Хоботня, К.Ю. Гілевська, О.В. Денис //

Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

У даній статті наведено опис логістичного підходу, який за допомогою використання транспортних технологій вирішує задачу оптимальної організації незбалансованих перевезень вантажу на транспортних мережах. Ця ситуація часто виникає, коли обсяги поставок вантажу від його постачальників перевищують можливості складських приміщень його споживачів. В цьому випадку ми стикаємося з необхідністю використання проміжних пунктів для тимчасового зберігання надлишків вантажу і як слідство багатоетапною транспортною задачею.

Об'єкт дослідження – процес управління вантажними перевезеннями на транспортних мережах.

Мета роботи – вивчення особливостей прийняття рішень з управління вантажними перевезеннями на транспортних мережах із застосуванням інформаційних технологій.

Методи дослідження – метод зведення мережевого представлення вантажних перевезень в матричну модель і метод потенціалів знаходження оптимального плану перевезень вантажу.

Матриця транспортних кореспонденцій між постачальниками, споживачами і проміжними пунктами не задається в явному вигляді, а просто вводиться картосхема їх розміщення, тобто транспортне завдання задається за допомогою транспортної мережі.

За допомогою модифікованого методу Дейкстри на транспортної мережі знаходяться найкоротші маршрути між постачальниками і споживачами вантажу, а також між ними і проміжними пунктами для тимчасового зберігання надлишків вантажу.

Оптимальний план перевезень вантажу розраховується за допомогою спроектованого програмно-інструментального комплексу, який об'єднує етап зведення мережевого представлення схеми доставки вантажів до табличного вигляду і етап планування і подальшого здійснення масових вантажних перевезень на транспортної мережі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВАНТАЖНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ТРАНСПОРТНА МЕРЕЖА, БАГАТОЕТАПНА ТРАНСПОРТНА ЗАДАЧА, ОПТИМІЗАЦІЯ, ПРОГРАМНО-ІНСТРУМЕНТАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС.

ABSTRACT

Prokudin G.S., Chupaylenko O.A., Khobotnia T.H., Hilevska K.Yu., Denis O.V. Logistic approach to the organization of unbalanced freight transportation on transport. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

This article describes the logistics approach, which through the use of transport technologies solves the problem of optimal organization of unbalanced transportation of goods on transport networks. This situation often arises when the volume of deliveries of goods from its suppliers exceeds the capacity of warehouses of its consumers. In this case, we are faced with the need to use intermediate points for the temporary storage of surplus cargo and as a consequence of a multi-stage transport task.

The object of research is the process of freight management on transport networks.

The purpose of the work is to study the peculiarities of decision-making on freight transport management on transport networks with the use of information technology.

Research methods - the method of reducing the network representation of freight into a matrix model and the method of potentials to find the optimal plan of freight.

The matrix of transport correspondence between suppliers, consumers and intermediate points is not set explicitly, but simply introduced a map of their location, ie the transport task is set using the transport network.

With the help of the modified Dijkstra method, the shortest routes between suppliers and consumers of cargo are found on the transport network, as well as between them and intermediate points for temporary storage of excess cargo.

The optimal plan of cargo transportation is calculated with the help of the designed software and tool complex, which combines the stage of reduction of the network representation of the scheme of cargo delivery to the tabular form and the stage of planning and further implementation of mass cargo transportation on the transport network.

KEY WORDS: FREIGHT TRANSPORTATION, TRANSPORT NETWORK, MULTI-STAGE TRANSPORT TASK, OPTIMIZATION, SOFTWARE-INSTRUMENT COMP.

АВТОРИ:

Прокудін Георгій Семенович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, e-mail: p_g_s@ukr.net, тел. +38(063) 327-02-43, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 430а, 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. +38(097) 505-25-59, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 437, orcid.org/0000-0002-2004-0355

Хоботня Тетяна Георгіївна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, e-mail: evol_tanya@ukr.net, тел. +38(097)977- 29-29, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 437, orcid.org/0000-0001-7094-6297

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

Денис Олена Віталіївна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, e-mail: denysolena@gmail.com, тел. +38(050) 078-23-64, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 437, orcid.org/0000-0001-5786-9119

AUTORS:

Prokudin Heorhii S., National Transport University, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of International Transportation and Customs Control, e-mail: p_g_s@ukr.net, +38(063)327-02-43, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 430a, orcid.org/0000-0003-2077-5746

Chupaylenko Oleksiy A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of International Transport and Customs Control, e-mail: dozentalexey@gmail.com, tel. +38 (097) 505-25-59, Ukraine, 01010, Kyiv, street Omelianovycha-Pavlenko, 1, room 437, orcid.org/0000-0002-2004-0355

Khobotnia Tetiana H., Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Associate Professor of the Department of International Transportation and Customs Control, e-mail: evol_tanya@ukr.net, +38(097)977-29-29, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 437, orcid.org/0000-0001-7094-6297

Hilevska K.Yu., PhD, National Transport University, associate professor of Department of 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

Denis Olena V., Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Associate Professor of the Department of International Transport and Customs Control, e-mail: denysolena@gmail.com, tel. +38 (050) 078-23-64, Ukraine, 01010, Kyiv, street Omelianovycha-Pavlenko, 1, room 437, orcid.org/0000-0001-5786-9119

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мямлін Сергій Віталійович, доктор технічних наук, професор, департамент розвитку і технічної політики АТ «Укрзалізниця», директор, Київ, Україна

Поліщук Володимир Петрович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, Київ, Україна

REVIEWER:

Miamlin S.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Development and Technical Policy of JSC «Ukrzaliznytsia», Director, Kyiv, Ukraine

Polishchuk V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of Transport Systems and Road Traffic Safety, Kyiv, Ukraine

УДК 504/510
UDC 504/510
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-332-340

ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОБСТАНОВКИ НАВКОЛО ОБ'ЄКТІВ АВТОТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Рабош І.О., PhD, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, Київ, Україна, 2519@i.ua, orcid.org/0000-0001-6863-3945

Кобзиста О.П., кандидат біологічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, kobzysta@ukr.net, orcid.org/0000-0002-9944-0609

FEATURES OF THE STUDY OF THE ENVIRONMENTAL SITUATION AROUND THE OBJECTS OF ROAD TRANSPORT INFRASTRUCTURE

Rabosh I., Ph.D., National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine, 2519@i.ua, orcid.org/0000-0001-6863-3945

Kobzysta O.P., Ph.D. (Candidate of Biological Science), National Transport University, Kyiv, Ukraine, kobzysta@ukr.net, orcid.org/0000-0002-9944-0609

Вступ. Необхідність в підвищенні екологічної безпеки впливу об'єктів автотранспортної інфраструктури та дотримання міжнародних екологічних стандартів потребує впровадження нових сучасних методів аналізу, що дозволяють оптимізувати систему, поєднуючи економічні та екологічні параметри. Актуальність даного дослідження зумовлена оновленою Національною транспортною стратегією України на період до 2030 року: «Конкурентоспроможна та ефективна транспортна система».

Метою роботи є аналіз методів дослідження та контролю екологічної обстановки навколо об'єктів автотранспортної інфраструктури для розробки рекомендацій щодо підвищення їх екоефективності.

Аналіз досліджень. Основним джерелом, що чинить найбільший вплив на довкілля серед об'єктів автотранспортної інфраструктури є саме автотранспортні засоби (АТЗ). Дослідження показують, що забруднення міського середовища пересувними джерелами становить від 70 до 90 % сумарних викидів [1]. Особливу небезпеку становить слабке розсіювання викидів шкідливих речовин (ШР), часткова просторова акумуляція їх в зоні дихання людей, локальне концентрування чадного газу, оксидів Нітрогену та твердих часток. Водночас серед ШР, що викидаються від об'єктів автотранспортної інфраструктури (АЗС, СТО, автомийок тощо) є також оксиди Сульфуру, аміак, бенз(а)пірен, формальдегід, бензол тощо, важкі метали (особливо небезпечними є їх розчинні форми) та зважені речовини (РМ) [2].

Забруднення міського середовища цими сполуками виходить за межі локального впливу, що призводить до зміни структурних, функціональних особливостей урбоекосистем [2]. Екологічна обстановка навколо об'єктів автотранспортної інфраструктури характеризується формуванням зон підвищених концентрацій ШР як в приземному шарі атмосфери, та і в ґрунтово-рослинному покриві. Крім того, такі особливості притаманні наразі і територіям поряд із житловими будинками та рекреаційними парковими зонами. Як наслідок, понад 80% міського населення зазнають шкідливого впливу забруднення довкілля автотранспортом [3, 4].

З процесом урбанізації та розширенням автотранспортної інфраструктури збільшується екологічна небезпека функціонування цих стратегічно важливих об'єктів, що потребує ефективних методів детального вивчення стану складових довкілля в районах забруднення міського середовища для попередження негативних екологічних наслідків.

Основна частина. Для оцінки екологічної обстановки антропогенно порушених територій застосовують експериментальні методи, зокрема, польові спостереження, пробовідбір, фізико-хімічні та хімічні методи, біоіндикацію тощо. Вони є складовою частиною забезпечення моніторингу впливу об'єктів автотранспортної інфраструктури на компоненти довкілля. Водночас за даними моніторингу складається оцінка геоекологічного стану складових екосистем та їх сприятливість для життєдіяльності людини. Однак, оцінка геоекологічного стану урбанізованих територій з широко розвиненою автотранспортною інфраструктурою є досить складною. Це полягає в різноманітті природних умов (геологічні, гідрологічні, кліматичні тощо) та специфіці антропогенного впливу (розгалуженість автотранспортної інфраструктури, рівень промисловості, кількість і вид працюючих

АТЗ, якість моторного палива, обсяги викидів та скидів ШР тощо) на складові довкілля, враховуючи ступень стійкості та особливості самовідновлення цих природних складових [5]. Таким чином, передбачається розробка критеріїв оцінки екологічного стану території, що враховують специфіку впливу і його наслідків в об'єктах навколишнього середовища.

Регламентація еколого-геохімічних показників стану (якості) основних компонентів природного середовища за рівнем їх забруднення (табл. 1) в цілому співвідноситься з класами сприятливості геоекологічного стану навколишнього середовища для біоти і людини [6].

Таблиця 1 – Еколого-геохімічні показники якості складових довкілля
Table 1 – Ecological and geochemical indicators of the quality of the components of the environment

Компоненти навколишнього середовища	Показник	Рівень забруднення компонентів, од			
		Низький	Середній	Високий	Дуже високий
Атмосферне повітря	ІЗА	<5	5–7	7–14	>14
Ґрунти	СПЗ	<16	16–64	64–128	>128
Донні відклади	СПЗ	<10	10–30	30–100	>100
Водні об’єкти	ІЗВ	<1	1–4	4–10	>10

В роботі [5] детально розроблений алгоритм (модель) оцінки екологічної обстановки навколо об’єктів автотранспортної інфраструктури, що базується на моніторингу впливу цих об’єктів на складові довкілля та визначенні основних факторів цього впливу, встановленні експериментальних закономірностей та залежностей з позиції екологічної безпеки. Основою даної моделі є аналіз забруднення окремих природних середовищ за їх хімічним складом і властивостями, що дозволяє дати інтегральну оцінку екологічного стану території навколо об’єктів автотранспортної інфраструктури по всій сукупності параметричних даних.

Модель оцінки техногенного впливу з боку об’єктів автотранспортної інфраструктури на довкілля наведено на рис. 1.



Рисунок 1 – Модель оцінки техногенного впливу з боку об’єктів автотранспортної інфраструктури на довкілля
Figure 1 – Model estimates of anthropogenic influence of motor transport infrastructure facilities on the environment

Представлена модель оцінки є досить трудомісткою, оскільки для оцінки атмосферного повітря, окрім даних моніторингу Центральної геофізичної обсерваторії, необхідно проводити ліхеноіндикацію паркових зон, натурні спостереження за транспортними потоками, розробляти моделі розсіювання ШР у повітрі та оцінювати екологічні ризики від забруднення повітря. Для вивчення впливу автотранспортної інфраструктури на ґрунти потрібно виконувати якісний аналіз водних ґрунтових витяжок на основні катіони та аніони, проводити фітотестування, визначати показники кислотного, сольового і пилового навантаження тощо.

ШР, що потрапляють в ґрунт, спричиняють суттєві зміни його фізичних, хімічних та біологічних властивостей і, як наслідок, приводять до порушення природних біохімічних процесів. Забруднення ґрунтового покриву відбувається скрізь – у великих і малих містах, навколо АЗС, автомийок, уздовж доріг тощо.

Дослідження стану ґрунтових екосистем необхідно проводити на ділянках інтенсивного надходження ШР в навколишнє середовище, тобто на ділянках, розташованих поблизу АЗС (особливо разом з СТО) автомийними комплексами, шиномонтажним сервісом, автостоянками, прилягаючими до автомагістралі, тощо. Саме в цих зонах відбувається максимальне скупчення АТЗ, додаткові затори руху, часті гальмування автотранспорту. Робота двигунів АТЗ на таких територіях відбувається в режимі мінімальної частоти обертання або холостого ходу (часті рушання з місця, розгін, рух з усталеною швидкістю, перемикання передач тощо). Отже, від таких режимів руху АТЗ у докілля потрапляють підвищені кількості ШР. Встановлено, що найбільша кількість викидів ШР (60…64%) приходиться на режим розгону. Зокрема, викиди СО в режимі розгону складають ~64%, в режимі холостого ходу ~28% і є значно меншими в режимі усталеного руху (~7%) [2]. Таким чином, від рівня автотранспортного навантаження залежить ступінь деградації придорожніх ґрунтів, ґрунтових вод, рослинного світу тощо.

Одним з найважливіших показників, що зумовлює характер хімічних і біологічних процесів, які відбуваються у ґрунті чи водному середовищі є показник кислотності pH. Залежно від його значення можуть змінюватися швидкість перебігу і навіть напрямок хімічних і фізико-хімічних перетворень речовин.

На рис. 2 наведено результати визначення показника кислотності pH водних витяжок ґрунту у досліджуваних точках (на прикладі Святошинського району міста Києва) [5].

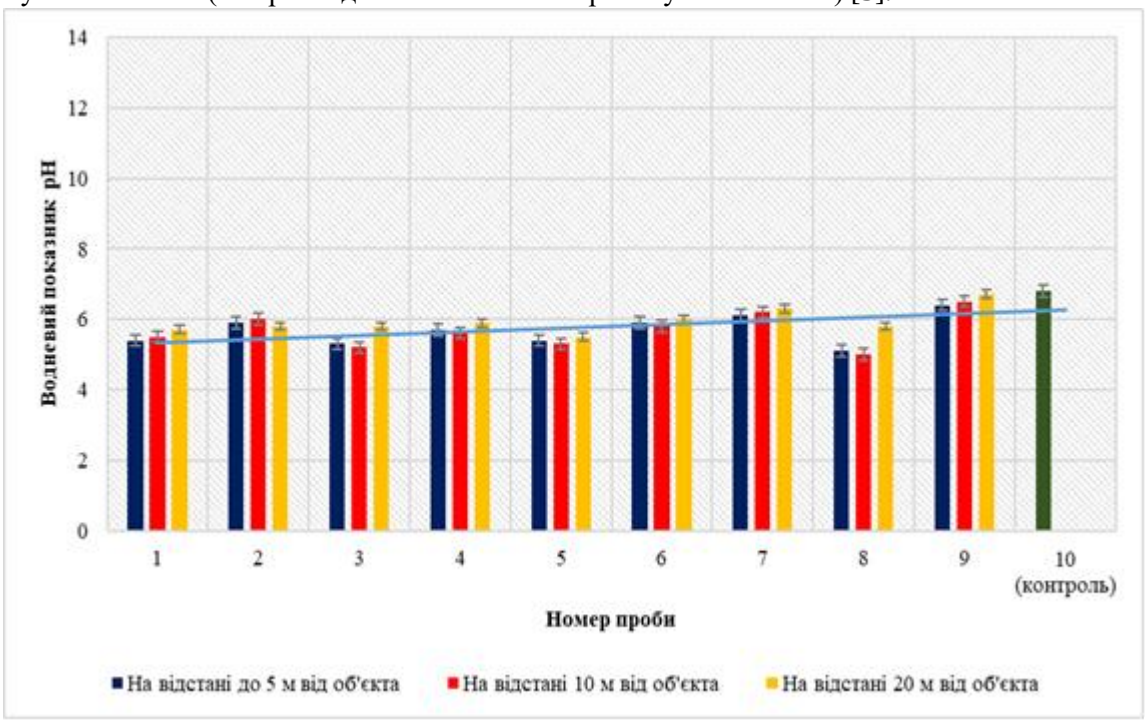


Рисунок 2 – Актуальна кислотність (водневий показник pH) водних витяжок у обраних точках (на прикладі спостережень Святошинський р-н, м.Київ) [5]
Figure 2 – Actual acidity (hydrogen pH) of water extracts at selected points (on the example of observations Sviatoshynskyi district, Kyiv) [5]

Результати хімічного дослідження ґрунтових витяжок показують зміну pH середовища від кислого (pH ≈ 5) до слабко кислого, майже нейтрального (pH≈6,5) при фоновому значенні pH ≈ 6,9 [5]. Найнижчі значення кислотності спостерігаються на відстані до 10 м від центру дороги. Кисла реакція середовища може бути спричинена підвищеними концентраціями аніонів сульфатної (SO_4^{2-}), нітратної (NO_3^-) або ортофосфатної (PO_4^{3-}) кислот, оскільки, потрапляючи до атмосфери, оксиди Нітрогену і Сульфуру з краплями вологого повітря, утворюють відповідні кислоти, зокрема сульфатну та нітратну, що здатні накопичуватися у ґрунтових водах:

$$SO_2 + H_2O = H_2SO_3;$$

$$SO_3 + H_2O = H_2SO_4;$$

$$3NO_2 + H_2O = 2HNO_3 + NO;$$

$$N_2O_5 + H_2O = 2HNO_3.$$

В умовах кислої реакції середовища токсичність багатьох хімічних елементів і сполук значно підвищується і, як правило, становить небезпеку для рослин, тварин і мікроорганізмів. Зокрема, в фазі проростання пригнічується процес фосфорилювання, знижується потрапляння в рослини Кальцію, Магнію, Калію, Фосфору та Феруму, зменшується споживання води. При цьому, зазвичай, знижується ємність катіонного обміну ґрунтів, погіршуються деякі водно-фізичні характеристики. Відомо, що у слабко кислих ґрунтах ШР можуть мігрувати до глибини 40 см, у малобуферних – до 60–80 см, причому їх найвищі концентрації спостерігаються у шарі ґрунту 0–10 см [7]. При низьких значеннях pH знижується активність багатьох мікроорганізмів, що є результатом уповільненого розкладу рослинних залишків і вивільнення з них Нітрогену, Фосфору, Сульфуру та багатьох мікроелементів [8].

Впливає на властивості ґрунту й ґрунтових вод навесні рівень забруднення снігового покриву (табл. 2). Аналіз показників забруднення снігового покриву показує, що досліджувані проби снігу мають лужну та слабко лужну реакцію середовища (pH змінюється від 8,0 до 10,75) при оптимальному діапазоні кислотності середовища для поверхневих вод 5,0−7,5 одиниць pH [5].

Таблиця 2 – Показники забруднення снігового покриву на досліджуваній території [5]
Table 2 – Indicators of snow pollution in the study area [5]

№ проби	Водневий показник, pH	Маса PM, г	Техногенне навантаження PM, кг/км^2	Техногенне навантаження PM, кг/(км^2·доба)	Молярна концентрація еквівалентів солей Кальцію і Магнію, ммоль/л-екв
1	8,50	0,0982	98,00	8,17	0,040
2	8,75	0,0731	73,00	6,08	-
3	8,75	0,0333	33,00	2,75	-
4	9,25	0,0753	75,00	6,25	0,060
5	8,75	0,0450	45,00	3,75	-
6	8,50	0,0156	16,00	1,33	-
7	9,75	0,1022	102,00	8,50	-
8	10,75	0,1296	129,00	10,75	0,030
9	8,00	0,0190	19,00	1,58	-

Водночас величини pH, близькі до нейтрального середовища, встановлені на ділянках, що найбільш віддалені від місць інтенсивного руху автотранспортних потоків. Це свідчить про наявність на таких територіях незначних кількостей схильних до гідролізу гідрокарбонатів Кальцію і Магнію та відсутність інших забруднювачів основного характеру. З наближенням до автотранспортної магістралі спостерігається значне підвищення лужності середовища, що вказує на наявність більшої кількості солей слабких кислот, гідроліз аніонів яких спричиняє збільшення концентрації гідроксид-іонів, зокрема [5]:

1 стадія: $CO_3^{2-} + H\text{-}OH \leftrightarrow HCO_3^- + OH^-$;
2 стадія: $HCO_3^- + H\text{-}OH \leftrightarrow H_2CO_3 + OH^-$.

У пробах, що відбиралися безпосередньо біля проїжджої частини автомагістралі та неподалік від перехрестя, спостерігаються максимальні значення pH середовища. Джерелом забруднення снігу в цьому випадку є піщано-сольові суміші, що застосовуються як протиожеледні засоби взимку. В цих пробах катіони Na^+, концентрації яких співставні з концентраціями іонів Cl^-, значно перевищують кількості Mg^{2+} та Ca^{2+}. Це означає, що після танення снігу рухливі катіони Натрію створюють більшою мірою сольове забруднення ґрунтів, ніж солі Кальцію та Магнію. Небезпечним є те, що при таненні снігу сіль переходить у розчин та всмоктується з водою у ґрунт, що призводить до його засоленості.

Кількісне визначення катіонів Кальцію і Магнію (а саме вони зумовлюють утворення сульфатів і хлоридів Кальцію і Магнію ($CaCl_2$, $CaSO_4$, $MgCl_2$, $MgSO_4$) проводиться титриметричним методом у лужному середовищі (pH ≈ 10). У конічну колбу вміщують 25 мл ґрунтового розчину, додавають 2-3 мл буферного розчину і титрують розчином трилону Б до переходу червоного забарвлення в синє [9].

Розрахунок виконується за формулою:

$$T = (c_Б \times V_Б / V_В) * 1000 \quad (1)$$

де $c_Б$ – молярна концентрація еквіваленту Трилону Б у розчині (за стандартом – 0,02 моль/дм^3);
$V_Б$ – середнє значення об'єму розчину Трилону Б, що було витрачено на титрування, см^3;
$V_В$ – об'єм водної ґрунтової витяжки, що взятий для титрування, см^3.

За величиною кислотності та сульфатно-хлоридним вмістом для кожної досліджуваної ділянки визначається комплексний показник забруднення [5]. Зокрема, коефіцієнт забруднення за показником кислотності K_{pHi} визначають відношенням вимірюваних значень pH в досліджуваних точках до фонового значення за формулою:

$$K_{pHi} = pH_i / pH_{Фi} \quad (2)$$

де pH_i – фактичне значення величини кислотності водної ґрунтової витяжки;
$pH_{Фi}$ – фонове значення кислотності.

Коефіцієнт забруднення за сульфатно-хлоридним вмістом K_{Ci} розраховують за формулою:

$$K_{Ci} = C_i / C_{Фi} \quad (3)$$

де C_i – фактичне значення сульфатно-хлоридного вмісту водних ґрунтових витяжок, ммоль/л;
$C_{Фi}$ – фонове значення вмісту.

Перспективними напрямками екологічної оцінки вважається комбінація різних методів, зокрема, польових, хімічних, біологічних, картографічних тощо; застосування функціонально-екологічного підходу; адаптованість способів до певних ґрунтово-кліматичних умов територій та конкретних типів ґрунтів; створення способів, що мають еколого-економічний ефект. Застосовуючи розглянуті методи хімічного аналізу, можна отримати комплексну оцінку забруднення складових довкілля, що враховує сукупний вплив ШР, а не кожної окремо.

Результати експериментальних досліджень показують, що значний негативний вплив на стан придорожніх і прилеглих до об'єктів автотранспортної інфраструктури ґрунтів чинять протиожеледні реагенти, а саме гідросульфати та гідрохлориди, пилові зважені частки тощо, наявність у ґрунтах залишків мастил і моторних палив, автомийних засобів, зокрема синтетичних ПАР, нафтопродуктів [5]. Нафта і нафтопродукти, будучи багатокомпонентними сумішами, при внутрішньоґрунтовій міграції піддаються диференціації: високомолекулярні компоненти сорбуються у верхньому, гумусовому горизонті, а низькомолекулярні надходять в нижні шари через більш високу їх розчинність у воді. Таким чином, концентрація смолистих речовин у верхніх горизонтах ґрунту в декілька разів більша, ніж у нижніх генетичних горизонтах [5]. Все це вказує на реальну загрозу для життєдіяльності біотичної складової міських ґрунтових екосистем.

Отже, доцільною може бути оцінка забруднення ґрунтових екосистем методом фітотестування, особливо зважаючи на те, що внаслідок накопичення ШР у ґрунтах і рослинах, через потрапляння їх до харчових ланцюгів виникає токсичний тиск на імунну та генетичну системи людини, погіршується стан здоров'я та умови життєдіяльності населення.

Визначення токсичності забруднених ґрунтів в Україні проводиться за ДСТУ ISO 11269-2 2002, ДСТУ ISO 11269-1:2004 [10]. Рівні забруднення досліджуваного середовища оцінюють згідно з методикою [10], використовуючи таку градацію:

1. Забруднення відсутнє – сходження насіння 90–100 %; паростки однорідні, щільні, міцні, рівні.
2. Забруднення слабке – сходження насіння 60–90 %; паростки майже однакової довжини, міцні.
3. Забруднення середнє – сходження 20–60 %; паростки тонкі, порушені морфологічно.
4. Забруднення сильне – сходження до 20 %; паростки дрібні, спотворені.

Результати фітодосліджень свідчать, що забруднення міських ґрунтів пригнічує ростові процеси рослин. Візуальним підтвердженням є тонкі паростки, ненасичений зелений колір, менша висота стебел та рідке сходження паростків на пророщених субстратах. Частка насіння, що зійшло у 4-ох досліджуваних зразках ґрунтів, відповідно, становить 40 %, 27 %, 47 % та 60 %. Встановлений індекс токсичності у всіх досліджуваних зразках ґрунтів дорівнює, відповідно, 61 %, 72 %, 28 % та 50 %. Критичні значення визначені в першому та другому зразках. Найгіршим субстратом для росту рослин є ґрунти, проби яких було відібрано поблизу автомийних комплексів, оскільки зі стічними водами або ж внаслідок розливів відбувається надмірне потрапляння ШР у ґрунтовий шар, що негативно впливає на ріст і розвиток рослин [11].

Слід зазначити, що для отримання більш повної та об'єктивної інформації доцільно використовувати декілька тест-об'єктів, що мають подібні параметри (наприклад, період онтогенезу чи біологічну продуктивність).

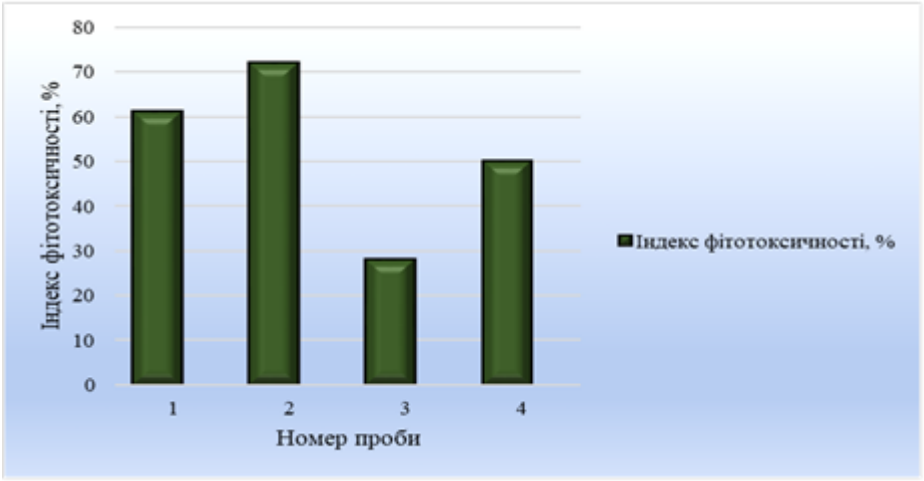


Рисунок 3 – Показник фітотоксичності досліджуваних зразків ґрунту, % [11]
Figure 3 – Phytotoxicity index of the studied soil samples,% [11]

Загроза процесу деградації екосистем в умовах інтенсивного впливу автотранспорту потребує прогнозування рівня їх забруднення та попередження несприятливих наслідків. Таким чином, проведення комплексної оцінки геоекологічного стану міських територій, розташованих біля об'єктів автотранспортної інфраструктури за допомогою експериментальних досліджень, дозволяють виявити певні особливості та закономірності [5]. Для посилення практичної складової даної пропозиції перспективним є продовження подальших досліджень у напрямку розробки інтегрального показника рівня техногенного навантаження на довкілля біля об'єктів автотранспортної інфраструктури з використанням розглянутої моделі комплексної оцінки. Цей інтегральний показник може стати основою для прийняття рішень щодо оцінки та контролю рівня техногенного навантаження на досліджуваних територіях. За допомогою якого можна буде встановити на скільки придорожні території є потенційно небезпечними для здоров'я людей через шкідливий вплив автотранспортної інфраструктури.

Висновок. Виконано аналіз методів дослідження та контролю екологічної обстановки навколо об'єктів автотранспортної інфраструктури. Проаналізований комплексний спосіб поєднання хімічних методів дослідження з біондикаційними спостереженнями, що надає змогу аналізувати вплив ШР від автотранспорту на різні компоненти довкілля (атмосферне повітря, ґрунти й ґрунтові розчини, рослини, тварини, поверхневі води тощо) та встановлювати рівень техногенного навантаження.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Транспорт і зв'язок України. Державна служби статистики України : веб-сайт. URL: http://www.ukrstat.gov.ua (дата звернення : 13.05.2021).
2. Екологія з основами біобезпеки. Частина 1. Інгредієнтне забруднення : навч. посіб. для практич. занять / Петрук В. Г. та ін. Херсон : Олді-плюс, 2019. 196 с.
3. Транспортна екологія : навч. посіб. / О. І. Запорожець та ін. Київ, 2017. 508 с.
4. Екологізація транспортної системи за принципами сталого розвитку / В. О. Хрутьба та ін. Вісник Національного транспортного університету. Серія "Технічні науки". Науково-технічний збірник. 2017. Вип. 3 (39). С. 221–229.
5. Рабош І. О. Підвищення екологічної безпеки і моніторинг впливу об'єктів автотранспортної інфраструктури на довкілля : дис. … д-ра філософії : 101 Екологія / Рабош Ірина Олександрівна. – Київ, 2021. – 214 с.
6. Хомич В. С., Какаренко С. В. Городская среда. Геоэкологические аспекты. Беларус. Наука. 2013. URL: http://www.studentlibrary.ru/book/ ISBN9789850815064.html (дата звернення 25.03.2019).
7. Patent-information support for assessing the environmental status of the soil. V. L. Samokhvalova, O. V. Mangryka, A. I. Fateev. Ecological soil science. 2015. Vol. 16. no. 1–2. URL : file:///C:/Users/Admin/Downloads/grunt_2015_16_1-2_6.pdf.
8. Соткина С. А., Никитина О. А. Эколого-геохимическая ситуация как компонент оценки комфортности окружающей среды. Научнометодический электронный журнал "Концепт". 2016. № 1. С. 71–75.
9. Руководство по методам полевых и лабораторных исследований снежного покрова для изучения закономерностей длительного загрязнения местности в зоне действия антропогенных источников / Ковкин В. В., Шуваева О. В., Морозов С. В., Ранута В. Ф. Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т, 2012. 74 с.
10. ДСТУ ISO 11269-2:2002. Якість ґрунту. Визначання дії забрудників на флору ґрунту. Ч. 2. Вплив хімічних речовин на проростання та ріст вищих рослин [Чинний від 2004-07-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2004. 4 с. (Інформація та документація).
11. Рабош І. О., Кофанова О. В. Оцінка фітотоксичності міських ґрунтів, забруднених об'єктами автотранспортної інфраструктури. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2019. № 1 (77).

REFERENCES

1. Transport i zvyazok Ukrainy. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy [Transport and communications of Ukraine. State Statistics Service of Ukraine]: veb-sait. URL: http://www.ukrstat.gov.ua (data zvernennia : 13.05.2021).
2. Petruk V. G., Vasylkivskyi I. V., Ishchenko V. A., Trach I. A. Ekolohiya z osnovamy biobezpeky. Chastyna 1. Inhrediyentne zabrudnennya : navch. posib. dlia praktych. zanyat [Ecology with the basics of biosafety. Part 1. Ingredient contamination 1]. Kherson, Oldi-plius, 2019. 196.
3. Zaporozhez O. I., Boichenko S. V., Matveyeva O. L., Shamanskyi S. Y., Dmytrukha T. I., Madzhd S. M. Transportna ekologiya: navch. posib. [Transport ecology]. Kyiv, 2017. 508.
4. Khrutba V. O., Spasichenko O. V., Gryschuk V. I., Starynets L. M. Ekologizatsiya transportnoyi systemy za pryncypamy stalogo rozvytku [Greening of the transport system on the principles of sustainable development]. Visnyk Nacionalnogo transportnogo universytetu [Bulletin National Transport University]. Kyiv, National Transport University, Publ. 2017. – Vol. 39.
5. Rabosh, I. O. Pidvyshchennia ekolohichnoyi bezpeky i monitorynh vplyvu obyektiv avtotransportnoyi infrastruktury na dovkillia [Improving environmental safety and monitoring the impact of road infrastructure on the environment system on the principles of sustainable development]. Kyiv, 2021. 214.

6. Khomych V. S., Kakarenko S. V. Horodskaia sreda. Heoekolohycheskye aspekti [Urban environment. Geoecological aspects]. Belarus. Nauka. 2013. URL: http://www.studentlibrary.ru/book/ ISBN9789850815064.html (data zvernennia 25.03.2019).

7. Patent-information support for assessing the environmental status of the soil. V. L. Samokhvalova, O. V. Mangryka, A. I. Fateev. Ecological soil science. 2015. Vol. 16. no. 1–2. URL: file:///C:/Users/Admin/Downloads/grunt2015161-26.pdf.

8. Sotkina S. A., Nikitina O. A. Ekoloho-heokhimicheskaia sytuatsiia kak komponent otsenki komfortnosti okruzhaiushchei sredy [Ecological and geochemical situation as a component of environmental comfort assessment]. Scientific-methodical electronic journal «Concept». 2016. № 1. S. 71–75.

9. Kovkyn V. V., Shuvaeva O. V., Morozov S. V., Ranuta V. F. Rukovodstvo po metodam polevykh i laboratornykh issledovanii snezhnoho pokrova dlia izucheniia zakonomernostei dlitelnoho zahriazneniia mestnosti v zone deistviia antropohennykh istochnikov [Guidance on methods of field and laboratory studies of snow cover for studying the patterns of long-term pollution of the area in the zone of action of anthropogenic sources]. Novosibirsk: Novosib. hos. un-t, 2012. 74.

10. 10. DSTU ISO 11269-2:2002. Yakist gruntu. Vyznachannia dii zabrudnykiv na floru hruntu. Ch. 2. Vplyv khimichnykh rechovyn na prorostannia ta rist vyshchykh roslyn [Soil quality. Determination of the effect of pollutants on soil flora. Part 2. The effect of chemicals on the germination and growth of higher plants]. Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2004. 4. (Informatsiia ta dokumentatsiia).

11. Rabosh I. O., Kofanova O. V. Otsinka fitotoksychnosti miskykh gruntiv, zabrudnenykh obiektamy avtotransportnoi infrastruktury [Assessment of phytotoxicity of urban soils contaminated by road infrastructure]. Naukovi dopovidi NUBIP Ukrainy. [Scientific reports]. 2019. № 1 (77).

РЕФЕРАТ

Рабош І.О. Дослідження екологічної обстановки навколо об’єктів автотранспортної інфраструктури / І.О. Рабош, О.П. Кобзиста // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

В останні роки стан автотранспортної інфраструктури України значно погіршується. З процесом урбанізації та розширенням автотранспортної інфраструктури збільшується екологічна небезпека функціонування цих стратегічно важливих об’єктів, що потребує ефективних методів детального вивчення стану складових довкілля в районах забруднення міського середовища для попередження негативних наслідків.

Виходячи з проблематики метою роботи було аналіз методів дослідження та контролю екологічної обстановки навколо об’єктів автотранспортної інфраструктури для розробки рекомендацій щодо підвищення їх екоефективності.

Розглянуто алгоритм оцінки екологічної обстановки навколо об’єктів автотранспортної інфраструктури, що базується на моніторингу впливу цих об’єктів на складові довкілля та визначенні основних факторів цього впливу. Встановлені закономірності та залежності впливу автотранспортної інфраструктури з позиції екологічної безпеки.

Проаналізовані показники забруднення складових довкілля в районах дослідження та методи їх отримання. Зроблено висновок, що комплексне поєднання хімічних методів дослідження з біондикаційними спостереженнями, надає змогу аналізувати вплив ШР від автотранспорту на різні компоненти довкілля (атмосферне повітря, ґрунти й ґрунтові розчини, рослини, тварини, поверхневі води тощо) та встановлювати рівень техногенного навантаження.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОТРАНСПОРТНА ІНФРАСТРУКТУРА, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, ШКІДЛИВІ РЕЧОВИНИ, ЗАБРУДНЕННЯ.

ABSTRACT

Rabosh I.O., Kobzysta O.P. Features of the study of the environmental situation around the objects of road transport infrastructure. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51)

In recent years, the state of the road transport infrastructure in Ukraine has deteriorated significantly. With the process of urbanization and the expansion of the transport infrastructure, the ecological danger of the

functioning of these strategically important objects increases, which requires effective methods of detailed study of the state of environmental components in areas of urban pollution in order to prevent negative consequences.

Working with the problematic, using robots, we analyzed the methods to monitor the environmental situation around the road transport infrastructure for the development of recommendations for advancing efficiency.

An algorithm for assessing the environmental situation around the objects of motor transport infrastructure is considered, based on monitoring the impact of these objects on the components of the environment and determining the main factors of this influence. The regularities and dependences of the influence of the motor transport infrastructure from the standpoint of environmental safety have been established.

The indicators of pollution of the components of the environment in the study areas and methods of their production are analyzed. It has been concluded that a complex combination of chemical research methods with biodication is observable, makes it possible to analyze the effect of vehicles on various components of the environment (atmospheric air, soil and soil solutions, plants, animals, surface waters, etc.) and to establish the level of anthropogenic load.

KEY WORDS: MOTOR VEHICLE INFRASTRUCTURE, ENVIRONMENTAL SAFETY, HARMFUL SUBSTANCES, POLLUTION.

АВТОРИ:

Рабош Ірина Олександрівна, PhD, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, e-mail: 2519@i.ua, тел. 0989384396, Україна, 03056, м. Київ, вул. Борщагівська 115.

Кобзиста Оксана Петрівна, кандидат біологічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Екологія та безпека життєдіяльності», e-mail: kobzysta@ukr.net, тел. +380963330744, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, кім. 312.

AUTHOR:

Rabosh Iryna O., Ph.D., National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, e-mail: 2519@i.ua, tel. 0989384396, Ukraine, 03056, Kyiv, Borshchahivska str. 115.

Kobzysta Oksana P., Ph.D. (Candidate of Biological Science), Associate Professor, National Transport University, Associat of chair the Ecology and life safety, e-mail: kobzysta@ukr.net, tel. (044) 2885100, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 312.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гутаревич Ю.Ф., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідуючий кафедрою двигунів і теплотехніки, Київ, Україна.

Кофанова О.В., доктор педагогічних наук, професор кафедри геоінженерії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна.

REVIEWERS:

Hutarevych Yu.F., Doctor of Technical Sciences, professor, National Transport University, Head of the Engines and Heating Engineering department, Kyiv, Ukraine.

Kofanova O.V., Doctor of Technical Sciences, professor of the Geo-Engineering department, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine

УДК 629.113 DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-341-351
UDC 629.113

МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ АВТОБУСА НА МАРШРУТІ МЕТРОБУСА

Сахно В.П., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, svp_40@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5144-7131

Корпач А.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, akorpach@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7070-7883

Корпач О.А., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, korpach1988@gmail.com, orcid.org/0000-0002-2496-4395

MODELING BUS MOVEMENT ON METROBUS ROUTE

Sakhno V.P., Ph.D, Engineering (Dr.), National Transport University, Kyiv, Ukraine, svp_40@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5144-7131

Korpach A.O., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, akorpach@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7070-7883

Korpach O.A., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, korpach1988@gmail.com, orcid.org/0000-0002-2496-4395

Постановка проблеми.

Збільшення частки пасажирських перевезень в містах призводить до зниження якості функціонування їх транспортних систем. З цією проблемою стикаються як керівники і проектувальники транспортних систем міст, так і пересічні жителі. Одним із можливих рішень для покращення якості функціонування громадського транспорту є використання систем швидкісного автобусного транспорту (Bus Rapid Transit, BRT), які ще називають метробусом.

Система BRT – це високоякісна автобусна транспортна система, яка пропонує швидкий, зручний та економічний міський транспорт за рахунок використання виділених смуг для забезпечення високої частоти та швидкості руху автобусів, а також орієнтації на правильні маркетингові інструменти та високоякісне обслуговування клієнтів. BRT поєднує якість та масштабність залізничних перевезень і гнучкість автобусних перевезень.

Сьогодні найбільш розповсюдженими є системи BRT, що знаходяться в країнах, що розвиваються, зокрема, Латинської Америки та Азії. Проте, завдяки своїм перевагам, вони набувають популярності і у розвинених країнах, у тому числі в країнах Західної Європи та Північної Америки. Обговорення можливості запровадження та функціонування систем BRT не обійшло і України. Так, у 2017 році Київською міською державною адміністрацією (КМДА) було оголошено тендер на розробку техніко-економічного обґрунтування для системи метробуса. Планувалося дві лінії метробуса для з'єднання житлового масиву Вигурівщина-Троєщина з існуючими станціями метрополітену. Хоча цей проект так і не був реалізований, проте дискусії навколо нього продовжуються і досі [1].

Для оцінки ефективності функціонування системи метробуса, вибору та обґрунтування його рухомого складу, доцільно використовувати математичне моделювання, яке дозволяє на етапі проектування визначати основі експлуатаційні властивості окремих автобусів та параметри системи BRT в цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню експлуатаційних властивостей рухомого складу метробуса присвячено ряд робіт.

Так в роботі [2] проаналізовано стан громадського транспорту в м. Києві та запропоновано маршрут метробуса, який з'єднує житловий масив Вигурівщина-Троєщина та найближчу станцію метрополітену «Почайна». Запуск метробуса на цьому маршруті дозволить скоротити тривалість руху на 18,5 хв.

Дослідження маневреності рухомого складу метробуса проведено в роботах [3-6].

В роботах [3] та [4] розглянуто показники маневреності триланкових зчленованих автобусів та встановлено, що поліпшити їх за рахунок компонувальних параметрів автобуса і причіпних ланок у граничних режимах руху, практично, неможливо. Такий автобус не вписується у допустиму смугу руху, регламентовану DIRECTIVE 2002/7/EC, а отже – виникає необхідність перебудови існуючої транспортної інфраструктури для експлуатації такого рухомого складу на лініях метробуса. Зменшити габаритну смугу руху можна за рахунок використання керованих коліс (осей) причепа.

Об’єктом досліджень приведених в роботах [5] та [6] є причіпні автобусні поїзди, що можуть використовуватись в системі метробуса.

У роботі [5] розглянуто чотири варіанти автобусних поїздів у складі тривісного автобуса загальною масою 24 т і комбінацій із двовісних і тривісних причепів та встановлено, що автобусний поїзд з першим причепом з рознесеними осями і передньою керованою віссю і другим причепом з наближеними осями значно кращий, порівняно з автопоїздом з двома причепами з наближеними осями і виконує вимоги DIRECTIVE 2002/7/EC.

У роботі [6] запропоновано формувати рухомий склад для перевезень у системі BRT з трьох однотипних автобусів МАЗ-206 загальною довжиною до 26 м і пасажиромісткістю до 220 пасажирів. Досліджено показники маневреності та встановлено, що триланковий причіпний автопоїзд значно перевищує триланковий шарнірно-зчленований автобус.

Порівняння витрати енергії та рівнів викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище системи BRT та легкового пасажирського транспорту проведено в дослідженні [7]. Встановлено, що впровадження системи BRT дозоляє суттєво скоротити витрату енергії та викиди у навколишнє середовище. Так, енергія, що затрачається на перевезення одного пасажиру в проаналізованих системах BRT, лежить у межах 1,7-7,6 МДж, в середньому – 3 МДж. Викиди вуглекислого газу при цьому становлять від 11% до 85% викидів легкових автомобілів.

У роботі [8] проаналізовано вплив кількості пасажирів, інтенсивності руху, ціни на паливо та використання чотирьох різних видів автобусів на вартість транспортного обслуговування у системі BRT міста Курітіба (Бразилія). Оцінювання споживання енергії проводилось для триланкового зчленованого автобуса, гібридного двовісного автобуса, гібридного зчленованого автобуса, плагін-гібридного двовісного автобуса з урахуванням різного навантаження та різних їздових циклів. Встановлено, що дволанковий гібридний автобус є найбільш доцільним для заміни триланкових зчленованих автобусів, що зараз експлуатуються на лініях метробуса в місті Курітіба.

Метою роботи є моделювання руху автобуса на маршруті метробуса з використанням їздових циклів, що його імітують для подальшого вибору та обґрунтування типу рухомого складу, його параметрів та режимів руху.

Виклад основного матеріалу.

Для оцінки показників експлуатаційних властивостей, зокрема, тягово-швидкісних властивостей, паливної економічності та токсичності автотранспортних засобів, доцільно використовувати їздові цикли, які найбільш повно відображають реальні експлуатаційні умови. Вони складаються із послідовних ділянок, які включають розгін, рух із сталою швидкістю, сповільнення і роботу двигуна в режимі мінімальної частоти обертання холостого ходу.

При математичному моделюванні руху автобуса необхідно задатися усередненим маршрутом з типовими фазами руху, отриманим з використанням реальних експлуатаційних даних та оцінювати на його основі тягово-швидкісні властивості та паливну економічність.

В дослідженні [1] запропоновано маршрут метробуса в м. Києві. Проаналізувавши дані щодо характеристики цього маршруту, для моделювання було обрано маршрут «вул. Милославська – ст. метро «Почайна», що налічує 13 зупинок та 12 ділянок маршруту між ними (табл. 1).

Таблиця 1 – Основні характеристики маршруту «вул. Милославська – ст. метро «Почайна»

Table 1 – Main characteristics of the route «Miloslavska str. - Pochayna metro station»

Номер ділянки	Назва ділянки	Довжина ділянки, м
1	вул. Милославська – вул. Марини Цвєтаєвої	560
2	вул. Марини Цвєтаєвої – Торговий центр (ТЦ «Маяк»)	700
3	Торговий центр (ТЦ «Маяк») – вул. Сержа Лифаря	540
4	вул. Сержа Лифаря – Універсам (ТЦ «Фестивальний»)	620
5	Універсам (ТЦ «Фестивальний») – вул. Теодора Драйзера	620
6	вул. Теодора Драйзера – Мікрорайон №1	700
7	Мікрорайон №1 – ж/м Райдужний	1350
8	ж/м Райдужний – Торгово-розважальний центр (ТРЦ «Skymall»)	1340
9	Торгово-розважальний центр (ТРЦ «Skymall») – Парк «Муромець»	1330
10	Парк «Муромець» – Супермаркет (ТРЦ «Блокбастер)	1820
11	Супермаркет (ТРЦ «Блокбастер) – вул. Йорданська	830
12	вул. Йорданська – ст. метро «Почайна»	690

Було запропоновано імітувати кожну ділянку маршруту за допомогою ділянки їздового циклу одного з двох типів, кожна з яких включає в себе різні фази руху. Схеми ділянок їздового циклу зображено на рис. 1.

Так, до ділянки Типу 1 входять: 1 фаза – зупинки з метою посадки і висадки пасажирів I, 1 фаза розгону II, 1 фаза руху з усталеною швидкістю III та 1 фаза сповільнення IV. До ділянки Типу 2: 1 фаза зупинки з метою посадки і висадки пасажирів I, 2 фази розгону II, 2 фази руху з усталеною швидкістю III, 2 фази сповільнення IV та 1 фаза зупинки на маршруті V.

На основі запропонованих ділянок, було складено їздовий цикл, який складається з 12 ділянок. Характеристики їздового циклу наведено в табл. 2.

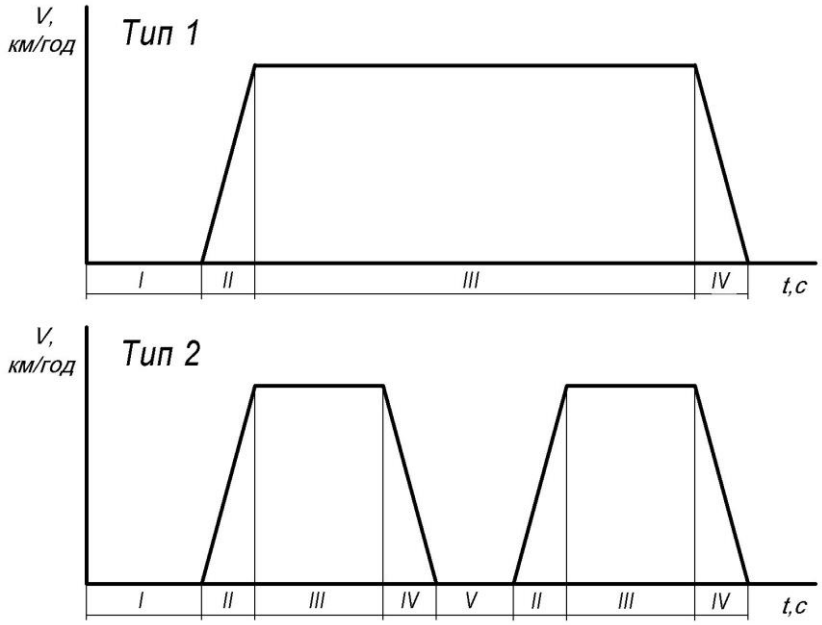


Рисунок 1 – Схеми ділянок їздового циклу.

Фази руху: I – зупинка для посадки і висадки пасажирів; II – розгін; III – рух з усталеною швидкістю; IV – сповільнення до повної зупинки; V – зупинка (перед світлофорним об'єктом); VI – сповільнення до повної зупинки та розгін до швидкості усталеного руху.

Figure 1 - Driving cycle sections schemes:

Phases of movement: I - stop for embarkation and disembarkation of passengers; II - acceleration; III - constant speed movement; IV - deceleration to stop; V - stop (at a traffic light); VI - deceleration to stop and acceleration to constant speed.

Довжини ділянок циклу обиралися такими, як і для запропонованого маршруту метробуса «вул. Милославська – ст. метро «Почайна» (табл. 1).

Час зупинки для посадки і висадки пасажирів (фаза I) було прийнято на рівні 30 сек., що відповідає середньому часу посадки і висадки пасажирів (20-35 сек) в існуючих системах метробуса та метрополітену.

Розгін автобуса (фаза II) в циклі відбувається за умови повного використання потужності двигуна з метою найшвидшого виходу на режим усталеного руху (фаза III).

Усталена швидкість руху автобуса (фаза III) визначається за умови можливості її досягнення на ділянці маршруту та за умови забезпечення мінімальної витрати палива. В розрахунках усталена швидкість руху приймається в межах 50-80 км/год. На ділянках довжиною до 1 км (8 зупинок) та на ділянці №7 (Мікрорайон №1 – ж/м Райдужний), що передбачає зупинку в межах ділянки вона складає 50-60 км/год, на ділянках довжиною понад 1 км – 50-80 км/год.

Сповільнення автобуса (фаза IV) за допомогою двигуна або гальмівної системи повинно забезпечувати рекомендоване середнє сповільнення для автобусів на рівні $j_{сп} = 1{,}5$ м/с^2 [9].

Зупинка на маршруті, що визначається фазою V руху, імітує зупинку автобуса перед світлофорним об'єктом на перехресті вул. Милославської та просп. Генерала Ватутіна. Середня тривалість зупинок перед світлофором складає 30 сек, тому в розрахунках прийнято тривалість фази V руху – 30 сек.

Таблиця 2 – Характеристики їздового циклу

Table 2 - Driving cycle characteristics

№ ділянки	Довжина ділянки, м	Час зупинки для посадки-висадки пасажирів (фаза I), с	Час зупинки (фаза V), с	Тип ділянки їздового циклу	Швидкість усталеного руху, км/год
1	560	30	0	Тип 1	50, 55, 60
2	700	30	0	Тип 1	50, 55, 60
3	540	30	0	Тип 1	50, 55, 60
4	620	30	0	Тип 1	50, 55, 60
5	620	30	0	Тип 1	50, 55, 60
6	700	30	0	Тип 1	50, 55, 60
7	1350	30	30	Тип 2	50, 55, 60
8	1340	30	0	Тип 1	50, 60, 70, 75, 80
9	1330	30	0	Тип 1	50, 60, 70, 75, 80
10	1820	30	0	Тип 1	50, 60, 70, 75, 80
11	830	30	0	Тип 1	50, 55, 60
12	690	30	0	Тип 1	50, 55, 60
ВСЬОГО	11100	360	30		

Основними показниками, які будуть визначатися при математичному моделюванні є:

- час руху на ділянці маршруту τ_i;
- витрата палива на ділянці маршруту Q_i;
- середня швидкість на ділянці маршруту v_{cpi}.

Визначати і досліджувати показники експлуатаційних властивостей досить складної механічної системи "автомобіль" та аналізувати вплив на неї зовнішніх чинників (водія, дороги) найкраще на математичній моделі, що базується на диференціальному рівнянні прямолінійного руху [10]:

$$\frac{dV}{dt} \cdot M_a \cdot \delta_{об} = P_{кол}(V) - P_{оп}(V, V^2) \pm G_a \cdot \sin\alpha, \quad (1)$$

де M_a – повна маса автомобіля, кг;

$\delta_{об}$ – коефіцієнт, який ураховує обертові маси автомобіля;

$P_{кол}(V)$ – повна колова сила на ведучих колесах автомобіля, Н;

$P_{оп}(V,V^2)$ – сума сил опору руху автомобіля, які залежать від швидкості його руху, Н;

$G_a \cdot sin\alpha$ – сила опору підйому, Н;

G_a – сила тяжіння від повної маси автомобіля, Н;

α – кут поздовжнього нахилу полотна дороги, град;

V – швидкість руху автомобіля, м/с;

$\frac{dV}{dt}$ – прискорення автомобіля, м/с^2.

Зважаючи на те, що аналітичну функцію для сили $P_{кол}(V)$ точно визначити неможливо, зазначене диференціальне рівняння (1) другого порядку із сталими коефіцієнтами є таким, що в загальному випадку не інтегрується. Проте, його інтегрування можна провести, якщо вважати, що функція $P_{кол}(V)$ задана або визначена, наприклад, коли розглядати роботу двигуна за швидкісною зовнішньою характеристикою. В такому випадку розв’язок рівняння буде залежати від великої кількості параметрів, які доцільно розбити на дві групи.

До першої групи віднесені конструктивні параметри автомобіля та вихідні характеристики робочих процесів його агрегатів, що впливають на остаточні показники руху автомобіля. Другу групу складають параметри, що характеризують дорожні умови та взаємодію коліс автомобіля з опорною поверхнею.

Основною змінною у диференціальному рівнянні руху автомобіля є лінійна швидкість руху. У зв'язку з цим для інтегрування рівняння всі члени його правої частини мають бути виражені відносно лінійної швидкості руху.

Таким чином, для розв'язання рівняння руху автомобіля необхідно виразити повну колову силу та сили опору руху через лінійну швидкість руху автомобіля.

Для розрахункового визначення витрати палива автобуса у різних фазах руху була використана методика, запропонована в роботах [11-12].

У режимі усталеного руху з постійною швидкістю (фаза III циклу) витрата палива визначається за залежністю:

$$Q_i = k_Q \cdot Q_{oc} \cdot \tau_y , \tag{2}$$

де k_Q – коефіцієнт корекції витрати палива;
Q_{oc} – секундна витрата палива, кг/с;
τ_y – час руху автобуса зі сталою швидкістю, с.

Секундна витрата палива визначається:

$$Q_{oc} = a_{Qc} \cdot V^2 + b_{Qc} \cdot V + c_{Qc} , \tag{3}$$

де

$$a_{Qc} = \frac{a_{.Q} \cdot U_i^{\,2}}{3600 \cdot r_к^{\,2}} , b_{Qc} = \frac{b_Q \cdot U_i}{3600 \cdot r_к} , c_{Qc} = \frac{c_Q}{3600} , \tag{4}$$

U_i – загальне передаточне число трансмісії автобуса на і-ій передачі;
$r_к$ – радіус кочення колеса, м.
a_Q, b_Q, c_Q – коефіцієнти апроксимації функції годинної витрати палива двигуна :

$$Q_o = a_Q \cdot \omega^2 + b_Q \cdot \omega + c_Q . \tag{5}$$

де ω – кутова швидкість обертання колінчастого валу двигуна, рад/с;

За наявності швидкісних зовнішніх характеристик двигунів коефіцієнти a_Q, b_Q, c_Q визначаються за допомогою інтерполяційної формули Лагранжа за умови, що:

$$Q_o = \frac{g_e \cdot N_e}{1000} , \tag{6}$$

де g_e – питома витрата палива, г/(кВт·год),
N_e – потужність двигуна, кВт.

Остаточно коефіцієнти a_Q, b_Q, c_Q :

$$a_Q = \frac{((g_N \cdot N_{\max} - g_{\min} \cdot N_{\min}) \cdot (\omega_M - \omega_{\min}) - (g_M \cdot N_M - g_{\min} \cdot N_{\min}) \cdot (\omega_N - \omega_{\min}))}{1000 \cdot ((\omega_N^{\,2} - \omega_{\min}^{\,2}) \cdot (\omega_M - \omega_{\min}) + (\omega_{\min}^{\,2} - \omega_N^{\,2}) \cdot (\omega_N - \omega_{\min}))} ,$$

$$b_Q = \frac{\frac{(g_M \cdot N_M - g_{\min} \cdot N_{\min})}{1000} + a_Q \cdot (\omega_{\min}^{\,2} - \omega_M^{\,2})}{\omega_M - \omega_{\min}} ,$$

$$c_Q = \frac{g_{\min} \cdot N_{\min}}{1000} - a_Q \cdot \omega_{\min}^{\,2} - b_Q \cdot \omega_{\min}^{\,2} . \tag{7}$$

Найбільша достовірність витрати палива при частковому використанні потужності двигуна досягається при двох вихідних графіках залежності крутного моменту і годинної витрати палива від кутової швидкості вала двигуна і положення органу керування подачею палива. Зазначені характеристики дозволяють встановити зв'язок між годинною витратою палива при частковій і повній подачах палива для досліджуваного діапазону кутових швидкостей колінчастого валу двигуна. Проте, отримати їх можливо тільки експериментальним шляхом, визначивши навантажувальні характеристики конкретного двигуна при різних частотах обертання колінчастого валу.

При визначенні витрати палива, за умови часткового використання потужності двигуна, вводиться коефіцієнт корекції витрати палива k_Q , що визначається:

$$k_Q = a_{ki} \cdot k_i^{\,2} + b_{ki} \cdot k_i + c_{ki}, \tag{8}$$

де, k_i – коефіцієнт використання потужності двигуна;
a_{ki}, b_{ki}, c_{ki} – коефіцієнти апроксимації функції $k_Q = f(k_i)$

Коефіцієнт використання потужності двигуна для визначення показників паливної економічності [12]:

$$k_i = \frac{M_a \cdot g \cdot (f_0 + K_f \cdot V) + K_B \cdot F \cdot V^2}{A_i \cdot V^2 + B_i \cdot V + C_i}, \tag{9}$$

де M_a – повна маса автобуса, кг;
f_0 – коефіцієнт опору кочення при малих швидкостях руху;
K_f – коефіцієнт, що враховує зміну коефіцієнту опору кочення при збільшенні швидкості руху;
ρ – густина повітря, кг/м^3;
C_x – коефіцієнт аеродинамічного опору;
F – лобова площа, м^2;
A_i, B_i, C_i – коефіцієнти апроксимації рівняння колової сили:

$$A_i = a \cdot \frac{U_i^3 \cdot \eta_m}{r_\partial r_\kappa^2},\ B_i = b \cdot \frac{U_i^2 \cdot \eta_m}{r_\partial \cdot r_\kappa},\ C_i = c \cdot \frac{U_i \cdot \eta_m}{r_\partial}, \tag{10}$$

η_m – коефіцієнт корисної дії трансмісії;
r_∂ та r_κ – динамічний радіус та радіус кочення колеса, м;
a, b, c – коефіцієнти апроксимації крутного моменту двигуна, отриманої експериментальним шляхом:

$$a = \frac{M_N - M_{\kappa.\min} - \frac{M_{\kappa.\max} - M_{\kappa.\min}}{\omega_M - \omega_{\min}} \cdot (\omega_N - \omega_{\min})}{\omega_N^{\,2} - (\omega_M + \omega_{\min}) \cdot \omega_N - \omega_{\min}^{\,2} + (\omega_M + \omega_{\min}) \cdot \omega_{\min}};$$

$$b = \frac{M_{\kappa.\max} - M_{\kappa.\min}}{\omega_M - \omega_{\min}} - a \cdot (\omega_M + \omega_{\min}) \cdot \omega_{\min};$$

$$c = M_{\kappa.\min} - a \cdot \omega_{\min}^{\,2} - b \cdot \omega_{\min}, \tag{11}$$

де ω_{min}, $M_{\kappa.min}$ – мінімальна кутова швидкість колінчастого вала двигуна, с$^{-1}$, та крутний момент, Н·м, при цій кутовій швидкості;
$M_{\kappa.max}$, ω_M – максимальний крутний момент двигуна, Н·м, та кутова швидкість колінчастого вала двигуна, с$^{-1}$, що йому відповідає;
M_N, ω_N – крутний момент, Н·м, та кутова швидкість колінчастого вала двигуна, с$^{-1}$, що відповідають його максимальній потужності.

Час руху автобуса τ_i зі сталою швидкістю є відношення різниці між загальною довжиною ділянки маршруту S_i та шляху розгону S_{pi} і гальмування $S_{гі}$ на даній ділянці до швидкості усталеного руху v_i.

Час руху автобуса τ_i зі сталою швидкістю:

$$\tau_i = \frac{S_i - S_{pi} - S_{гі}}{v_i}. \tag{12}$$

Шлях розгону S_{pi} визначається за залежністю:

$$S_{\text{рі}} = M_a \delta_{об} \int_{V_n}^{V_к} \frac{VdV}{a_i V^2 + b_i V + c_i}. \quad (13)$$

де $\delta_{об}$ – коефіцієнт, який враховує обертові маси автобуса;
V_n, $V_к$ – початкова і кінцева швидкості руху автобуса, м/с;
a_i, b_i, c_i – коефіцієнти правої частини диференційного рівняння руху автобуса [10]:

$$\begin{aligned} a_i &= A_i - 0{,}5 \cdot \rho \cdot C_x \cdot F, \\ b_i &= B_i - K_f \cdot M_a \cdot g, \\ c_i &= C_i - f_0 \cdot M_a \cdot g \end{aligned} \quad (14)$$

Шлях гальмування визначається, як:

$$S_{гі} = \frac{(V_n - V_к)^2}{2 \cdot j_{сп}}, \quad (15)$$

де V_n, $V_к$ – початкова і кінцева швидкості руху автобуса, м/с;
$j_{сп}$ – сповільнення автобуса, м/с^2.

Витрата палива при неусталеному русі за повного використання потужності двигуна (фаза II та частина фази VI циклу), що відповідає режимам розгону автобуса, визначається залежністю:

$$Q_i = M_a \cdot \delta_{об} \cdot \int_{v_n}^{v_к} \frac{a_{Qc} \cdot V^2 + b_{Qc} \cdot V + c_{Qc}}{a_i \cdot V^2 + b_i \cdot V + c_i} dV. \quad (16)$$

Час розгону визначається за залежністю, с:

$$\tau_{pi} = M_a \cdot \delta_{об} \cdot \int_{V_n}^{V_к} \frac{dV}{a_i \cdot V^2 + b_i \cdot V + c_i}. \quad (17)$$

Витрата палива автобусом при роботі його двигуна на холостому ході (фази I та V циклу) $Q_{хх}$ визначається з рівняння годинної витрати палива (2.4) за умови заданого часу роботи двигуна на х.х.:

$$Q_{хх} = k_{хх} \cdot \left(a_Q \cdot \omega_{хх}{}^2 + b_Q \cdot \omega_{хх} + c_Q\right) \cdot \frac{\tau_{хх}}{3600}, \quad (18)$$

де $\omega_{хх}$ – частота обертання холостого ходу двигуна, рад/с;
$\tau_{хх}$ – час роботи двигуна на холостому ході, с;
$k_{хх}$ – коефіцієнт корекції. [12]

У режимах сповільнення автобуса (фаза IV циклу) при гальмуванні (двигуном, чи робочою гальмівною системою) витрата палива прийнята, як при роботі двигуна в режимі холостого ходу, адже на сучасних системах живлення дизеля подача палива в режимах примусового холостого ходу до певної частоти обертання колінчатого валу (1000 – 1600 хв$^{-1}$ в залежності від виду двигуна) та швидкості руху автобуса відсутня, а в подальшому- близька до витрати палива на холостому ході і визначається секундною витратою палива з у рахуванням часу гальмування автобуса на і-й ділянці маршруту $\tau_{гі}$.

$$Q_{гі} = k_{хх} \cdot \left(a_Q \cdot \omega_{хх}{}^2 + b_Q \cdot \omega_{хх} + c_Q\right) \cdot \frac{\tau_{гі}}{3600}, \quad (19)$$

де $\tau_{гі}$ – час гальмування, с;

Час гальмування $\tau_{гі}$ визначається за залежністю:

$$\tau_{гі} = \frac{V_п - V_к}{j_{сп}}. \quad (20)$$

Остаточно, витрата палива при виконанні автобусом запропонованого їздового циклу, є сумою витрат палива на *i*-х ділянках їздового циклу, кг:

$$Q_\Sigma = \sum Q_i. \quad (21)$$

Для приведення витрати дизельного палива з кілограм у літри використовується залежніть:

$$Q = \frac{Q_\Sigma}{\rho_д}, \quad (22)$$

де $\rho_д$ – густина дизельного палива, кг/л

Для порівняння витрати палива автобусів з різними повними масами, різною пасажиромісткістю було запропоновано визначати витрату палива на одного пасажира, за залежністю, л/100 км:

$$Q_П = \frac{Q}{n}, \quad (23)$$

де n – кількість пасажирів при повному завантаженні, чол.

Час руху на кожній ділянці циклу складається з суми часу руху на кожній фазі циклу, с:

$$\tau_i = \tau_{рі} + \tau_{уі} + \tau_{гі} + \tau_{ххі}. \quad (24)$$

Остаточно, час виконання автобусом запропонованого їздового циклу, є сумою часу руху на його *i*-х ділянках їздового циклу, с:

$$\tau_\Sigma = \sum \tau_i. \quad (25)$$

Середня швидкість руху на кожній ділянці маршруту визначається, як, м/с:

$$V_{ср} = \frac{S_s}{\tau_i}. \quad (26)$$

Середня швидкість руху у запропонованому їздовому циклі, м/с:

$$V_{ср} = \frac{S}{\tau_\Sigma}. \quad (27)$$

Висновки.

В результаті проведених досліджень, запропоновано моделювати рух автобуса на маршруті метробуса «вул. Милославська – ст. метро «Почайна» з використанням їздового циклу, в якому кожна ділянка маршруту імітується за допомогою ділянки їздового циклу одного з двох типів та включає в себе різні фази руху. Визначено залежності для розрахунку та характеристики кожної фази руху запропонованого їздового циклу. В подальшому приведена методика, а також математична модель побудована на її основі, буде використовуватись для вибору та обґрунтування типу рухомого складу, що буде експлуатуватися на маршруті метробуса, а також його параметрів та режимів руху.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Троєщині запропонували проект Метробусу [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://kievinform.com/archives/1979

2. Сахно В.П. До вибору маршруту руху метробуса в місті Києві / В.П. Сахно, А.О. Корпач, О.А. Корпач // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2021. – Вип. 1 (48). – С. 315-325.

3. Сахно В.П. Шляхи поліпшення маневреності метробуса / В.П. Сахно, І.С. Мурований, В.В. Стельмащук, В.П. Онищук, О.Є. Омельницький // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцький НТУ, 2018. – No2. – С.122-133.

4. Сахно В.П. Маневреність метробусів / В.П. Сахно, В.В. Біліченко, В.М. Поляков, О.Є. Омельницький // Вісник машинобудування та транспорту. – 2018. – № 2. – С. 106-118.

5. Сахно В.П. Вплив конструктивних і експлуатаційних факторів на показники маневреності метробуса / В.П. Сахно, В.М. Поляков, С.М. Шарай, О.Є. Омельницький // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія : Технічні науки. – 2018. – № 2. – С. 144-151.

6. Сахно В. П. До питання вибору рухомого складу в системі BRT / В. П. Сахно, В. М. Поляков, С. М. Шарай, Д. М. Ященко // Технічна інженерія. – Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. – Вип. 2(86). – С. 24–33. https://doi.org/10.26642/ten-2020-2(86)-24-33.

7. Imam R. Energy Consumption and Environmental Impacts of Bus Rapid Transit (BRT) Systems / R. Imam, A. Jamrah // Jordan Journal of Civil Engineering. – 2012. – Volume 6, № 3. – P. 328-339.

8. Dreier D. The influence of passenger load, driving cycle, fuel price and different types of buses on the cost of transport service in the BRT system in Curitiba, Brazil / D. Dreier, S. Silveira, D. Khatiwada, K. Fonseca, R. Nieweglowski, R. Schepanski // Transportation. – Springer, 2019. – № 46(6). – P. 2195–2242.

9. Литвинов А.С. Автомобиль: теория эксплуатационных свойств / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1989. – 237 с.

10. Сахно В.П. Математична модель для визначення тягово-швидкісних властивостей автомобіля при використанні двигунів різної потужності. / Сахно В.П., Корпач О.А. //Управління проектами, системний аналіз і логістика. – К.: НТУ – 2012. – Вип. 9. – С. 165 – 171.

11. Сахно В.П. Математична модель для визначення показників паливної економічності автомобіля з двигунами різної потужності при виконанні міського їздового циклу. / В.П. Сахно, О.А. Корпач // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2012. – Випуск 25. – С. 193 – 196.

12. Сахно В.П. Уточнена математична модель для визначення показників паливної економічності автомобіля з двигунами різної потужності при виконанні міського їздового циклу / В.П. Сахно, О.А. Корпач // Вісник СевНТУ: зб. Наук. пр. Вип. 142/2013. Серія:Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, 2013. – С. 48 – 51.

REFERENCES

1. Troieshchyni zaproponuvaly proekt Metrobusu [Troieshchyna region offered metrobus project]. Retrieved from https://kievinform.com/archives/1979 [in Ukrainian].

2. Sakhno, V.P., Korpach, A.O., Korpach, O.A. (2021). Do vyboru marshruta metrobusa u misti Kyievi [Metrobus route selection in Kyiv]. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriia «Tekhnichni nauky». Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk – The National Transport University Bulletin: A Scientific and Technical Journal, 1(48), 315-325 [in Ukrainian].

3. Sakhno, V.P., Murovanyi, I. S., Stelmashchuk, V. V., Onyshchuk, V. P., & Omelnytskyi O.Y. (2018). Shliakhy polipshennia manevrenosti metrobusa [Ways to improve metrobus maneuverability]. Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti – Modern technologies in mechanical engineering and transport., 2, 122-133[in Ukrainian].

4. Sakhno, V.P., Bilichenko, V.V., Polyakov, V.M., & Omelnytskyi O.Y. (2018). Manevrenist metrobusiv [Manoeuvrability of metrobuses]. Visnyk mashynobuduvannia ta transportu – Journal of Mechanical Engineering and Transport, 2, 106-118 [in Ukrainian].

5. Sakhno, V.P., Sharai, S.M., Polyakov, V.M., & Omelnytskyi O.Y. (2018).Vplyv konstruktyvnykh i ekspluatatsiinykh faktoriv na pokaznyky manevrenosti metrobusa The influence of constructional and operational factors on indicators of maneuverability of the metrobus]. Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriia : Tekhnichni nauky – The Journal of Zhytomyr State Technological University / Engineering, 2, 144-151 [in Ukrainian].

6. Sakhno, V. P., Poliakov, V. M., Sharai, S. M., & Yashchenko, D. M. (2020). Do pytannia vyboru rukhomoho skladu v systemi BRT [Revising the question of the choice of the rolling stock in the BRT system]. Tekhnichna inzheneriia – Technical Engineering, 2(86), 24–33[in Ukrainian].

7. Imam, R., & Jamrah, A. (2012). Energy consumption and environmental impacts of Bus Rapid Transit (BRT) systems. Jordan Journal of Civil Engineering, 6(3), 328-339 [in English].

8. Dreier, D., Silveira, S., Khatiwada, D., Fonseca, K. V., Nieweglowski, R., & Schepanski, R. (2019). The influence of passenger load, driving cycle, fuel price and different types of buses on the cost of transport service in the BRT system in Curitiba, Brazil. Transportation, 46(6), 2195-2242 [in English].

9. Lytvynov, A. S., & Farobyn, Ya. E. (1989). Avtomobyl: Teoryia ekspluatatsionnyih svoistv [Car: Theory of operational properties]. Moscow.: Mashynostroenye [in Russian].

10. Sakhno, V. P., & Korpach, O. A. (2012). Matematychna model dlia vyznachennia tiahovo-shvydkisnykh vlastyvostei avtomobilia pry vykorystanni dvyhuniv riznoi potuzhnosti [Mathematical model for determining vehicle traction-speed properties using engines with different power]. Upravlinnia proektamy, systemnyi analiz i lohistyka. Tekhnichna seriia – The National Transport University journal of Projects Management, System Analysis and Logistics, 9, 165-171 [in Ukrainian].

11. Sakhno, V. P., & Korpach, O. A. (2012). Matematychna model dlia vyznachennia pokaznykiv palyvnoi ekonomichnosti avtomobilia z dvyhunamy riznoi potuzhnosti pry vykonanni miskoho yizdovoho tsyklu [Mathematical model for determining vehicle fuel efficiency with engines of different power during the urban driving cycle]. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu – The National Transport University Bulletin, 25, 193-196 [in Ukrainian].

12. Sakhno, V. P., & Korpach, O. A. (2013). Utochnena matematychna model dlia vyznachennia pokaznykiv palyvnoi ekonomichnosti avtomobilia z dvyhunamy riznoi potuzhnosti pry vykonanni miskoho yizdovoho tsyklu [Refined mathematical model for determining vehicle fuel efficiency with engines of different power during the urban driving cycle]. Visnyk SevNTU. Ser.: Mashynopryladobuduvannia ta transport – The Sevastopol National Technical University Bulletin. Series: Mechanical engineering and transport, 142, 48-51 [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Сахно В.П. Моделювання руху автобуса на маршруті метробуса / В.П. Сахно, А.О. Корпач, О.А. Корпач // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

В статті запропоновано моделювати рух автобуса на маршруті метробуса з використанням їздових циклів, що його імітують.

Об’єкт дослідження – тягово-швидкісні властивості та паливна економічність автобуса.

Мета роботи – моделювання руху автобуса на маршруті метробуса з використанням їздових циклів, що його імітують.

Метод дослідження – аналітичній, математичне моделювання.

Для оцінки ефективності функціонування системи метробуса, вибору та обґрунтування його рухомого складу, доцільно використовувати математичне моделювання, яке дозволяє на етапі проектування визначати основі експлуатаційні властивості окремих автобусів та параметри системи в цілому.

Моделювання руху автобуса на маршруті метробуса запропоновано здійснювати шляхом використання їздового циклу, який найбільш повно відображає реальні експлуатаційні умови. Він складається із послідовних ділянок, які включають розгін, рух із сталою швидкістю, сповільнення і роботу двигуна в режимі мінімальної частоти обертання холостого ходу.

За основу було обрано машрут метробуса «вул. Милославська – ст. метро «Почайна», що налічує 13 зупинок та 12 ділянок маршруту між ними. Кожна ділянка маршруту імітується за допомогою ділянки їздового циклу одного з двох типів та включає п’ять різних фаз руху.

Запропонований їздовий цикл та математична модель побудована на його основі дозволяє визначати показники тягово-швидкісних властивостей та паливної економічності, зокрема, час руху, середню швидкість та витрату палива автобуса на маршруті метробуса.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МЕТРОБУС, ШВИДКІСНИЙ АВТОБУС, ЇЗДОВИЙ ЦИКЛ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ТЯГОВО-ШВИДКІСНІ ВЛАСТИВОСТІ, ПАЛИВНА ЕКОНОМІЧНІСТЬ.

ABSTRACT

Sakhno V.P., Korpach A.O., Korpach O.A. Modeling bus movement on metrobus route. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The paper proposes to model bus movement on metrobus route using driving cycles.

Object of the study – bus traction-speed properties and fuel efficiency.

Purpose of the study – model bus movement on metrobus route using driving cycles.

Method of the study – analytical, mathematical modeling.

Mathematical modeling can be used to assess metrobus system effectiveness, selection and justification of its rolling stock. It allows at the design stage determine performance properties of individual bus or metrobus system as a whole.

Bus movement on metrobus route was proposed to model by using driving cycle, which reflects real operating conditions. It consists of successive sections, which include acceleration, movement with constant speed, braking and engine idle.

Metrobus route Miloslavska St. – Pochayna metro station was chosen. It has 13 stops and 12 section. Each section of the route is simulated using a section of driving cycle one of two types and includes five different phases of movement.

Driving cycle and mathematical model built on its basis allows to determine parameters of bus traction-speed properties and fuel efficiency (travel time, average speed and fuel consumption).

KEYWORDS: METROBUS, BUS RAPID TRANSIT, DRIVING CYCLE, MATHEMATICAL MODEL, TRACTION-SPEED PROPERTIES, FUEL EFFICIENCY.

АВТОРИ:

Сахно Владимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, e-mail: svp_40@ukr.net, тел. +380442804252, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1. к.301, orcid.org/0000-0002-5144-7131

Корпач Анатолій Олександрович, кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри двигунів і теплотехніки, e-mail: akorpach@ukr.net, тел. +380442804716, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1. к.303, orcid.org/0000-0002-7070-7883

Корпач Олексій Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри автомобілів, e-mail: korpach1988@gmail.com, тел. +380442804252, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1. к.306, orcid.org/0000-0002-2496-4395.

AUTHORS:

Sakhno Volodymyr P., Ph.D, Engineering (Dr.), professor, National Transport University, head of department of automobiles, e-mail: svp_40@ukr.net, tel. +380442804252, Ukraine, 01010, Kyiv, Mykhaila Omelianovycha – Pavlenka Str. 1, of. 301, orcid.org/0000-0002-5144-7131

Korpach Anatolii O., Ph.D., professor, National Transport University, professor department of engines and heating engineering, e-mail: akorpach@ukr.net, tel. +380442804716,Ukraine, 01010, Kyiv, Mykhaila Omelianovycha – Pavlenka Str. 1, of. 303, orcid.org/0000-0002-7070-7883

Korpach Oleksii A., Ph.D., associate professor, National Transport University, associate professor department of automobiles, e-mail: korpach1988@gmail.com, тел. +380442804252, Ukraine, 01010, Kyiv, Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka Str. 1, of. 306, orcid.org/0000-0002-2496-4395.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Кравченко О.П., доктор технічних наук, професор, Державний університет «Житомирська політехніка», завідувач кафедри автомобілів і транспортних технологій, Житомир, Україна.

Матейчик В.П., доктор технічних наук, професор, Національний траспортний університет, декан автомеханічного факультету, Київ, Україна.

REVIEWER:

Kravchenko O.P., Ph.D, Engineering (Dr.), professor, Zhytomyr Polytechnic State University, head of the department of automobiles and transport technologies, Zhytomyr, Ukraine.

Mateichyk V.P., Ph.D, Engineering (Dr.), professor, National Transport University, dean of the faculty of automotive and mechanical engineering, Kyiv, Ukraine.

УДК 625.7/.8
UDC 625.7/.8
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-352-362

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ПОПЕРЕЧНОГО ДРЕНАЖУ МІЛКОГО ЗАКЛАДАННЯ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

Славінська О.С., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, elenaslavin9@gmail.com, orcid.org/0000-0002-9709-0078

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

Онищенко А.М., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1040-4530

Усиченко О.Ю., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, fbbk@ukr.net, orcid.org//0000-0002-7482-8420

Стьожка В.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, styozhka@ukr.net, orcid.org/ 0000-0002-5039-9852

IMPROVEMENT OF THE CALCULATION METHOD TRANSVERSE SHALLOW DRAINAGE ON HIGHWAYS

Slavinska O.S., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, elenaslavin9@gmail.com, orcid.org/0000-0002-9709-0078

Bubela A.V., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, bubelaandrey@ukr.net, orcid. org//0000-0002-5619-003X

Onyshchenko A.M., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1040-4530

Usychenko O.Y., PhD of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, fbbk@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7482-8420

Stozhka V.V., PhD of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, styozhka@ukr.net, orcid.org/ 0000-0002-5039-9852

Постановка проблеми.

Автомобільні дороги призначені для безпечного, зручного та комфортного руху транспортних засобів. Мережа автомобільних доріг є важливим елементом транспортної інфраструктури, що забезпечує, в тому числі, і обороноздатність країни. Враховуючи, що витрати на проектування, будівництво та експлуатаційне утримання мережі доріг складають значну частину національного бюджету, важливим питанням залишається гарантування достатньої міцності та експлуатаційної надійності дорожньої конструкцій на стадії будівництва та експлуатації. У процесі експлуатації автомобільних доріг порушується цілісність покриття та узбіч, що обумовлено постійним впливом атмосферних опадів, ґрунтових вод та температурних коливань, особливо на перезволожених ділянках, в результаті чого відбувається розвиток деформацій та руйнувань дорожньої конструкції. Теорія та методи регулювання водно-теплового режиму дорожньої конструкції, який впливає на її транспортно-експлуатаційний стан, потребують суттєвого розвитку в зв'язку з дією багаторазових навантажень, особливо від великовагових транспортних засобів, з наявністю надлишкової води у весняний період та під час відлиг. Дослідники відмічають, що стійкість насипу має вирішальне значення при будівництві доріг [1]. Основним засобом збору та відведення надлишкової вологи є влаштування дорожніх дренажних систем. Вони повинні проектуватися із умов ефективної роботи протягом усього терміну служби дорожньої конструкції. Недосконаліть існуючих методів розрахунку параметрів дренажів мілкого закладання призводить до того, що у практиці використовують підходи, переважно засновані на формулах емпіричного характеру. Запропоновані формули досить обмежені, мають низьку ступінь точності, далеко не завжди відповідають сучасним вимогам проектування дренажних споруд. Деякі з них, покладені за основу методик для розрахунку дренажних конструкцій, мають порівняно вузький діапазон зміни проектних параметрів, що не відповідає складному процесу міграції вологи, який відбувається в шарах основи дорожнього одягу. Прийняття невдалих проектних рішень щодо параметрів та конструкцій дренажних систем може

спричинити як передчасне погіршення транспортно-експлуатаційного стану ділянок доріг, так і руйнування дорожнього одягу, що вимагатиме проведення тривалих ремонтних робіт аж до повної заміни конструкції дорожнього одягу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В багатьох наукових розробках вчених країн Європи, Азії приділяється увага проведенню моніторингу міського стоку, оптимізації дренажної мережі [2], особливо в штормових умовах, новим підходам удосконалення мережі поверхневого водовідводу, розробці системи прогнозування повені (FES) [3]. Сучасні нормативні вимоги, з урахуванням Eurocodes, щодо планування, проектування, експлуатації та технічного обслуговування дренажних та каналізаційних мереж великих міст, зокрема Гонконгу, для зливонебезпечних умов, а також заходи щодо зменшення наслідків паводків у сільській місцевості наведені в роботі [4]. Однією з найважливіших проблем функціонування дренажних систем є екологічні аспекти, обумовлені блокуванням відходами будівельного, сільськогосподарського виробництва [4], забрудненням міської води [5]. Основним напрямком цих досліджень є визначення ефективності використання стійких дренажних конструкцій міста (SuDS) при проведені заходів на зменшення забруднення поверхневих вод, які містять тверді речовини, важкі метали [5].

Новий підхід системи збирання дощової води для доріг місцевого значення на ділянках примикань до головної дороги представлено на експериментальній установці в роботі [6], де проводилися спостереження за підкритичними і надкритичними режимами течії поверхневих вод. Проблемам проектування, будівництва та експлуатації дренажних систем, поверхневому водовідводу на автомобільних дорогах загального користування присвячені роботи [7, 8]. Аналіз, спрямований на дослідження впливу водовідведення з поверхні автомобільної дороги на витрати з її утримання наведено в роботі [7], де було визначено, що неврахування ефективних дренажних систем при проектуванні та будівництві автомобільних доріг, як правило, призводять до високої вартості їх експлуатації та утримання. Ідеальна дорожня інфраструктура має низькі витрати на обслуговування та кращі експлуатаційні характеристики доріг і дренажних систем. Невідповідна система технічного обслуговування між дорогами та водовідведенням є головною причиною виникнення збільшення витрат на обслуговування доріг. Представлені настанови [8] дозволяють, на основі гідравлічних розрахунків, прийняти інженерні рішення щодо підбору параметрів та конструкцій дренажних систем. Вітчизняні методичні рекомендації [9] обумовлюють розроблення заходів з регулювання водно-теплового режиму робочого шару земляного полотна автомобільних доріг при новому будівництві та виконанні ремонтних робіт. Важливим також є проведення аналізу даних натурних спостережень за дослідними ділянками автомобільних доріг України [10], на підставі чого було розглянуто вплив зміни товщини дренувального шару на загальний модуль пружності дорожнього одягу.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Джерела зволоження ґрунту земляного полотна поділяються на активні та пасивні. Активними є атмосферні опади, які інфільтруються через неукріплені укоси та узбіччя земляного полотна а також через тріщини та пори шарів дорожніх одягів. Навіть новопобудовані покриття, як правило, не є повністю водонепроникними, не говорячи вже про ті, які експлуатувалися тривалий час.

Задача влаштування дренажних конструкцій – зібрати та відвести воду в будь-якому місці під шарами дорожнього одягу, особливо в найбільш несприятливий період водно-теплового режиму, тобто в період максимального надмірного зволоження. Дослідженнями та аналізом випадків, і причин виникнення руйнувань дорожніх одягів внаслідок інфільтраційного перезволоження [11] встановлено необхідність влаштування дренажних систем в усіх дорожньо-кліматичних зонах України на характерних ділянках доріг: у виїмках, нульових відмітках, невисоких насипах, угнутих в поздовжньому профілі та з поздовжнім похилом більшим за поперечний. Дренажі мілкого закладання використовуються в межах активної зони земляного полотна. Серед переваг в роботі [11] відмічено порівняно невелику будівельну вартість, високий рівень механізації робіт щодо їх влаштування, тривалий термін служби та ефективне зменшення вологості ґрунту земляного полотна, що призводить до підвищення його експлуатаційних характеристик. Основною із проектних характеристик поперечних дренажів мілкого закладання є відстань між дренажними прорізями, яка обумовлює час водовідведення та витрати на влаштування дренажних конструкцій.

Однією з основних задач при проектуванні дренувального шару є визначення його товщини. Товщина дренувального шару напряму залежить від притоку вологи. Максимальне значення притоку вологи обумовлює товщину дренувального шару виходячи із здатності матеріалу поглинати та відводити воду. Волога надходить внаслідок зимового вологонакопичення при відтаванні дорожньої конструкції з одночасною інфільтрацією додаткової вологи від атмосферних опадів. Найбільш небезпечним періодом вважається весняний період після початку відтавання ґрунту. Додатково слід враховувати можливе пікове навантаження в результаті проходження злив або зливових дощів високої інтенсивності. Волога, що накопичується дренувальним шаром, поступово відводиться за рахунок поперечного похилу дренувального шару. При наявності поздовжніх похилів, що перевищують поперечні слід забезпечити перехоплення та відведення фільтраційного потоку за допомогою поперечного дренажу.

При проектуванні автомобільних доріг і системи їх експлуатації враховуються особливості мікроклімату, який формується під впливом місцевих природних умов. Оскільки визначальним параметром при проектуванні дренажної конструкції є наявність вологи, вихідними даними для розрахунку є розрахунок питомого надлишку води, що надходить в дренажну систему. За наявних розрахункових методик існує проблема точного врахування кліматичних параметрів району будівництва із-за трудоємкості статистичної обробки масивів метеорологічних величин та використання таблиць довідникових даних. Розрахунки заходів регулювання водно-теплового режиму потребують визначення специфічних метеорологічних характеристик та спеціалізованої їх розробки. Для вирішення питань отримання розрахункових характеристик колективом авторів кафедри транспортного будівництва та управління майном в межах виконання госпдоговірної тематики на замовлення Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) було розроблено Довідник [12], який містить повний набір таблиць кліматологічної інформації для всієї території України та алгоритми користування довідниковими даними. Автоматизація проведення розрахунків кліматологічних показників забезпечується удосконаленою розрахунково-аналітичною системою (РАС) «ВТР», що спрощує користування довідниковими даними та дає можливість до варіантного проектування. На рисунку 1 наведено вікна РАС з отриманими значеннями, що є вихідними для розрахунку дренажних конструкцій.

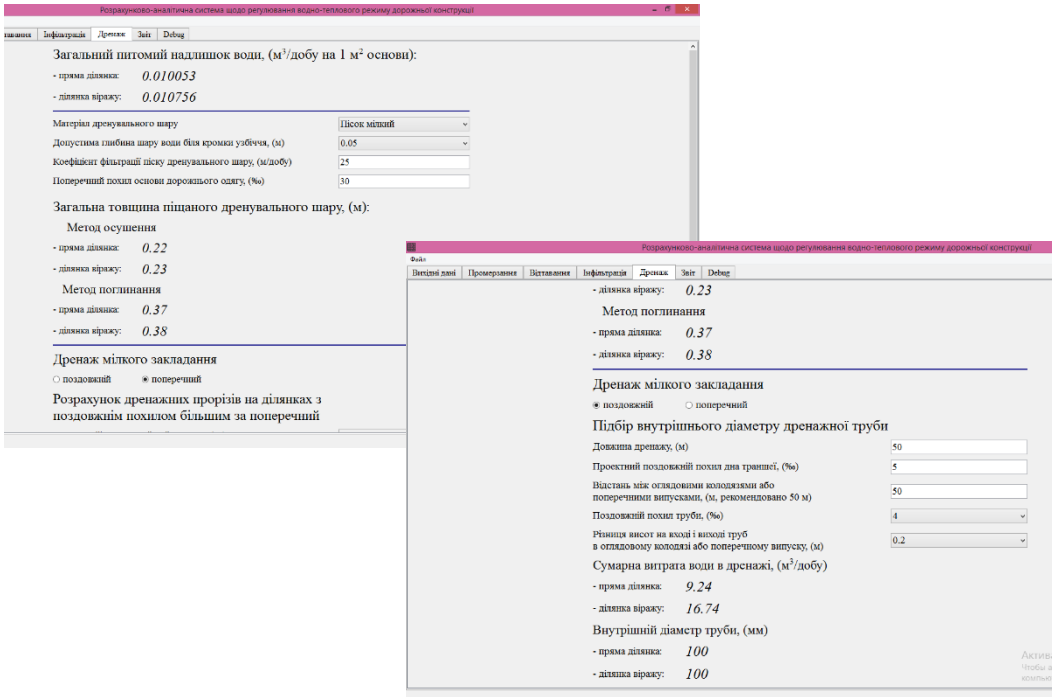


Рисунок 1 – Вікна РАС «ВТР» з результатами розрахунку загального питомого надлишку води та параметрів площинного дренажу

Figure 1 – Windows RAS «VTR» – the water total specific excess calculation results and the planar drainage parameters

Поряд з існуючими науковими розробками за наявними та нормативними документами з конструювання дренажних систем авторами встановлено необхідність в удосконаленні та уточненні методу розрахунку відстані між поперечними дренажними прорізями. В результаті застосування розрахункового методу О.В. Тулаєва, який прийнятий за основу в [13] було виконано ряд розрахунків та встановлено певну неадекватність отриманих результатів.

Відповідно до [13] відстань між дренажними прорізями визначається як, м:

$$l = \frac{2h_{max}\gamma}{\gamma^2 - \left(\frac{i_1}{2}\right)^2} \quad , \tag{1}$$

де h_{max} – максимальна глибина фільтраційного потоку, м;

i_1 – поздовжній похил проїзної частини, ‰;

γ – безрозмірна величина, що дорівнює:

$$\gamma = \sqrt{2 \times Q_p \times K_ф}, \tag{2}$$

де Q_p – розрахунковий питомий надлишок води, м^3/добу на 1 м^2;

$K_ф$ – коефіцієнт фільтрації, м/добу.

Відповідно для різних вихідних даних отримані значення відстані до 3 м, разом з тим в практиці дорожнього будівництва загальноприйнятними є значення від 50 метрів.

Для розроблення удосконаленого методу розрахунку відстані між поперечними дренажними прорізями із забезпеченням достатньої водопропускної спроможності [14] за основу було прийняте основне диференційне рівняння нерівномірного плавнозмінного руху рідини у відкритих руслах [15]:

$$i = \frac{d}{dl}\left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right) + i_t, \tag{3}$$

де i – похил вільної поверхні потоку:

$$i = -\frac{dz}{dl}; \tag{4}$$

l – довжина ділянки потоку, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2;

α – коефіцієнт кількості руху потоку, який фізично виражає відношення дійсної кількості руху, підрахованого за місцевими швидкостями до руху, який підраховано за середньою швидкістю за одиницю часу;

i_t – похил тертя.

Виразивши похил поверхні i через похил дна русла i_o та похідну від глибини h за відстанню l (3) отримано у вигляді:

$$\frac{dh}{dl} = \frac{i_o - \frac{Q^2}{K^2}\left(1 - \frac{\alpha C^2 R d\omega}{g\omega \ dl}\right)}{1 - \frac{\alpha Q^2 \ B}{g \ \ \omega^3}}, \tag{5}$$

де Q – загальна витрата потоку;

K – витратна характеристика, що відповідає глибині потоку h при нерівномірному русі, м^3/с;

C – коефіцієнт Шезі;

R – гідравлічний радіус потоку, м;

ω – площа живого перетину потоку, м^2;

B – ширина потоку, м.

З урахуванням припущення, що коефіцієнт кількості руху потоку α –постійна величина, не залежить від глибини, $\frac{d\omega}{dl} = 0$ отримано модифікації основного диференційного рівняння руслового потоку (5) для ділянок русла з прямим, зворотнім похилом дна та з горизонтальним дном.

На основі отриманих модифікацій в результаті дослідження форм кривих вільної поверхні ґрунтового потоку, кривих депресії (рисунок 2), прийнявши спрощення щодо похилу депресивної кривої фільтраційного потоку в дренувальному шарі, заміною характеристик для відкритого русла на

відповідні параметри фільтраційного потоку та вираженням швидкості течії фільтраційного потоку через витрату отримано:

$$I_{cep} = \frac{i_o - \frac{q_p^2 l^2}{K_\phi^2 \Delta h^2}}{1 - \frac{\alpha q_p^2 l^2}{g\varepsilon^2 p^2 \Delta h^2}}. \quad (6)$$

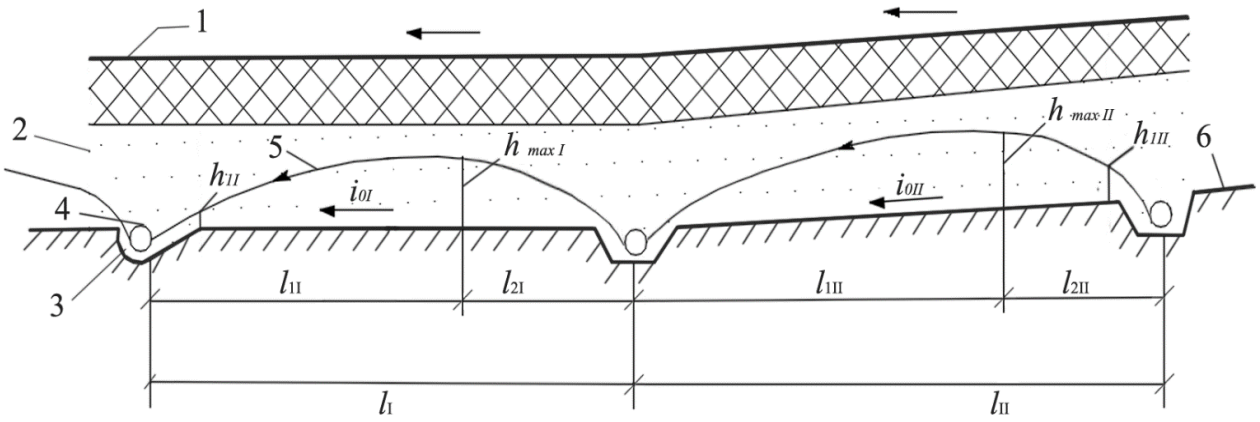


Рисунок 2 – Формування міграції води в дренувальному шарі на ділянці з поздовжнім похилом більшим за поперечний: *1* – покриття; *2* – основа; *3* – дренажна траншея; *4* – дренажна труба; *5* – крива депресії; *6* – земляне полотно

Figure 2 – Drainage layer water migration formation in the area with a longitudinal gradient greater than the transverse: 1 – pavement; 2 – base; 3 – drainage trench; 4 – drainage pipe; 5 – depression curve; 6 – subgrade

Після перетворення рівняння (6), ґрунтуючись на методі В.І. Чарномського, який заснований на числовому інтегруванні рівняння (3) в енергетичній формі [14], отримані рівняння для визначення максимальних відстаней зон формування фільтраційного потоку між дренажними прорізями:

- на ділянці дороги з прямим (поздовжнім) похилом ($i_o>0$)

$$l_{12} = \sqrt{\frac{i_o - I_{cep} - \frac{q_p^2}{2K_\phi^2 (h_{max\,1} - h_{11})^2} l_{21}^2}{\frac{q_p^2}{(h_{max\,1} - h_{21})^2}\left(\frac{1}{2K_\phi^2} - \frac{\alpha I_{cep}}{g\varepsilon^2 p^2}\right)}}; \quad (7)$$

- на ділянці дороги зі зворотнім похилом ($i_o<0$)

$$l_{21} = \sqrt{\frac{|i_o| + I_{cep} + \frac{q_p^2}{2K_\phi^2 (h_{max\,2} - h_{22})^2} l_{12}^2}{\frac{q_p^2}{(h_{max\,2} - h_{12})^2}\left(\frac{\alpha I_{cep}}{g\varepsilon^2 p^2} - \frac{1}{2K_\phi^2}\right)}}; \quad (8)$$

Загальна відстань між дренажними прорізями

$$L_n = l_{12} + l_{21}; \quad (9)$$

- на ділянці від верхньої дрени до нижньої дрени, що влаштована в місці перелому поздовжнього профілю:

$$L_1 = \sqrt{\frac{|i_{o1}|+I_{cep}}{\frac{q_p^2}{(h_{max\,1}-h_1)^2}\left(\frac{\alpha I_{cep}}{g\varepsilon^2 p^2}-\frac{1}{K_\phi^2}\right)}} + \sqrt{\frac{i_{o1}-I_{cep}-\frac{q_p^2}{2K_\phi^2}\frac{l_{21}^2}{(h_{max\,1}-h_{11})^2}}{\frac{q_p^2}{(h_{max\,1}-h_{21})^2}\left(\frac{1}{2K_\phi^2}-\frac{\alpha I_{cep}}{g\varepsilon^2 p^2}\right)}}; \quad (10)$$

- на ділянці від дрени, що влаштована в місці перелому поздовжнього профілю, до нижньої від неї дрени:

$$L_2 = \sqrt{\frac{i_{o2}-I_{cep}}{\frac{q_p^2}{(h_{max\,2}-h_{12})^2}\left(\frac{1}{K_\phi^2}-\frac{\alpha I_{cep}}{g\varepsilon^2 p^2}\right)}} + \sqrt{\frac{|i_{o2}|+I_{cep}+\frac{q_p^2}{2K_\phi^2}\frac{l_{12}^2}{(h_{max\,2}-h_{22})^2}}{\frac{q_p^2}{(h_{max\,2}-h_{12})^2}\left(\frac{\alpha I_{cep}}{g\varepsilon^2 p^2}-\frac{1}{2K_\phi^2}\right)}}. \quad (11)$$

На основі розробленого методу і отриманих залежностей сформовано методику визначення відстані між поперечними дренажними прорізями в дренажах мілкого закладання. Методика включає такі етапи розрахунку:

1. Визначення нормальної глибини фільтраційного потоку: $h_0 = \frac{q_p}{K_\phi i_0}$.

2. Глибина на вході в дренажну прорізь задається як $h_i = 0$ м. Розрахунок максимальної глибини фільтраційного потоку

$$h_{max} = \frac{q_p}{K_\phi\left(-i_0\frac{-(I_{cep})}{2}\right)_{max}}, \quad (12)$$

при цьому повинна виконуватись умова $h_{max}<h_0$.

3. Визначення початкових відстаней зон формування фільтраційного потоку між дренажними прорізями (рис. 2):

- для $i_0>0$ $l_{12} = \frac{h_0}{i_0}\left(-\frac{h_{max}}{h_0\,ln\frac{1}{1-\frac{h_{max}}{h_0}}}\right)$; (13)
- для $i_0<0$ $l_{21} = \frac{h_0}{|i_0|}\left(\frac{h_{max}}{h_0}+ln\frac{1}{\frac{h_{max}}{h_0}+1}\right)$; (14)
- для $i_0 = 0$ визначають, як загальну відстань $L_{1-2} = \frac{K_\phi h_{max}^2}{2q_p}$. (15)

-

4. Визначення глибини на вході в дренажну прорізь:

$$h_i = \sqrt[3]{\frac{\alpha q_p^2 l_i^2}{gp^2\varepsilon^2}}. \quad (16)$$

5. Визначення максимальних відстаней зон формування фільтраційного потоку між дренажними прорізями на ділянці дороги з прямим (поздовжнім) похилом $i_o>0$ за (7), на ділянці дороги зі зворотнім похилом $i_o<0$ за (1.6), де l_{12}, l_{21} за (13, 14).

6. Визначення загальної відстані між дренажними прорізями за (9).

7. Визначення загальної відстані між дренажними прорізями для ділянок доріг з переломом поздовжнього профілю або для увігнутих ділянок за (10, 11).

За запропонованою методикою виконано розрахунки для умов І-ї дорожньо-кліматичної зони України. Значення загального питомого надлишку води, що надходить в дренажну конструкцію прийнято відповідно до [12]. У якості дренуючого матеріалу для площинного дренажу прийнятий пісок із значенням коефіцієнта фільтрації 4,5 та 6 м/добу. Результати розрахунку наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунку відстані між дренажними прорізями за запропонованим методом.

Table 1 – The calculating results of the distance between the drainage slots according to the proposed method.

Похил ділянки	Мінімальна відстань між дренажними прорізями, м L_{min}	Максимальна відстань між дренажними прорізями, м L_{max}	Час водовідведення, діб T	Відстань між дренажними прорізями для ділянки зі змінним похилом, м $L_{змін\ пох}$	Відстань між дренажними прорізями за методом О.Я. Тулаєва, м $L_т$
Коефіцієнт фільтрації, Кф=4,5 м/добу					
0,035	4,89	19,94	0,59	11,81	2,92
0,04	4,62	15,37	0,54	11,17	2,95
Коефіцієнт фільтрації, Кф=6 м/добу					
0,035	4,89	15,55	0,34	11,81	3,41
0,04	4,62	11,55	0,23	11,17	3,45

За запропонованим методом розрахунку та відповідною методикою розраховані мінімальне та максимальне значення відстані між дренажними прорізями для різних значень поздовжнього похилу ділянки автомобільної дороги. Отримані значення в межах від 11 до 19 метрів. Ці значення є меншими, за прийняті в практиці будівництва на теперішній час, що свідчить про необхідність коригування та уточненого встановлення вищенаведеного параметру в проектах будівництва автомобільних доріг.

Висновок

Аналізом існуючих розрахункових методів та з урахуванням важливості проектування дренажних конструкцій достатньої пропускної здатності для забезпечення стійкості дорожньої конструкції протягом терміну служби встановлено необхідність щодо розроблення удосконаленого методу розрахунку відстані між дренажними прорізями. Метод розрахунку, розроблений на підставі моделі безнапірного нестаціонарного руху води у пористому середовищі, враховує загальну величину надходження вологи до шарів дорожнього одягу та в ґрунт земляного полотна, дає можливість визначити відстані між дренажними прорізями для ділянок з прямим та зворотним похилом в різних кліматичних зонах України на автомобільних дорогах різних технічних категорій. Використання вищенаведеного методу дозволяє конструювати стійкі та економічні дорожні конструкції за рахунок регулювання водно-теплового режиму робочого шару земляного полотна.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Rufaizal Che Mamat, Anuar Kasa, Siti Fatin Mohd Razali. A review of road embankment stability on soft ground: problems and future perspective. IIUM Engineering Journal, Vol. 20, No. 2, 2019. https://doi.org/10.31436/iiumej.v20i2.996.

2. J. Yazdi, Optimization of hydrometric monitoring network in urban drainage systems using information theory[Текст], Water science and technology25 July 2016 http://wst.iwaponline.com/content/early/2017/05/06/wst.2017.226

3. Abou Rjeily, O. Abbas, M. Sadek, I. Shahrour, F. Hage ChehadeY. Flood forecasting within urban drainage systems using NARX neural network[Текст], Water science and technology7 August 2015 http://wst.iwaponline.com/content/early/2017/07/10/wst.2017.409

4. Government of the Hong Kong Special Administrative Region, Stormwater drainage manual(with Eurocodes incorporated)[Текст], Planning, Design and Management Fourth Edition, May 2013 p 151. http://www.dsd.gov.hk/EN/Files/Technical_Manual/technical_manuals/Stormwater_Drainage_Manual_Eurocodes.pdf

5. D. Allen, S. ArthurH. HaynesV. Olive, Multiple rainfall event pollution transport by sustainable drainage systems: the fate of fine sediment pollution,[Текст], International Journal of Environmental Science and TechnologyMarch 2017, Volume 14, Issue 3, pp 639–652 https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-016-1177-y

6. Ş. Tiğrek, O. Sipahi Rehabilitation of storm water collection systems of urban environment using the small roads as conveyance channels[Текст], International Journal of Environmental Science and Technology, January 2012, Volume 9, Issue 1, pp 95–103 https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-011-0002-x

7. The impact of drainage towards roads inmaintenance cost. Erna Ismiyani1,Dewi Handayani, Rintis Hadiani. MATEC Web of Conferences 195, 05012, 2018. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://doi.org/10.1051/matecconf/201819505012.

8. Drainage manual, Office of design, drainage section[Текст], Tallahassee, Florida,January 2017, p.111 http://www.fdot.gov/roadway/drainage/files/drainagemanual.pdf

9. Методичні рекомендації щодо регулювання водно-теплового режиму у межах робочого шару земляного полотна автомобільних доріг (МР В 2.3-02070915-849:2014).// розроб. О.С. Славінська, В.Я. Савенко, О.Ю. Усиченко /. – К.: УКРАВТОДОР : НТУ, 2014. – 61 с. http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=59762

10. Славінська О.С., Стьожка В.В. Оптимізація інженерних рішень на прикладі порівняння варіантів конструкцій дренажів мілкого закладання // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Вип. 98 . К.:НТУ, 2016. С. – 228-237. http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/98/228-237.pdf

11. Стьожка В.В. Удосконалення методу розрахунку дренажних систем мілкого закладання : дис. на здобуття наукового ступеня к. т. н.: спеціальність: 05.22.11 – Автомобільні шляхи та аеродроми; М-во освіти і науки України, НТУ. – Київ, 2015. – 219 с. – Бібліогр. : с. 141-152.

12. Довідник № 4 Кліматичні характеристики та кліматичне районування території України для регулювання водно-теплового режиму в дорожньому будівництві; надано чинності 01.11.2018. – К. : Україна, 2018. – 98 с.

13. ДСТУ-Н Б В.2.3-41:2016 Настанова з проектування дренажних конструкцій мілкого закладання на автомобільних дорогах; надано чинності 2017-04-01. – К. : Україна, 2016. – 20 с.

14. Славінська, О.С., Бубела, А.В. Проектування оптимальних конструкцій поперечних дренажів мілкого закладання та оцінка їх впливу на транспортно-експлуатаційний стан автомобільної дороги: монографія / О.С. Славінська, А.В. Бубела. – К.: НТУ, 2020. – 268 с

15. .Большаков В.А. Справочник по гидравлике. К.: Вища школа. 1977. 278 с.

REFERENCES

1. Rufaizal Che Mamat, Anuar Kasa, Siti Fatin Mohd Razali. A review of road embankment stability on soft ground: problems and future perspective. IIUM Engineering Journal, Vol. 20, No. 2, 2019. https://doi.org/10.31436/iiumej.v20i2.996.

2. J. Yazdi, Optimization of hydrometric monitoring network in urban drainage systems using information theory[Текст], Water science and technology25 July 2016 http://wst.iwaponline.com/content/early/2017/05/06/wst.2017.226

3. Abou Rjeily, O. Abbas, M. Sadek, I. Shahrour, F. Hage ChehadeY. Flood forecasting within urban drainage systems using NARX neural network[Текст], Water science and technology7 August 2015 http://wst.iwaponline.com/content/early/2017/07/10/wst.2017.409

4. Government of the Hong Kong Special Administrative Region, Stormwater drainage manual(with Eurocodes incorporated)[Текст], Planning, Design and Management Fourth Edition, May 2013 p 151. http://www.dsd.gov.hk/EN/Files/Technical_Manual/technical_manuals/Stormwater_Drainage_Manual_Eurocodes.pdf

5. D. Allen, S. ArthurH. HaynesV. Olive, Multiple rainfall event pollution transport by sustainable drainage systems: the fate of fine sediment pollution,[Текст], International Journal of Environmental Science and TechnologyMarch 2017, Volume 14, Issue 3, pp 639–652 https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-016-1177-y

6. Ş. Tiğrek, O. Sipahi Rehabilitation of storm water collection systems of urban environment using the small roads as conveyance channels[Текст], International Journal of Environmental Science and

Technology, January 2012, Volume 9, Issue 1, pp 95–103 https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-011-0002-x

7. The impact of drainage towards roads inmaintenance cost. Erna Ismiyani1,Dewi Handayani, Rintis Hadiani. MATEC Web of Conferences 195, 05012, 2018. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://doi.org/10.1051/matecconf/201819505012.

8. Drainage manual, Office of design, drainage section[Текст], Tallahassee, Florida,January 2017, p.111 http://www.fdot.gov/roadway/drainage/files/drainagemanual.pdf

9. Metodychni rekomendatsiyi shchodo rehulyuvannya vodno-teplovoho rezhymu u mezhakh robochoho sharu zemlyanoho polotna avtomobil′nykh dorih (MR V 2.3-02070915-849:2014).// rozrob. O.S. Slavinska, V.YA. Savenko, O.YU. Usychenko /. – K.: UKRAVTODOR : NTU, 2014. – 61 s. http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=59762 [Methodical recommendations for the regulation of water-thermal regime within the working layer of the road pavement]

10. Slavinska O.S., Stozhka V.V. Optymizatsiya inzhenernykh rishen′ na prykladi porivnyannya variantiv konstruktsiy drenazhiv milkoho zakladannya // Avtomobil′ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo. Vyp. 98 . K.:NTU, 2016. S. – 228-237. http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/98/228-237.pdf. [Optimization of engineering solutions on the example of shallow drainage constructions variants comparison]

11. Stozhka V.V. Udoskonalennya metodu rozrakhunku drenazhnykh system milkoho zakladannya : dys. na zdobuttya naukovoho stupenya k. t. n.: spetsial′nist′: 05.22.11 – Avtomobil′ni shlyakhy ta aerodromy"; M-vo osvity i nauky Ukrayiny, NTU. – Kyyiv, 2015. – 219 s. – Bibliohr. : s. 141-152. [Improvement of the calculation method of shallow drainage systems: dis. for the degree of Candidate of Technical Sciences: specialty: 05.22.11 – Motorways and airfields].

12. Dovidnyk № 4 Klimatychni kharakterystyky ta klimatychne rayonuvannya terytoriyi Ukrayiny dlya rehulyuvannya vodno-teplovoho rezhymu v dorozhn′omu budivnytstvi [Handbook # 4 Climatic characteristics and climatic zoning of the territory of Ukraine for the water-thermal regime regulation in road construction].

13. DSTU-N Б В.2.3-41:2016 Nastanova z proektuvannya drenazhnykh konstruktsiy milkoho zakladannya na avtomobil′nykh dorohakh [State Standard 2016. Guidelines for the design of shallow drainage structures on highways].

14. Slavinska O.S., Bubela, A.V. Proektuvannya optymal′nykh konstruktsiy poperechnykh drenazhiv milkoho zakladannya ta otsinka yikh vplyvu na transportno-ekspluatatsiynyy stan avtomobil′noyi dorohy: monohrafiya / O.S. Slavinska, A.V. Bubela. – K.: NTU, 2020. – 268 s [Design of shallow transverse drainage optimal structures and assessment of their impact on the road transport and operational condition : a monograph]/

15. .Bolshakov V.A. Spravochnyk po hydravlyke. K.: Vyshcha shkola. 1977. 278 s [Hydraulics Handbook].

РЕФЕРАТ

Славінська О.С. Удосконалення методу розрахунку параметрів поперечного дренажу мілкого закладання на автомобільних дорогах / О.С. Славінська, А.В. Бубела, А.М. Онищенко, О.Ю. Усиченко, В.В. Стьожка // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022, – Вип. 1 (51).

Важливим аспектом забезпечення міцності та стійкості дорожньої конструкції є питання забезпечення сприятливого водно-теплового режиму земляного полотна протягом терміну служби. У статті проаналізовані результати досліджень науковців різних країн щодо питань врахування режиму зволоження та влаштування системи водовідведення на автомобільних дорогах. Одним із основних проектних параметрів поперечних дренажів мілкого закладання є відстань між дренажними прорізями. Точне визначення цього показника обумовлює ефективність відведення води з площинного дренажу та дає можливість оптимізувати витрати на влаштування дренажних конструкцій.

В представленій роботі узагальнені питання існуючого нормативного забезпечення щодо визначення розрахункових кліматологічних показників та принципів розрахунку дренажів мілкого закладання та сформульовані задачі досліджень щодо удосконалення та уточнення методу розрахунку відстані між поперечними дренажними прорізями в таких дренажах. Авторами

запропоноване нове вирішення поставлених задач. В основу розробленого методу покладене основне диференційне рівняння нерівномірного плавнозмінного руху рідини у призматичних руслах та гіпотезу В.І. Чарномського. Авторами розроблені залежності для визначення відстані між поперечними дренажними прорізями в дренажах мілкого закладання. Розроблені математичні залежності для основних параметрів поперечних дренажів мілкого закладання на характерних ділянках автомобільної дороги адекватно враховують основні фактори, що впливають на процес міграції вологи в дренувальних шарах і дозволяють в новому аспекті розв'язувати задачі регулювання водно-теплового режиму земляного полотна автомобільних доріг. Наведено результати розрахунків відстані між поперечними дренажними прорізями, згідно запропонованої методики, для умов І-ї дорожньо-кліматичної зони України, за розрахункове значення прийнятий максимальний загальний питомий надлишок води, що надходить в дренажну конструкцію, для піщаного дренувального шару із значенням коефіцієнта фільтрації 4,5 та 6 м/добу. Виконано порівняння отриманих даних з результатами розрахунків за традиційною методикою. Зроблені відповідні висновки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДРЕНАЖНА СИСТЕМА, ДРЕНУВАЛЬНИЙ ШАР, ДРЕНАЖНІ ПРОРІЗІ, ПОПЕРЕЧНИЙ ДРЕНАЖ, МІЛКОГО ЗАКЛАДАННЯ, АВТОМОБІЛЬНА ДОРОГА, ВОДНО-ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ, ЗЕМЛЯНЕ ПОЛОТНО.

ABSTRACT

Slavinska O.S., Bubela A.V., Onyshchenko A.M., Usychenko O.Y., Stozhka V.V. Improving the calculating method of the shallow transverse drainage parameters on highways. Visnyk of National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

An important aspect of the road structure strength and stability ensuring is the issue of subgrade favorable water-thermal regime providing during the service life. The article analyzes the results of research by scientists from different countries on the issues of taking into account the humidification regime and the arrangement of the drainage system on highways. One of the main design parameters of shallow transverse drainages is the distance between the drainage slots. The exact definition of this indicator determines the efficiency of water drainage from planar drainage and makes it possible to optimize the cost of drainage structures installation.

In the presented work the questions of the existing normative base on climatological indicators definition and principles of shallow drainages calculation are generalized and tasks of researches on improvement and specification of distance between cross drainage apertures calculation method in such drainages are formulated. The authors propose a new solution to the problems. The developed method is based on the basic of non-uniform smooth-motion of a fluid in prismatic channels differential equation and the hypothesis of VI Chernomsky. The authors developed dependences to determine the distance between the transverse drainage slots in shallow drainages. The developed mathematical equations for the main parameters of transverse shallow drainage on characteristic sections of the highway adequately take into account the main factors influencing the process of moisture migration in the drainage layers and allow to solve problems of water-heat regulation of roads in a new aspect. The results of calculations of the distance between the transverse drainage slots, according to the proposed method, for the conditions of the first road-climatic zone of Ukraine, the maximum total specific excess of water entering the drainage structure for the sand drainage layer with the value of filtration coefficient 4, 5 and 6 m / day are presented. The obtained data are compared with the calculation results according to the traditional method. Appropriate conclusions are made.

KEYWORDS: DRAINAGE SYSTEM, DRAINAGE LAYER, DRAINAGE SLOTS, SHALLOW TRANSVERSE DRAINAGE, ROAD, WATERWAY, SUBGRADE.

АВТОРИ:

Славінська Олена Сергіївна., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, Проректор з наукової роботи, e-mail: elenaslavin9@gmail.com, тел.: +38 (044) 280-84-48, Україна, 01010, Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, http://orcid.org/0000-0002-9709-0078

Бубела Андрій Володимирович, доктор технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail:

bubelaandrey@ukr.net, тел.: +380505535594, Україна, 01010, Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, http://orcid.org/0000-0002-5619-003X.

Онищенко Артур Миколайович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри мости і тунелі, e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, тел.: +380687771899, Україна, 01010, Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, номер ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1040-4530.

Усиченко Олена Юріївна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, fbbk@ukr.net, тел. +380442807338, +380442803942, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 138., https://orcid.org/0000-0002-7482-8420

Стьожка Віталій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, styozhka@ukr.net, тел. +380442807338, +380442803942, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 138., https://orcid.org/ 0000-0002-5039-9852

AUTHOR:

Slavinska Olena S., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Vice-Rector for Research, e-mail: elenaslavin9@gmail.com, tel.: +38 (044) 280-84-48, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 327 http://orcid.org/0000-0002-9709-0078

Bubela Andrii V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Professor of the Road Construction and Property Management Department, e-mail: bubelaandrey@ukr.net, tel.: +380505535594, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovych-Pavlenko str. 1, http://orcid.org/0000-0002-5619-003X

Onyshchenko Artur Mykolayovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Bridges and Tunnels Department, e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, tel.: +380687771899, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., 1, id ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1040-4530

Usychenko Olena Y., PhD, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Professor of the Road Construction and Property Management Department, e-mail: fbbk@ukr.net, tel. +380442807338, +380442803942, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 138, https://orcid.org/0000-0002-7482-8420

Stozhka Vitalii V., PhD, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Road Construction and Property Management Department e-mail: styozhka@ukr.net, тел. +380442807338, +380442803942, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 138, https://orcid.org/ 0000-0002-5039-9852

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Батракова А.Г., доктор технічних наук, професор, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, проректор з науково-педагогічної роботи, Харків, Україна.

Мозговий В.В., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, Київ, Україна.

REVIEWER:

Batrakova A.H., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kharkiv National Automobile and Road University, Vice-rector for Research and Education, Kharkiv, Ukraine.

Mozgovyi V.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Road Construction Materials and Chemistry Department, Kyiv, Ukraine.

УДК 662.994: 621.362.2
UDC 662.994: 621.362.2
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-363-372

ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПУСКУ ХОЛОДНОГО ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО ГЕНЕРАТОРА

Тріфонов Д.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, voin1@i.ua, orcid.org/0000-0001-8744-8657

Сирота О.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, cirshu@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8715-7307

Шуба Є.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, shuba90@i.ua, orcid.org/0000-0003-2036-8024

Мержиєвська Л.П., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, lpm.dvz@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9674-6517

POWER SUPPLY FOR STARTING A COLD INTERNAL COMBUSTION ENGINE USING A THERMOELECTRIC GENERATOR

Trifonov D.N., Ph.D., Engineering, National Transport University, Kyiv, Ukraine, voin1@i.ua, orcid.org/0000-0001-8744-8657

Syrota O.V., Ph.D., Engineering, National Transport University, Kyiv, Ukraine, cirshu@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8715-7307

Shuba Y.V., Ph.D., Engineering, National Transport University, Kyiv, Ukraine, shuba90@i.ua, orcid.org/0000-0003-2036-8024

Merzhyievska L.P., Ph.D., Engineering, National Transport University, Kyiv, Ukraine, lpm.dvz@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9674-6517

Вступ

Енергетична безпека держави значно залежить від широкого використання нетрадиційних джерел енергії. У наш час існує нагальна потреба в економії неповновлювальних ресурсів. Тому пошук та застосування нових видів і джерел енергії є ключовим питанням сучасної науки.

Автомобільний транспорт – один з найважливіших компонентів суспільного і економічного розвитку, який споживає значну кількість паливо-енергетичних ресурсів (ПЕР) і чинить вагомий вплив на довкілля.

Забезпечення ефективної експлуатації автомобіля, що відповідає сучасним вимогам щодо паливної економічності та екологічної безпеки, неможливе без урахування умов, в яких відбувається його експлуатація. Значний вплив на паливну економічність та екологічну безпеку автомобіля чинять природно-кліматичні фактори. Основною проблемою експлуатації транспортного засобу в умовах низьких температур оточуючого повітря є забезпечення надійного і безаварійного пуску холодного двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ).

Двигун внутрішнього згорання є одним з найбільш ефективних та універсальних джерел механічної енергії автомобілів, об’єктів будівельної та сільськогосподарської техніки, стаціонарних енергетичних установкок і т.ін. Як ПЕР для транспортних засобів використовують непоновлювані джерела енергії.

Економію ПЕР можна забезпечити утилізацією частини вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР), які виникають у великих обсягах під час роботи ДВЗ. Потенціал енергозбереження у разі використання ВЕР дуже великий і може становити до 40 % від витрати первинних ПЕР.

Одним з таких видів ПЕР є відпрацьовані гази (ВГ) ДВЗ. З ВГ втрачається до 40% теплової енергії, отриманої від згорання палива, температура яких може становити близько +350...700°С.

Багато дослідників визнають, що рекуперація частини теплової енергії ВГ двигуна є найбільш ефективним заходом, що дозволяє зменшити загальну питому витрату палива, забезпечуючи, разом з тим, збільшення загальної потужності енергетичної установки і зменшення негативного впливу транспортного засобу на довкілля. Проведені дослідження [1], показали, що перетворення 6% теплової енергії ВГ в електричну дозволяє скоротити споживання палива до 10%.

Завдяки останнім технологічним досягненням системи рекуперації ВЕР стали більш економічно ефективними, а посилення екологічних та паливно-економічних вимог до транспортних

засобів зробили їх необхідними, через те, що дозволяють підвищити ефективність використання ПЕР транспортним засобом, зважаючи на його призначення і умови експлуатації.

У зв'язку з цим, підвищення енергоефективності енергетичної установки транспортного засобу, перш за все, в результаті зменшення втрат ВЕР, є актуальною задачею і одним з пріоритетних напрямків наукових досліджень в цій галузі.

Постановка задачі

Задачею дослідження є визначення ефективності застосування термоелектричної системи, яка в процесі функціонування дозволяє підтримувати оптимальну температуру акумуляторної батареї під час утримування автомобіля в умовах низьких температур оточуючого повітря, що створює необхідні умови для поліпшення пуску холодного ДВЗ. Як джерело теплоти в запропонованій системі застосовано тепловий акумулятор фазового переходу (ТАФП), що надає можливість генерації електричної енергії на досить тривалий час після закінчення циклу функціонування ДВЗ (властивості ТАФП визначають теплофізичні характеристики теплоакумулюючого матеріалу (ТАМ), його кількість і умови теплообміну з оточуючим повітрям).

Результати досліджень

Як було зазначено, рекуперацію теплової енергії ВГ двигуна вважають одним з найбільш ефективних способів підвищення енергоефективності енергетичної установки і досягати її можна різними методами [2-7]. Зокрема, генерування електричної енергії утилізацією теплової енергії ВГ термоелектричними генераторами (ТЕГ).

Термоелектричні генератори є перспективними в розвитку енергоефективних технологій в галузі автомобільного транспорту, про що свідчить наявність великої кількості публікацій присвячених різним аспектам використання ТЕГ (рис. 1).

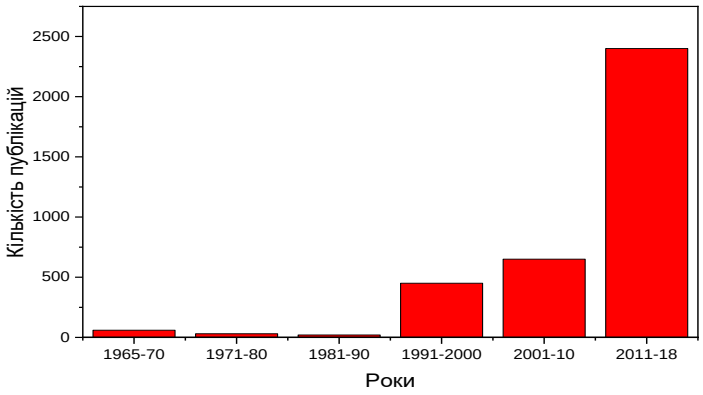


Рисунок 1 – Кількість робіт, опублікованих за окремі десятиліття, починаючи з 1965 року на тему «Термоелектричний генератор» [7]
Figure 1 – Number of papers published in individual decades since 1965 on the topic of «Thermoelectric Generator» [7]

Для ДВЗ, при безгаражному утримуванні автомобіля в умовах низьких температур оточуючого повітря та з тривалими періодами простою, актуальним є питання безаварійного пуску холодного двигуна та зменшення часу на відновлення його теплового режиму.

За умови зниження температури оточуючого повітря різко погіршується функціонування електростартерної системи пуску. Це обумовлено погіршенням дієздатності стартерної акумуляторної батареї через зниження її температури [8-11].

Для надійного пуску двигуна частота обертання його колінчастого вала має бути не менша за мінімальну пускову частоту, яка здатна забезпечити необхідний процес підготовки робочої суміші до займання.

Мінімальна пускова частота обертання колінчастого (n_{min}) вала залежить: від температури оточуючого повітря (t_0) (рис. 2), наявності системи передпускової теплової підготовки холодного двигуна до пуску (або системи, що полегшує його пуск), його конструкції, технічного стану і т.ін [12,13].

Досягнення пускової частоти обертання колінчастого вала двигуна великою мірою ускладнено внаслідок погіршення енергетичних можливостей акумуляторної батареї (рис. 3), яке відбувається, в першу чергу, через зміну її внутрішнього опору (в результаті зниження температури).

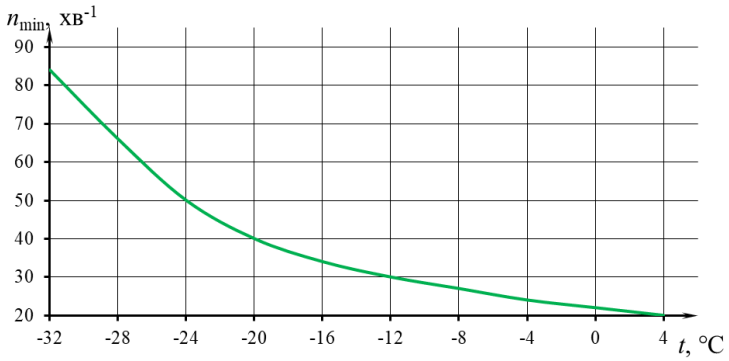


Рисунок 2 – Графік зміни мінімальної пускової частоти обертання колінчастого вала двигуна від температури оточуючого повітря [12, 13]
Figure 2 – Graph of the change of the minimum starting frequency of the engine crankshaft from the ambient temperature [12, 13]

При зниженні температури сила розрядного струму і внутрішній опір акумуляторної батареї досить інтенсивно зростають. Опір пластин і перемичок практично не залежить від температури, а опір електроліту і внутрішній опір сепараторів з пониженням температури збільшуються.

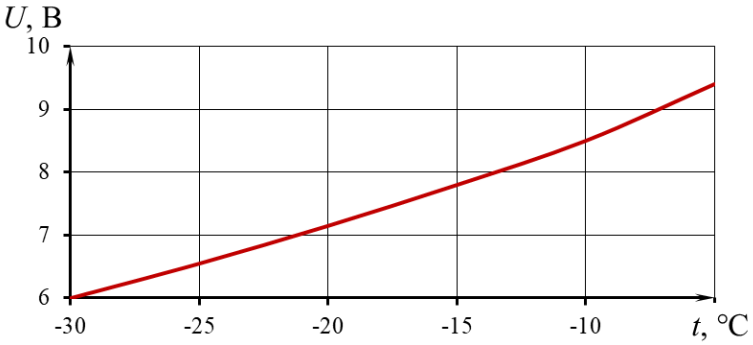


Рисунок 3 – Залежність напруги повністю зарядженої акумуляторної батареї від температури оточуючого повітря в стартерному режимі [8]
Figure 3 – Dependence of the voltage of a fully charged battery on the ambient temperature in the starter mode [8]

Великий вплив на внутрішній опір акумуляторної батареї чинить опір електроліту, який визначає його температура і густина. Зі зниженням температури електроліту від плюс 30°С до мінус 40°С його питомий опір зростає в 6...8 разів [14 – 16].

Таким чином, зменшення температури електроліту призводить до значного зменшення напруги на клемах АБ, що знижує потужність стартера, яку він розвиває в процесі пуску холодного двигуна. Крім того, зменшення температури електроліту на кожен 1°С в зоні позитивних температур спричиняє зниження ємності приблизно на 0,6...1,0%, а при негативних температурах і збільшених розрядних токах до 2% і більше. Причина цього полягає в більшій в'язкості електроліту, що ускладнює його проникнення у внутрішні шари активної маси. Так, ємність батареї 6СТ-190ТР при розряді струмом 9,5 А і температурі електроліту плюс 30°С становить 102% від номінального значення, а при мінус 40°С лише 35%. При розряді струмом 500А і температурі плюс 30°С ємність зменшується до 40% від номінальної, а при мінус 40°С майже до 6% [10]. Тому головним завданням забезпечення ефективного функціонування акумуляторної батареї слід вважати підтримування її оптимальної температури.

На практиці існує досить багато методів підтримування оптимальної температури АБ в умовах низьких температур. Однак, більша частина з них потребує вирішення складних конструктивних і технічних завдань та в умовах експлуатації є малоефективними або досить енерговитратними. Тому в розглянемо ті, які грунтуються на методах терморегулювання АБ завдяки використанню вторинних енергетичних ресурсів ДВЗ, які виникають (у великих кількостях) в процесі його роботи, зокрема використання теплової енергії відпрацьованих газів.

Виходячи з поставленої задачі доцільно використовувати не всю теплову енергію відпрацьованих газів, а її частину, акумульовану в ТАФП, що надає можливість генерації електричної енергії як під час функціонування ДВЗ так і після завершення роботи.

Відповідно до обраної схеми утилізації теплової енергії ВГ, теплова модель запропонованої термоелектричної системи зображена на рис. 4.



Рисунок 4 – Схема потоків теплової енергії в запропонованій термоелектричній системі утилізації частини теплової енергії ВГ з тепловим акумулятором фазового переходу
Figure 4 – Scheme of thermal energy flows in the proposed thermoelectric system for utilization of part of the thermal energy of HV with a thermal accumulator phase transition

В поцесі роботи ДВЗ частина теплової енергії від ВГ переходить до ТАФП, в якому акумулюється. Під час перебування автомобіля в умовах низьких температур (після закінчення циклу функціонування ДВЗ) частина теплової енергії, акумульованої в ТАФП, надходить до «гарячих» спаїв ТЕГ і далі від «холодних» спаїв ТЕГ в навколишнє середовище.

Зважаючи на висловлені передумови, авторами запропонована термоелектрична система для підвищення технічної готовності транспортного засобу (зокрема системи електричного пуску ДВЗ) в умовах низьких температур – компенсацією теплових втрат акумуляторної батареї методом термостатування з використанням зовнішніх нагрівальних елементів.

В запропонованій системі застосовано двоходовий ТАФП кожухотрубчатого типу з коробчастим кожухом, що забезпечує простоту конструкції і надійність [17].

Основним елементом запропонованої термоелектричної системи є термоелектричний генератор, що складається з термоелектричних модулів з'єднаних послідовно, принцип дії яких заснований на ефекті Зеебека (рис. 5).

На підставі проведеного аналізу можливих електронагрівальних матеріалів для підтримання оптимальної температури АБ, як зовнішній електронагрівач застосовано вуглецево волокнистий матеріал.

Запропонована система (рис. 6) складається з ТАФП, термоелектричного генератора, нагрівального елемента штатної АБ, буферної АБ та виносних датчиків контролю температур елементів системи.

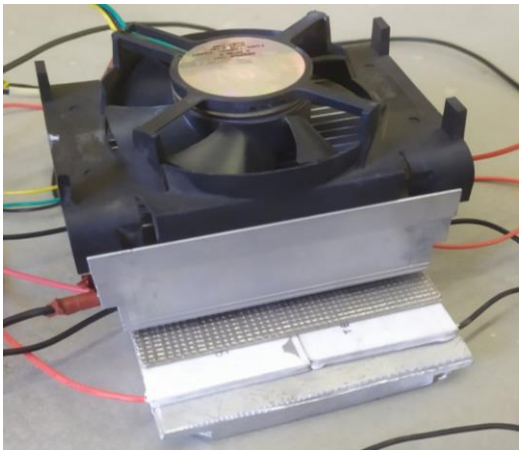


Рисунок 5 – Термоелектричний генератор
Figure 5 – Thermoelectric generator

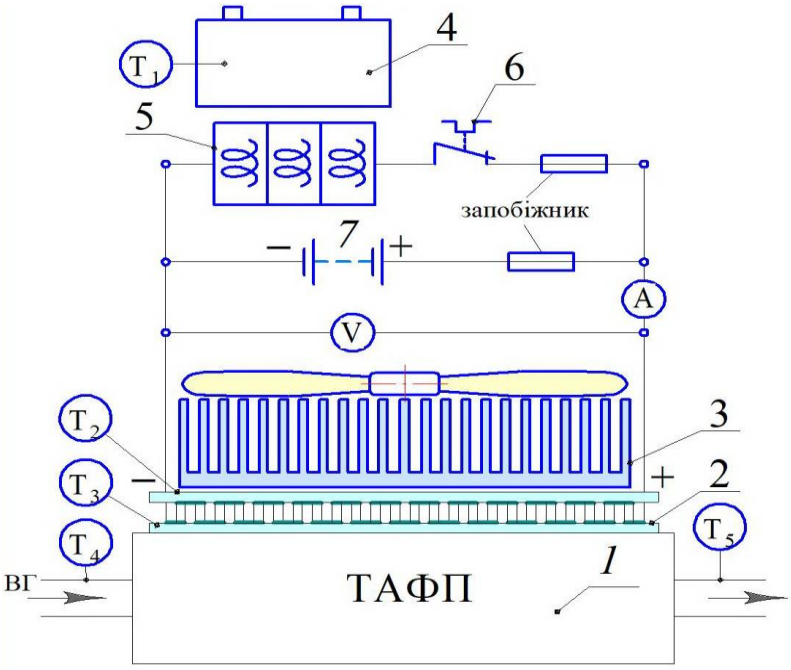


Рисунок 6 – Принципова схема експериментальної термоелектричної системи:
1 –ТАФП; 2 – ТЕГ; 3 – радіатор холодної сторони ТЕГ з вентилятором; 4 – штатна АБ автомобіля; 5 –нагрівальний елемент штатної АБ; 6 – контакт термореле; 7 – буферна АБ; V, A – прилади контролю електричних параметрів ТЕГ; виносні датчики контролю температур (T_1 – електроліту штатної АБ, T_2 – холодної сторони ТЕГ, T_3 – гарячої сторони ТЕГ, T_4 – відпрацьованих газів ДВЗ на вході в ТАФП, T_5 – відпрацьованих газів ДВЗ на виході з ТАФП)

Figure 6 – Schematic diagram of the experimental thermoelectric system: 1 – TAPP; 2 – TEG; 3 – radiator of the cold side of the TEG with a fan; 4 – regular AB car; 5 – heating element of the standard AB; 6 – contact of the thermal relay; 7 – buffer AB; V, A – devices for monitoring electrical parameters of TEG; remote temperature control sensors (T1 – electrolyte standard AB, T2 – cold side of the TEG, T3 – hot side of the TEG, T4 – exhaust gases at the inlet to the TAFP, T5 – exhaust gases at the outlet of the TAFP)

Принцип роботи запропонованої термоелектричної системи (рис. 7) полягає в наступному: після завершення роботи ДВЗ відбувається природне остигання АБ (ділянка I), при досягненні температури АБ 15°С, до термоелектричного генератора (буферної АБ) підключають електронагрівальні елементи для підігріву АБ до температури 25°С (ділянка II), після чого нагрівальні елементи відключають. Після наступного зниження температури АБ до 15°С (ділянка III) – процес повторюється. За комутацію електричних ланцюгів відповідає електронний блок управління, який отримує інформацію від датчика температури АБ (датчик температури встановлено на мінусовій клемі АБ).

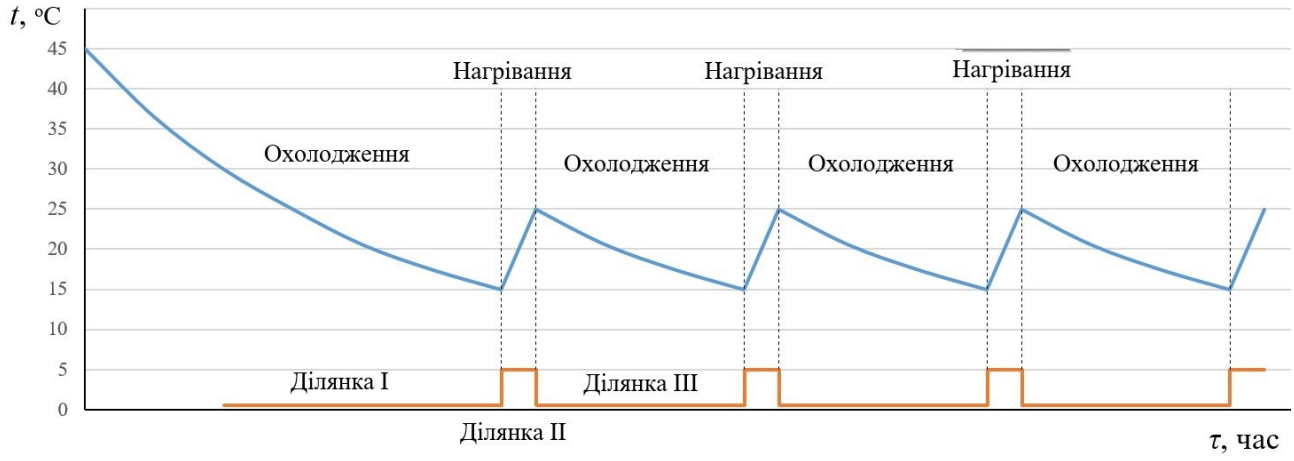


Рисунок 7 – Принцип роботи запропонованої термоелектричної системи

Figure 7 – The principle of the proposed thermoelectric system

Функціональні дослідження запропонованої термоелектричної системи проведено на експерментальній установці (рис. 8) із забезпеченням оптимальної температури АБ в умовах низьких температур оточуючого повітря в лабораторії випробування двигунів Національного транспортного університету.

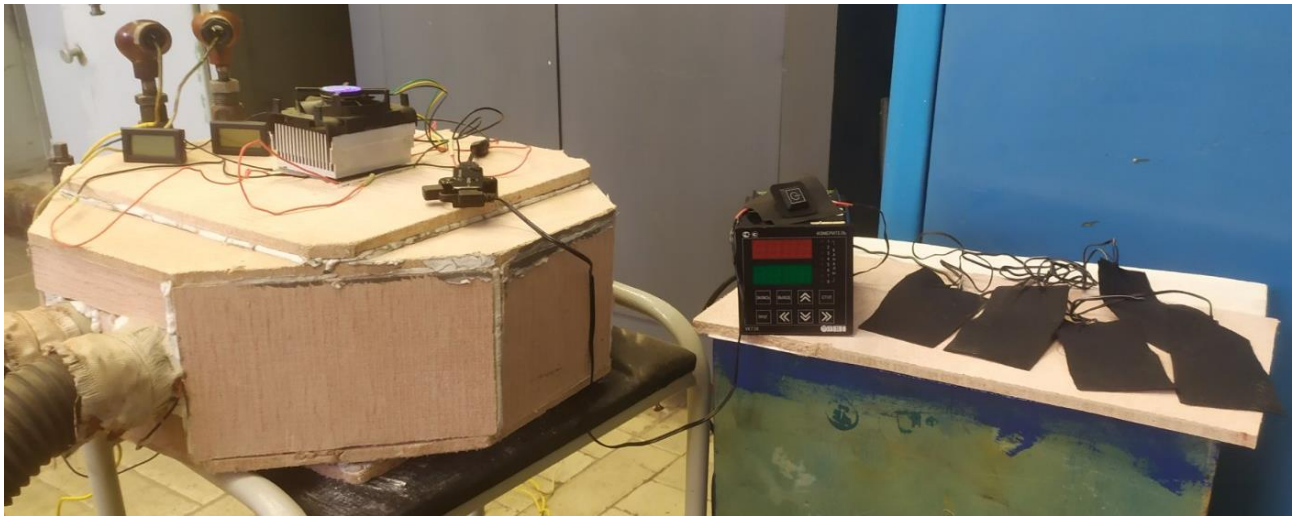


Рисунок 8 – Експериментальна установка запропонованої термоелектричної системи
Figure 8 – Experimental installation of the proposed thermoelectric system

Результати експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження проведено з метою перевірки роботоздатності термоелектричної системи енергозабезпечення холодного пуску двигуна з використанням теплового акумулятора фазового переходу.

Виготовлений ТАФП – це теплообмінний апарат кожухотрубчатого типу з коробчатим кожухом, який складається з корпусу, вкритого шаром теплової ізоляції, двох газових трубних пучків (теплообмінників), змонтованих на трубних дошках, між якими розміщено фазоперехідний ТАМ. Теплоакумулюючим матеріалом є октагідрат гідроксиду барію $Ba(OH)_2 \cdot 8H_2O$, температура плавлення якого становить 351,2 К.

Під час проведення експериментальних досліджень середня температура оточуючого повітря (t_0) становила близько 1,5°С, температура поверхні ТАФП під шаром теплової ізоляції в місці контакту с «гарячими» спаями ТЕГ – +116°С.

Результати випробування теплового акумулятора фазового переходу наведено на рис. 9.

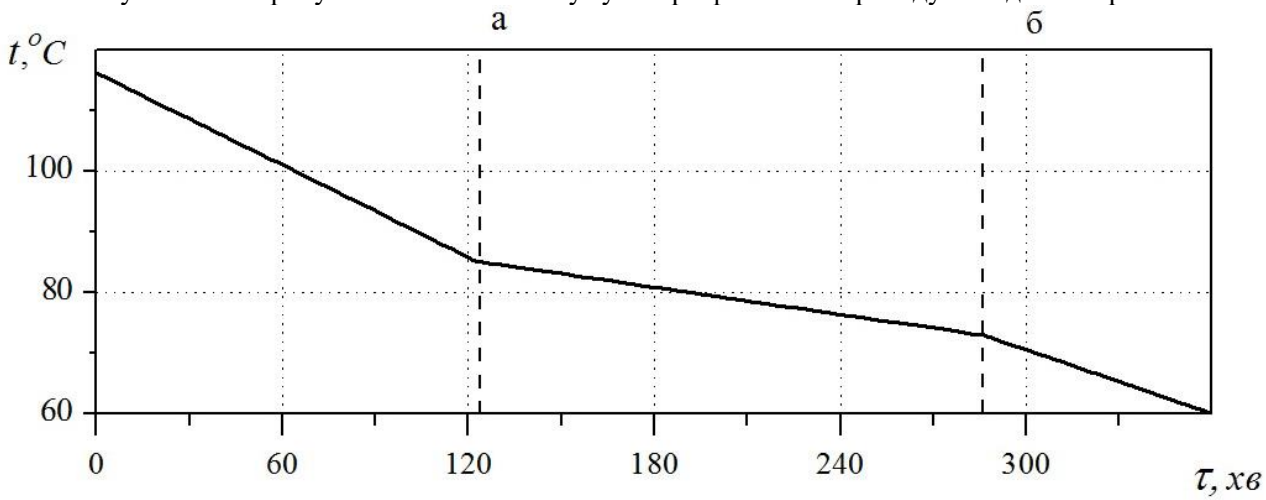


Рисунок 9 – Зміна температури поверхні ТАФП під шаром теплової ізоляції
в місці контакту с «гарячими» спаями ТЕГ при природному охолодженні
(а – початок, б – кінець кристалізації ТАМ)
Figure 9 – Change in the surface temperature of TAFP under the layer of thermal insulation
at the point of contact with «hot» TEG junctions during natural cooling (a – beginning,
b – end of crystallization of the heat-accumulating material)

Встановлено, що у разі природного охолодження, розрядка ТАФП в інтервалі температур від 116°С до 65°С тривала 320 хв. За цей час середня швидкість зниження температури ТАФП становила близько 0,16°С за хвилину. Кількість втрат теплової енергії в навколишнє середовище при безгаражному утриманні автомобіля залежить від якості теплової ізоляції ТАФП.

Уповільнення зниження температури поверхні ТАФП під шаром теплової ізоляції в місці контакту с «гарячими» спаями ТЕГ спостерігається з 124 по 286 хв. Таке уповільнення можна пояснити періодом кристалізації ТАМ. Тривалість періоду кристалізації ТАМ становить близько 160 хв. Температура поверхні ТАФП в місці контакту з «гарячими» спаями ТЕГ, відносно стабілізувалася в інтервалі температур 84…73°С, середня температура становить +78,5°С, при цьому швидкість зниження температури становила близько 0,07°С за хвилину.

Таким чином, дослідження теплового акумулятора фазового переходу показало, що тепловий акумулятор здатен забезпечити різницю температур між поверхнею теплового акумулятора і навколишнім середовищем в межах 70…80°С практично постійною впродовж майже 320 хв (за умови розміщення теплового акумулятора в підкапотному просторі).

У разі використання в ТЕГ п'ятнадцяти термопар з'єднаних послідовно в умовах різниці температур між «гарячими» і «холодними» спаями близько 75°С термоЕРС досягала близько 45 мВ.

В подальшому заплановано проведення розрахункових та експериментальних досліджень спрямованих на визначення необхідної кількості пар термоелектричних елементів в ТЕГ для забезпечення необхідної напруги для живлення зовнішнього електронагрівача АБ, енергетичних характеристик ТЕГ, визначення залежності термоелектрорушійної сили ТЕГ від різниці температур «холодного» і «гарячого» спаїв ТЕГ, дослідження фізичної моделі запропонованої термоелектричної системи з тепловим акумулятором фазового переходу в процесі її функціонування.

Висновки

1. Експлуатація автомобіля в умовах низьких температур оточуючого повітря призводить до погіршення його паливної економічності та екологічних показників. Для ДВЗ при безгаражному утриманні автомобіля в умовах низьких температур і з тривалими періодами простою актуальним є пошук і запровадження заходів, які дозволяють з мінімальними витратами паливно-енергетичних ресурсів забезпечити пуск і прогрівання холодного двигуна.
2. Запропонована термоелектрична система, що забезпечує для підвищення технічної готовності транспортного засобу, зокрема системи електричного пуску ДВЗ, в умовах низьких температур за рахунок компенсації теплових втрат акумуляторною батареєю методом термостатування з використанням зовнішніх нагрівальних елементів.
3. За результатами функціональних випробувань теплового акумулятора фазового переходу встановлено, що при температурі оточуючого повітря близько 1,5 ºС час зниження температури поверхні ТАФП в місці контакту з «гарячими» спаями ТЕГ від 116ºс до 65ºС склав близько 320 хв.
4. Запропоноване технічне рішення дозволяє генерувати електричну енергію, як при роботі ДВЗ так і досить тривалий час після закінчення циклу функціонування ДВЗ за рахунок акумульованої частини теплової енергії відпрацьованих газів в тепловому акумуляторі фазового переходу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. J. Vazaquez, M.A. Zanz-Bobi, R. Palacios, A. Arenas, «State of the art of thermoelectric generators based on heat recovered from the exhaust gases of automobiles,» Proceedings of 7th European workshop on thermoelectric, 2002.S.
2. Gritsuk, I., Gutarevych, Y., Mateichyk, V., and Volkov, V., «Improving the Processes of Preheating and Heating after the Vehicular Engine Start by Using Heating System with Phase-Transitional Thermal Accumulator,» SAE Technical Paper 2016-01-0204, 2016, https://doi.org/10.4271/2016-01-0204.
3. Тріфонов Д.М. Аналіз напрямів рекуперації теплової енергії відпрацьованих газів двигуна внутрішнього згорання / Д.М. Тріфонов // Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування. 9-а Міжнародна науково-практична конференція – Херсон: Херсонська державна морська академія. 2018. С. 194-199
4. Sprouse C. Iii and Depcik C., «Review of organic Rankine cycles for internal combustion engine exhaust waste heat recovery,» Applied Thermal Engineering, vol. 51, pp. 711-722, 2013.
5. Jadhao J.S., Thombare D.G. «Review on exhaust gas heat recovery for I.C. Engine». International journal of engineering and innovative technology (IJEIT) Volume 2, Issue 12, June 2013.
6. Recovery of Exhaust Waste Heat for ICE Using the Beta Type Stirling Engine, Wail Aladayleh, Ali Alahmer, Hindawi Publishing Corporation, Journal of Energy, Volume 2015, Article ID 495418, 8 pages http://dx.doi.org/10.1155/2015/495418.

7. Duraisamy Sivaprahasam, Subramaniam Harish, Raghavan Gopalan and Govindhan Sundararajan (July 11th 2018). Automotive Waste Heat Recovery by Thermoelectric Generator Technology, Bringing Thermoelectricity into Reality, Patricia Aranguren, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.75443.

8. Кузнецов Е.С. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В М. Власов и др. // – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 2001. – 535 с.

9. Лыков А.В. Теория теплопроводности / Лыков А.В. // – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с.

10. Крохта Г.М. Особенности работы стартерных аккумуляторных батарей при самопрогреве двигателя в зимний период / Г.М. Крохта, Н.А. Усатых, Ю.А. Гуськов, Д.М. Воронин // Достижения науки и техники АПК. 2016. т.30. №12. С. 94-97.

11. Панкратов Н.И. Эксплуатация аккумуляторных батарей при низких температурах / Н.И. Панкратов // Автомобильный транспорт. 1985. №2. С. 16–19.

12. Лосавио Г.С. Эксплуатация автомобилей при низких температурах / Г.С. Лосавио // – М.: Транспорт, 1973. – 120 с.

13. Копотилов В.И. Межсменное хранение автомобилей в зимнее время / В.И. Копотилов // – Тюмень.: ТюмИИ, 1993. – 67 с.

14. Тиминский В.И. Справочник по электрооборудованию автомобилей, тракторов, комбайнов / В.И. Тиминский // М.: Урожай, 1985. – 256 с.

15. Тышкевич Л.Н. Исследование тепловых процессов аккумуляторной батареи при эксплуатации автомобиля в условиях низких отрицательных температур / Л.Н. Тышкевич, Б.В.Журавский // Омск.: Вестник СибАДИ, выпуск 6 (58), 2017. С. 71-77.

16. Маркин А.Г. Энергообеспечение пуска двигателя внутреннего сгорания автомобиля / А.Г. Маркин, Б.В. Журавский, А.П. Жигадло // Омск.: Вестник СибАДИ, выпуск 5 (45), 2015. С.26-30.

17. Тріфонов Д.М. Використання теплового акумулятора фазового переходу для забезпечення пуску холодного двигуна та його прогрівання за рахунок поліпшення сумішоутворення / Д.М. Тріфонов, В.С. Вербовський, І.В. Грицук // ACADEMIC JOURNAL Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Полтава: ПНТУ, 2015. – Т. 3 (45). – С. 18-27.

REFERENCES

1. J. Vazaquez, M.A. Zanz-Bobi, R. Palacios, A. Arenas, «State of the art of thermoelectric generators based on heat recovered from the exhaust gases of automobiles,» Proceedings of 7th European workshop on thermoelectric, 2002.S.

2. Gritsuk, I., Gutarevych, Y., Mateichyk, V., and Volkov, V., «Improving the Processes of Preheating and Heating after the Vehicular Engine Start by Using Heating System with Phase-Transitional Thermal Accumulator,» SAE Technical Paper 2016-01-0204, 2016, https://doi.org/10.4271/2016-01-0204.

3. Trifonov D.M. Analiz napriamiv rekuperatsii teplovoi enerhii vidpratsovanykh haziv dvyhuna vnutrishnoho zghorannia / D.M. Trifonov // Suchasni enerhetychni ustanovky na transporti i tekhnolohii ta obladnannia dlia yikh obsluhovuvannia. 9-a Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia – Kherson: Khersonska derzhavna morska akademiia. 2018. S. 194-199

4. Sprouse C. Iii and Depcik C., «Review of organic Rankine cycles for internal combustion engine exhaust waste heat recovery,» Applied Thermal Engineering, vol. 51, pp. 711-722, 2013.

5. Jadhao J.S., Thombare D.G. «Review on exhaust gas heat recovery for I.C. Engine». International journal of engineering and innovative technology (IJEIT) Volume 2, Issue 12, June 2013.

6. Recovery of Exhaust Waste Heat for ICE Using the Beta Type Stirling Engine, Wail Aladayleh, Ali Alahmer, Hindawi Publishing Corporation, Journal of Energy, Volume 2015, Article ID 495418, 8 pages http://dx.doi.org/10.1155/2015/495418.

7. Duraisamy Sivaprahasam, Subramaniam Harish, Raghavan Gopalan and Govindhan Sundararajan (July 11th 2018). Automotive Waste Heat Recovery by Thermoelectric Generator Technology, Bringing Thermoelectricity into Reality, Patricia Aranguren, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.75443.

8. Kuznecov E.S. Tekhnicheskaya ekspluataciya avtomobilej: uchebnik dlya vuzov / E.S. Kuznecov, A.P. Boldin, V M. Vlasov i dr. // – 4-e izd., pererab. i dop. – M.: Nauka, 2001. – 535 s.

9. Lykov A.V. Teoriya teploprovodnosti / Lykov A.V. // – M.: Vysshaya shkola, 1967. – 599 s.

10. Krohta G.M. Osobennosti raboty starternyh akkumulyatornyh batarej pri samoprogreve dvigatelya v zimnij period / G.M. Krohta, N.A. Usatyh, YU.A. Gus'kov, D.M. Voronin // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2016. t.30. №12. S. 94-97.

11. Pankratov N.I. Ekspluataciya akkumulyatornyh batarej pri nizkih temperaturah / N.I. Pankratov // Avtomobil'nyj transport. 1985. №2. S. 16–19.

12. Losavio G.S. Ekspluataciya avtomobilej pri nizkih temperaturah / G.S. Losavio // – M.: Transport, 1973. – 120 s.

13. Kopotilov V.I. Mezhsmennoe hranenie avtomobilej v zimnee vremya / V.I. Kopotilov // – Tyumen'.: TyumII, 1993. – 67 s.

14. Timinskij V.I. Spravochnik po elektrooborudovaniyu avtomobilej, traktorov, kombajnov / V.I. Timinskij // M.: Urozhaj, 1985. – 256 s.

15. Tyshkevich L.N. Issledovanie teplovyh processov akkumulyatornoj batarei pri ekspluatacii avtomobilya v usloviyah nizkih otricatel'nyh temperatur / L.N. Tyshkevich, B.V.ZHuravskij // Omsk.: Vestnik SibADI, vypusk 6 (58), 2017. S. 71-77.

16. Markin A.G. Energoobespechenie puska dvigatelya vnutrennego sgoraniya avtomobilya / A.G. Markin, B.V. ZHuravskij, A.P. ZHigadlo // Omsk.: Vestnik SibADI, vypusk 5 (45), 2015. S.26-30.

17. Trifonov D.M. Vikoristannya teplovogo akumulyatora fazovogo perekhodu dlya zabezpechennya pusku holodnogo dviguna ta jogo progrivannya za rahunok polipshennya sumishoutvorennya / D.M. Trifonov, V.S. Verbovs'kij, I.V. Gricuk // ACADEMIC JOURNAL Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Poltava: PNTU, 2015. – T. 3 (45). – S. 18-27.

РЕФЕРАТ

Тріфонов Д.М. Енергозабезпечення пуску холодного двигуна внутрішнього згорання з використанням термоелектричного генератора. / Д.М. Тріфонов, О.В. Сирота, Є.В. Шуба, Л.П. Мержиєвська // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

У статті проаналізовано умови роботи системи пуску двигуна автомобіля За результатами аналізу енергетичних можливостей електростартерної системи пуску двигуна внутрішнього згорання в умовах низьких температур оточуючого повітря встановлено, що на цей процес значно впливає температура електроліту акумуляторної батареї і ступінь її зарядженості. Запропоновано технічне рішення для поліпшення пуску холодного двигуна, яке в процесі функціонування дозволяє підтримувати оптимальну температуру акумуляторної батареї під час утримання автомобіля в умовах низьких температур. Наведено опис та принцип функціонування запропонованої системи. Проведено експериментальні дослідження ефективності розробленої системи енергозабезпечення пуску холодного двигуна внутрішнього згорання.

Об’єкт експериментальних досліджень – система енергозабезпечення пуску холодного двигуна внутрішнього згорання на основі теплового акумулятора фазового переходу і термоелектричного генератора.

Мета роботи – дослідження показників роботи термоелектричної системи, для підтримування оптимальної температури акумуляторної батареї в умовах низьких температур оточуючого повітря.

Метод дослідження – експериментальний.

За результатами функціональних випробувань термоелектричної системи з тепловим акумулятором фазового переходу встановлено, що при температурі оточуючого повітря близько 1,5 ºС час зниження температури поверхні ТАФП від 116ºс до 65ºС становив близько 320 хв. Запропоноване технічне рішення дозволяє генерувати електричну енергію, як при роботі ДВЗ так і досить тривалий час після закінчення циклу його функціонування завдяки акумульованій частині теплової енергії відпрацьованих газів в тепловому акумуляторі фазового переходу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИЙ ГЕНЕРАТОР, УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ, ТЕПЛОВИЙ АКУМУЛЯТОР ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ, ПУСК ХОЛОДНОГО ДВИГУНА, СТАРТЕРНА АКУМУЛЯТОРНА БАТАРЕЯ.

ABSTRACT

Trifonov D.M., O Sirota.V., Y.V., Shuba Y.V., Merzhievskaya L.P. Energy supply for starting a cold internal combustion engine using a thermoelectric generator. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

Based on the analysis of the energy capabilities of the electric starter system for starting an internal combustion engine at low ambient temperatures, it was found that this process is significantly affected by the temperature of the battery electrolyte and the degree of its charge. A technical solution has been proposed to improve the start of a cold engine, which during operation allows maintaining the optimum temperature of the battery during storage of the car at low temperatures. The description and principle of operation of the proposed system are presented. Experimental studies of the efficiency of the developed power supply system for starting a cold internal combustion engine have been carried out.

The object of experimental research is the power supply system for starting a cold internal combustion engine based on a phase transition heat accumulator and a thermoelectric generator.

The purpose of the work is to study the performance of a thermoelectric system to maintain the optimal temperature of the storage battery at low ambient temperatures.

The research method is experimental.

According to the results of functional tests of a thermoelectric system with a phase transition heat accumulator, it was found that at an ambient temperature of about 1.5 ºC, the time for lowering the temperature of the TAFP surface from 116ºC to 65ºC was about 320 min. The proposed technical solution makes it possible to generate electrical energy, both during the operation of the internal combustion engine, and for a rather long time after the end of its operation cycle due to the accumulated part of the thermal energy of the exhaust gases in the phase transition heat accumulator.

KEY WORDS: THERMOELECTRIC GENERATOR, EXHAUST GAS HEAT RECOVERY, PHASE CHANGE HEAT ACCUMULATOR, COLD ENGINE START, STARTER BATTERY.

АВТОРИ:

Тріфонов Дмитро Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Двигуни і теплотехніка», e-mail: d.trifonov@ntu.edu.ua, тел. 280 47 16, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к.303а.

Сирота Олександр Вадимович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Двигуни і теплотехніка», e-mail: cirshu@gmail.com, тел. 280 47 16, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к.303а.

Шуба Євгеній Васильович., кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Двигуни і теплотехніка», e-mail: shuba90@i.ua, тел. +380688147423, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к. 303а.

Мержиєвська Любов Павлівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Двигуни і теплотехніка», e-mail: lpm.dvz@gmail.com, тел. +38 044 280-47-16, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к. 303а.

AUTHORS:

Trifonov Dmitrij, Ph.D., Engineering, National Transport University, Associate Professor of Department of Engines and Thermal Engineering, e-mail: kafedradvzntu@gmail.com tel. 280 47 16, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorov St. 1, room 303a.

Syrota Alexander, Ph.D., Engineering, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Engines and Thermal Engineering, e-mail: kafedradvzntu@gmail.com tel. 280 47 16, Ukraine, 01010, Kyiv, vul. Suvorov 1, room 303a.

Shuba Yevgeniy, Ph.D., Engineering, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Engines and Thermal Engineering, e-mail: shuba90@i.ua, tel. +380688147423, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 303a.

Merzhyievska Lubov, Ph.D., Engineering, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Engines and Thermal Engineering, e-mail: lpm.dvz@gmail.com, tel. +38 044 280-47-16, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 303a.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Посвятенко Е.К., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри виробництва та матеріалознавства, Київ, Україна.

Терещенко Ю. М., доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

REVIEWER:

Posviatenko E.K., PhD, Engineering (Dr.), professor, National Transport University, professor, department of production, repair and materials science, Kyiv, Ukraine.

Tereshchenko Y.M., PhD, Engineering (Dr.) professor, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

УДК 621.833.6 DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-373-381
UDC 621.833.6

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАНЕТАРНОГО РЕДУКТОРА З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ БУТСТРЕП

Тютін В.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна, zelentechbud@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1954-5003

Мороз В.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, frostvaliko@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3000-4961

Левківський С.А., Національний транспортний університет, Київ, Україна, s.a.levkovsky@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1515-4240

STATISTICAL ANALYSIS OF THE RESULTS OF AN EXPERIMENTAL STUDY OF A PLANETARY GEARBOX USING THE BOOTSTRAP

Tiutin V.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine, zelentechbud@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1954-5003

Moroz V.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, frostvaliko@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3000-4961

Levkivsky S.A., National Transport University, Kyiv, Ukraine, s.a.levkovsky@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1515-4240

Постановка проблеми. Підвищення надійності та довговічності планетарних редукторів може бути досягнуто вдосконаленням їх конструкції та застосуванням прогресивних технологій виготовлення деталей та їх складання. Проте, визначити напрямки підвищення технічного рівня конкретного виробу можливо лише на підставі даних, отриманих в результаті експерименту. В планетарних редукторах комплексним показником, який дозволяє оцінити його технічний рівень, є коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження між сателітами Ω. Він характеризує силове навантаження зубчатих зачеплень «сонячне колесо – сателіти» і дорівнює відношенню значення сили, яка діє в зачепленні в даний момент до її значення в умовах рівномірного розподілу навантаження між сателітами.

Аналіз останніх досліджень. Існує декілька методик дослідження планетарних редукторів за допомогою методів тензометриї, які головним чином відрізняються одна від одної місцем розташування тензодатчиків. Вибір деталі, на яку наклеюють датчики, з одного боку визначає технічну складність реалізації експерименту, а з іншого – якість та повноту отриманої інформації. Найбільш простим експеримент буде у випадку, коли датчики розміщують на нерухомій деталі. Тоді не має потреби у використанні струмознімального обладнання. В більшості випадків такою деталлю є центральнее колесо «b» з внутрішніми зубцями. Така методика передбачає розміщення тензорезисторів на обох торцях зубців. Проте, через необхідність використання датчиків з малою базою, експеримент значно ускладнюється. Це пов’язано з необхідністю виконання значного обсягу підготовчих операцій, а також низькою стабільністю роботи мікродротяних тензодатчиків. Точну інформацію про величини сил, які діють в зачепленнях центрального колеса «a» з сателітами «g», можна отримати, якщо розташувати датчики безпосередньо в зоні деформацій. Таким місцем є ніжки зубців центрального колеса «a» . Проте, реалізація такої методики утруднена через те, що центральне колесо «a» обертається з великою кутовою швидкістю і внаслідок цього виникає технічна проблема в передаванні електричного сигналу від тензорезисторів до підсилювача. Значно менше недоліків має спосіб розміщення датчиків на вісях сателітів [1]. Він дозволяє безперервно фіксувати значення навантажень в усіх зачепленнях сателітів з центральним колесом «a». Водило планетарного редуктора має на багато меншу порівняно з зубчастим колесом «a» кутову швидкість, з огляду на це, проблема знімання електричного сигналу не постає.

Напруження, що виникають в зубцях коліс планетарного редуктора обумовлені дією двох силових факторів. Це нерівномірність розподілу навантаження між сателітами та його концентрація по довжині зубців. З огляду на це, було б доцільним під час проведення експерименту мати можливість отримувати значення обох цих параметрів. З цією метою була розроблена спеціальна методика такого дослідження.

Мета роботи полягає в встановленні експериментальним шляхом довірчого інтервалу математичного очікування максимальних значень коефіцієнта нерівномірності розподілу

навантаження між сателітами для партії планетарних редукторів за результатами випробування одного зразка.

Основна частина. Лабораторні випробовування проводились методом тензометрування вісей сателітів. Тензорезистори наклеювались на кожну вісь. Для цього з обох боків вісей були профрезеровані спеціальні поверхні. Для того, щоб разом з нерівномірностю розподілу навантаження між сателітами, отримувати інформацію про характер його концентрації по довжині зубців, рівномірно вздовж кожної вісі було наклеєні по три пари тензодатчиків 2ПКБ-5× 100 з базою 5 мм та електричним опором 100 Ом. На рис. 1 зображена тензометрична вісь. При встановленні вісей у щоки водила вони були орієнтовані так, щоб датчики сприймали деформації згину, викликані дією колових сил у зачепленнях редуктора. Електричні кабелі виводились через отвір у вихідному кінці водила. Така схема розташування датчиків давала змогу безперервно на протязі кінематичного циклу отримувати інформацію про характер навантаження зачеплень. Показання тензорезисторів однієї вісі записувалися на протязі одного кінематичного циклу, який приблизно дорівнював шести обертам водила. Початок та кінець запису визначався за допомогою лічильника обертів водила. Водночас здійснювався запис значень крутного моменту на вихідному валу редуктора. Для цього на водилі був наклеєний тензодатчик типу ФКТБ.



Рисунок 1 – Вісь сателіта з тензодатчиками
Figure 1 – Satellite axis with strain gauges

Об’єкт, стенд та результати експериментального дослідження**.** Випробування планетарного редуктора відбувалися на стенді, який складався з редуктора, привод якого здійснювався від двошвидкісного електродвигуна типу АО2-62-8/4 через пасову передачу. Навантаження створювалось порошковим гальмом марки ПГ-100М. На вільному кінці гальм було встановлено струмознімальне обладнання РАТ 2, а за ним лічильник обертів. Для регістрації вимірювальних параметрів застосовувалися підсилювач сигналу 8АНЧ-7М та осцилограф Н-115.

В якості об’єкта дослідження був взятий одноступінчатий планетарний редуктор, який випускається серійно. Він мав таку конструкцію. Вхідний вал встановлен на радіальних підшипниках у кришці корпусу . Центральне колесо з зовнішніми зубцями знаходиться у зачепленні з трьома сателітами , опорами яких є радіальні підшипники . Центральне колесо з внутрішніми зубцями нерухомо закріплено в корпусі . Вихідним валом редуктора є водило , в якому закріплені вісі сателітів. Кількість зубців: центральне колесо з зовнішніми зубцями «a» $Z_a = 21$; сателіти «g» $Z_g = 45$; центральне колесо з внутрішніми зубцями «b» $Z_b = 111$. Модуль зачеплення $m = 5$ мм, ступінь точності виготовлення – Ст. 9-8-7-В, крутний момент на вихідному валу $T = 500$ Н·м, $\omega_a = 157$ с$^{-1}$. Центральне колесо «a» було виготовлене зі сталі 40 ХН2МА з послідуючим азотуванням робочих

поверхонь до твердості HRC 52-56, сателіти – зі сталі 40 Х, термооброблені та азотовані. Для виготовлення центрального колеса «b» була застосована сталь 45 поліпшена. Корпус та водило були відлиті з чавуну СЧ 15-32 та ВЧ 60-2 відповідно.

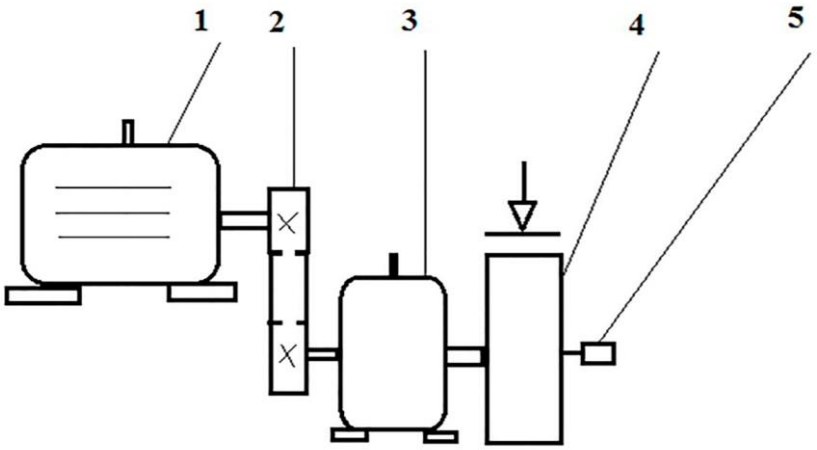


Рисунок 2 – Стенд для випробування планетарного редуктора: 1 – електродвигун; 2 – пасова передача; 3 – планетарний редуктор; 4 – порошкове гальмо; 5 – струмознімач
Figure 2 – Planetary gearbox test bench: 1 – electric motor; 2 – belt drive; 3 – planetary gearbox; 4 – powder brake; 5 – electric current receiver

Результати експериментального дослідження були отримані у вигляді осцілограм трьох тензорезисторів кожної вісі сателітів (рис. 1). Крива показань n-го датчика j-ої вісі розподілялась на I = 24 частини на протязі всього запису. Для обробки отриманих даних був розроблений алгоритм, який був реалізован у вигляді комп'ютерної програми. Спочатку визначалось «П» середнє значення показань усіх датчиків на всіх вісях. Ця величина дорівнює показанням датчиків за умови рівномірного розподілу навантаження між сателітами.

$$П = \frac{\sum_{j=1}^{3}\sum_{n=1}^{3}\sum_{i=1}^{24} П_{jni}}{3*3*24}\ , \qquad (1)$$

де j = 3 – кількість сателітів;
n = 3 – кількість тензорезисторів на одній вісі;
i = 24 – кількість вимірювань на протязі одного кінематичного циклу (кількість положень водила).

Потім знаходилось середнє арифметичне показань трьох датчиків кожної вісі окремо в кожному з 24 положень водила.

$$П_{jni}^{п} = \frac{\sum_{n=1}^{5} П_{jni}}{5} \qquad (2)$$

Величину нерівномірності розподілу навантаження для кожного сателіта [2] в усіх положеннях водила можно визначити як відношення

$$\Omega_{ij} = \frac{П_{jni}^{п}}{П} \qquad (3)$$

Як вже зазначалось, в цьому експерименті з метою визначення концентрації навантаження по довжині зубців, на кожну вісь було наклеєно по три пари тензодатчиків на рівній відстані одна від

одної. Це дозволило за допомогою математичної обробки отриманих даних, визначити для кожного зачеплення сателітів з центральним колесом «а» на протязі кінематичного циклу значення концентрації навантаження. Її величина розраховувалась через відношення показань третього резистора до середнього значення концентрації в даному зачепленні в і-му положенні водила.

$$К_{н\beta ij} = \frac{2П_{i3j}}{П_{i3j+}\ П_{i1j}} \quad (4)$$

Результати експериментального дослідження вказують на те, що найбільш навантаженим в цьому редукторі був сателіт під номером j = 3. Максимальне значення нерівномірності розподілу навантаження для цього сателіту спостерігалось в положенні водила i = 12 і дорівнювало Ω_{max} = 1,476. В цьому ж положенні концентрація навантаження по довжині зубців дорівнювала $K_{h\beta}$ = 1.431. Максимальне значення концентрації навантаження по довжині контактних ліній $К_{h\beta}$ = 1.839 було зафіксоване в положенні водила i = 24. Відповідно величина нерівномірності між сателітами в цьому положенні водила складала Ω = 1,249.

В результаті обробки отриманих даних були визначені 13 максимальних значень (Ω > 1) коефіцієнта нерівномірності розподілу навантаження між сателітами для найбільш навантаженої осі. Ω[13] = 1.17, 1.21, 1.25, 1.28. 1.30, 1.34, 1.35, 1.36, 1.38, 1.39, 1.45,1.47, 1.48. Для побудови довірчого інтервалу математичного очікування генеральної сукупності максимальних значень коефіцієнтів можна скористатися розподілом Ст'юдента [3]. Цей метод відноситься до параметричних і основною умовою його використання є розподіл вибіркових значень за нормальним законом. У нашому випадку, коли статистичні характеристики генеральної сукупності невідомі, то для побудови довірчого інтервалу математичного очікування генеральної сукупності будемо використовувати вибіркові значення: вибіркове середнє $\dot{X}$ та вибіркове стандартне відхилення S. Для з'ясування можливості застосування критерія Ст'юдента була висунута нульова гіпотеза H_0, що раніше зазначена вибірка значень коефіцієнтів розподілена за нормальним законом. Для перевірки можливості прийняття нульової гіпотези був виконаний тест Шапіро – Уілка. Тут і далі всі статистичні розрахунки виконувалися в середовищі R [4,5,6].

```
 y <- c(1.39,1.45,1.36,1.27,1.34,1.30,1.21,1.35,1.50,1.38,1.28,1.48,1.17);
shapiro.test(y)
```

Shapiro-Wilk normality test

data: y

W = 0.97597, p-value = 0.9539

Отримане значення ймовірності p = 0.9539 є більшим за за рівень значущості a = 0.05. Тому відхилити нульову гіпотезу не можна, як і не можна стверджувати, що вибірка розподілена за нормальним законом. Тому застосуємо графічний аналіз і побудуємо гістограму густини розподілу випадкових максимальних значень коефіцієнтів.

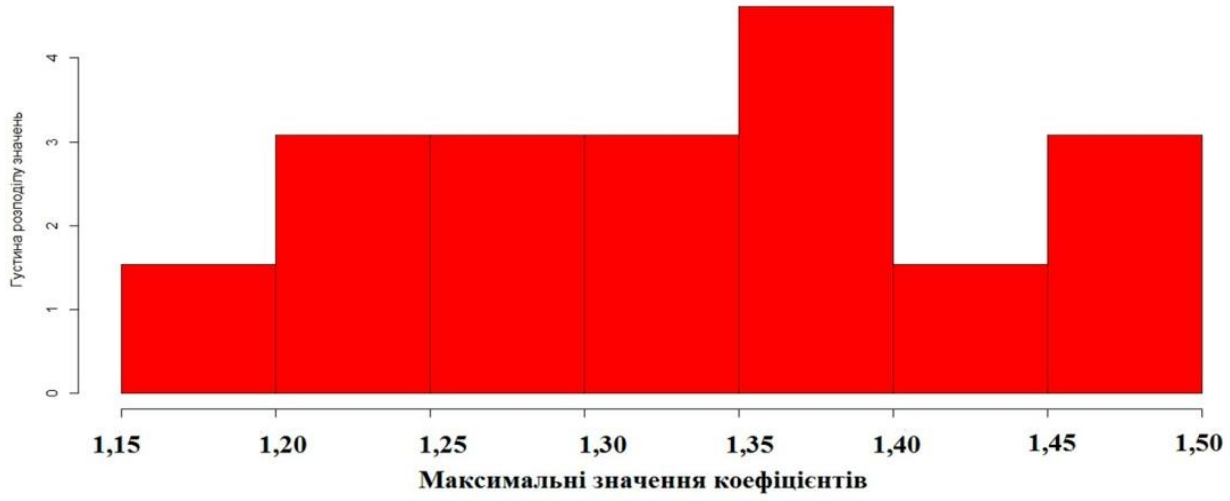


Рисунок 3 – Гістограма розподілу випадкових значень коефіцієнтів Ω
Figure 3 – Histogram of distribution of random values of coefficients Ω

Треба зауважити, що вигляд гістограми не зовсім відповідає графікам розподілу випадкових величин за нормальним законом, а саме: відсутня дзвоноподібна форма, наявність асиметрії. Виходячи з результатів проведених досліджень стверджувати, що ми маємо підтвердження справедливості нульової гіпотези, неможна. Проте, спробуємо визначити довірчий інтервал математичного очікування генеральної сукупності, використовуючи t – критерій Ст'юдента. Для розрахунку нам потрібні значення вибіркової середньої $\dot{X} = 1{,}34$, вибіркового стандартного відхилення $Б = 0{,}097$, числа ступенів свободи $n = 13$. Критичне значення для n – 1 ступенів свободи при рівні значущості $a = 0{,}05$ знаходимо по таблиці [7] $t_{n-1} = 2.18$. Тоді довірчий інтервал дорівнює

$$\dot{X} - t_{n-1}\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \dot{X} + t_{n-1}\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

та буде знаходитися в межах $1{,}2 \leq \mu \leq 1{,}4$.

Через те, що встановити закон розподілу розглядаємої виборки емпірічних даних не вдалося, коректність отриманого довірчого інтервалу знаходиться під знаком ? Тому другий варіант інтервальної оцінки математичного очікування генеральної сукупності був здійснений непараметричним методом. Такі методи не спираються на будь які теоретичні розподіли. Одним з таких методів, який останнім часом демонструє активний розвиток і застосування для вирішення статистичних задач є метод бутстреп (bootstrap) [8],запропонований Ефроном. Треба зауважити на наявність у автора тонкого почуття гумору. Назва bootstrap означає петлю на черевику. Якщо ви потрапили у «болото», то для спасіння тягніть себе за бутстреп.

Ідея методу бутстрепа полягає в тому, що методом Монте – Карло з k членів вихідної вибірки згенерувати n нових псевдовиборок по k членів у кожній. При цьому генерування здійснюється з поверненням. Тобто обраний один раз член вибірки, продовжує приймати участь у генеруванні. Через це, у псевдовиборках окремі члени можуть повторюватися декілька разів. Генерація великої кількості псевдовиборок надає можливість визначати статистичні характеристики випадкових процесів, для вивчення яких, з різних причин неможливо повторити експеримент. У нашому випадку з серії, яка складалася з 20 редукторів, був вибраний один редуктор, над яким були проведені експериментальні дослідження. В результаті була отримана вибірка з 13 максимальних значень коефіцієнтів нерівномірності розподілу навантаження між сателітами. З цієї вихідної виборки було вирішено згенерувати 5 псевдовиборок. Визначити їх вибіркові середні значення, які також є випадковими та побудувати довірчий інтервал при довірчому рівні 1 – 0,05 = 0,95.



Рисунок 4 – Ілюстрація для пояснення походження назви бутстреп
Figure 4 – Illustration to explain the origin of the name bootstrap

Для побудови довірчого інтервалу методом бутстреп була написана спеціальна програма:

```
bt1<-numeric(13); bt2<-numeric(13); bt3<-numeric(13); bt4<-numeric(13); bt5<-numeric(13);
# Резервуємо масиви для зберігання даних.
for(i in 1 : 13)
{bt1[i]=sample(y,size=13,replace=T);bt2[i]=sample(y,size=13,replace=T);bt3[i]=sample(y,size=13,replace=
T);bt4[i]=sample(y,size=13,replace=T);bt5[i]=sample(y,size=13,replace=T)};
```

```
# Генеруємо з поверненням 5 псевдовиборок по 13 членів у кожній.
mean(bt1); mean(bt2); mean(bt3); mean(bt4); mean(bt5);
# Розраховуємо вибіркові середні.
 mb<-c(1.296,1.362,1.334,1.359,1.344);
 mean(mb);
[1] 1.339
# Визначаємо математичне очікування генеральної сукупності.
quantile(mb,prob<-c(0.025,0.975))
2.5%  97.5%
1.2998 1.3617
# Визначаємо довірчий інтервал математичного очікування при довірчому рівні 0,95.
```

Таблиця 1 – Емпірична та бутстрепівські вибірки

Table 1 – Empirical and bootstrap's samplings

№	Емпірична вибірка	Бутстрепівська №1	Бутстрепівська №2	Бутстрепівська №3	Бутстрепівська №4	Бутстрепівська №5
1	1,31	1,38	1.45	1.47	1.38	1.47
2	1,45	1,36	1.47	1.28	1.45	1.30
3	1,36	1,25	1.28	1.34	1.30	1.30
4	1,25	1,34	1.45	1.21	1.25	1.25
5	1,34	1,28	1.25	1.17	1.38	1.45
6	1,30	1,36	1.36	1.30	1.38	1.17
7	1,21	1,21	1.38	1.47	1.39	1.38
8	1,35	1,35	1.17	1.39	1.35	1.35
9	1,47	1,34	1.38	1.34	1.36	1.39
10	1,38	1,25	1.28	1.45	1.38	1.45
11	1,28	1,17	1.38	1.39	1.38	1.36
12	1,48	1,28	1.38	1.17	1.28	1.21
13	1,17	1,28	1.47	1.36	1.39	1.39

Висновки. В результаті виконаних статистичних розрахунків були отримані значення довірчого інтервалу математичного очікування генеральної сукупності максимальних значень коефіцієнту нерівномірності розподілу навантаження між сателітами планетарних редукторів.

Перший варіант інтервалу визначався на підставі розподілу Ст'юдента. При цьому довести, що емпіричні вибіркові значення розподілені за законом Гаусса, нам не вдалося. Це ставить коректність отриманого результату під знак питання.

Другий варіант інтервальної оцінки математичного очікування був розрахований за допомогою використання непараметричного методу бутстреп. Перший варіант довірчого інтервалу є більш широким і складає 15% від від вибіркового середнього вихідної виборки. Нижня границя цього інтервалу $\Omega = 1,2$ є досить оптимістичною для редукторів такого ступеня точності і є поки недосяжною для технологічного рівня розглядаємого виробництва. Другий варіант довірчого інтервалу має менший діапазон значень, який складає 5% від вибіркового середнього. Також, слід зазначити, що його як нижнє граничне значення, так і верхнє близькі до результатів інших досліджень.

Таким чином, можна підсумувати, що визначення довірчого інтервалу з використанням t – критерія Ст'юдента для виборок з кількістю членів < 30 дуже суттєво залежить від того наскільки розподіл генеральної сукупності є близьким до нормального. Також, необхідно зауважити на те, що метод бутстреп дозволяє отримати коректну інтервальну оцінку математичного очікування при малій кількості значень у вибірці, а також незалежно від характеру їхнього розподілу.

Звідси, подальшими практичними діями щодо підвищення надійності та довговічності планетарних редукторів повинні стати такі, що призведуть до зменшення математичного очікування коефіцієнта нерівномірності розподілу навантаження між сателітами приблизно на 10%. Це можна здійснити всього двома способами: підвищенням точності виготовлення деталей редуктора та розвитком конструкції, шляхом збільшення піддатливості деяких деталей.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1.Тютін В.М., Левківський С.А. Експериментальні дослідження одноступеневого планетарного редуктора. Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2011. – Вип.24. – ч.1. – С. 135 – 139.

2. Планетарные передачи справочник / под ред. В. Н. Кудрявцева и Ю. Н. Кирдяшева. – Л. : Машиностроение, 1977. – 563с.

3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник: М.: Наука, 1969. – 576 с.

4.Роберт И. Кабаков R в действии. Анализ и визуализация данных в программе R/пер. с англ. Полины А. Волковой. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 588 с.

5.Мастицкий С.Э., Шитиков В.К. (2014) Статистический анализ и визуализация данных с помощью R. – Электронная книга, адрес доступа http: //r-analytics.blogspot.com

6.В.К. Шитиков, С.Э. Мастицкий (2017) Классификация, регрессия и другие алгоритмы Data Mining с использованием R! – 354с. – Электронная книга, адрес доступа: https://github.com/ranalytics/ data-mining

7.Королюк В.С., Портенко Н.И., Скороход А.В., Турбин А.Ф. Справочник по теории вероятностей и математической статистике – М.: Наука, 1985 – 640 с.

8.Шитиков В.К., Розенберг Г.С. Рандомизация и бутстреп: статистический анализ в биологии и экологии с использованием R. – Тольятти: Кассандра, 2013. – 314 с.

REFERENCES

1.Tiutin V.M., levkivsky S.A. (2011) Experimentalni doslidgennya odnostupenevogo planetarnogo reduktora. [An experimental study of a single stage planetary gearbox]. Visnyk Natsionalnogo tranaportnogo universiteta. Visnyk of National Transport University, 24, part 1, 135-139 [in Ukrainian].

2.Planetarnye peredachi spravochnik/pod red. V.N. Kudryavtseva, Yu.N. Kirdyasheva. (1977) [Planetary gears reference book], 563 [in Russian].

3.Venttsel E.S. (1969) Theoriya veroyatnostey: uchebnik. [Theory of probability: textbook], 578 [in Russian].

4.Robert I. Kabakoff (2014) R v deystvii. Analiz i vizualizatsiya dannyh v programme R. [R in Action. Data Analysis and graphics with R], 588 [in Russian].

5.Mastitsky S.E., Shitikov V.K. (2014) Statisticheskiy analiz i vizualizatsiya dannyh s pomoshyu R. [Statistical analysis and graphics with using R], 400, [electronic resource]. Retrieved from: http: //r-analytics.blogspot.com. [in Russian].

6.V.K. Shitikov, S.E. Mastitsky (2017) Klassifikatsiya, regressiya i drugie algoritmy Data Mining s ispolzovaniem R. [Classification, regression and other algorithms of Data Mining with using R], 354, [electronic resource]. Retrieved from: https://github.com/ranalytics/ data-mining. [in Russian].

7.Koroluk V.S., Portenko M.I., Skorohod A.V., Turbin A.F. (1985) Spravochnik po theorii veroyatnostey i matematicheskoy statiatike. [Theory of probability and math statistics reference book], 640, [in Russian].

8.Shitikov V.K., G.S. Rosenberg (2013) Randomizatciya i butstrep: statisticheskiy analiz v biologii i ekologii s ispolzovaniem R. [Randomization and bootstrap: statistical analysis in biology and ecology with using R], 314, [in Russian].

РЕФЕРАТ

Тютін В.М. Статистичний аналіз результатів експериментального дослідження планетарного редуктора з використанням методу бутстреп / В.М. Тютін, В.В. Мороз, С.А. Левківський // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

В роботі розглядається питання підвищення надійності та довговічності планетарних редукторів.

Визначається показник, який можна використати в якості комплексної характеристики цих параметрів. В якості такого показника пропонується прийняти коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження між сателітами Ω.

Об'єкт дослідження – одноступеневий планетарний редуктор.

Мета дослідження полягає в встановленні експериментальним шляхом довірчого інтервалу математичного очікування максимальних значень коефіцієнта нерівномірності розподілу навантаження між сателітами для партії планетарних редукторів за результатами випробування одного зразка.

В роботі наведена методика експериментального дослідження. Тензодатчики були наклеєні на вісі сателітів, що дозволило спростити процес струмозйому. Використання на кожній вісі трьох пар резисторів надало можливість також отримати інформацію про характер розподілу навантаження по довжині зубців. Для визначення довірчого інтервалу математичного очікування максимальних значень коефіцієнту нерівномірності розподілу навантаження між сателітами використовувався t – критерій Ст'юдента та метод бутстреп.

В результаті тестування вихідної вибірки не вдалося довести, що її члени розподілені за нормальним законом, що в свою чергу, є головною умовою успішного використання t-критерія. Отриманий цим методом довірчий інтервал мав завищений діапазон, граничні значення якого не відповідали результатам інших спостережень. Довірчий інтервал математичного очікування розрахований методом бутстреп мав менший діапазон і його граничні значення співпадали з результатами інших досліджень. Таким чином, можна стверджувати, що непараметричний метод бутстреп дозволяє отримувати статистичні результати, які добре погоджуються з реальним процесом, при малій кількості членів вихідної виборки незалежно від закону їхнього розподілу.

Проведені дослідження дозволили визначити основні напрямки підвищення технічного рівня планетарних редукторів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПЛАНЕТАРНИЙ РЕДУКТОР, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ, КОЕФІЦІЄНТ НЕРІВНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ МІЖ САТЕЛІТАМИ, КРИТЕРІЙ СТ'ЮДЕНТА, ДОВІРЧИЙ ІНТЕРВАЛ, БУТСТРЕП

ABSTRACT

Tiutin V.M., Moroz V.V., Levkivsky S.A. Statistical analysis of the results of an experimental study of a planetary gearbox using the bootstrap. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciencies». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The article considers the issue of increasing the reliability and durability of planetary gearboxes. The indicator which can be used as the complex characteristic of these parameters is defined. As such an indicator, it is proposed to take the coefficient of uneven load distribution between satellites Ω.

The object of research is a single-stage planetary gearbox.

The purpose of the study is to establish experimentally the confidence interval of the mathematical expectation of the maximum values of the coefficient of non-uniformity of the load distribution between the satellites for the batch of planetary gearboxes based on the test results of one sample.

The method of experimental research is given in the work. The strain gauges were glued to the axis of the satellites, which simplified the process of current collection. The use of three pairs of resistors on each axis also made it possible to obtain information on the nature of the load distribution along the length of the teeth. Student's t-test and bootstrap method were used to determine the confidence interval of the mathematical expectation of the maximum values of the coefficient of uneven load distribution between satellites.

As a result of testing the original sample, it was not possible to prove that its members are distributed according to the normal law, which, in turn, is the main condition for the successful use of the t-test. The confidence interval obtained by this method had an inflated range, the limit values of which did not correspond to the results of other observations. The confidence interval of the mathematical expectation calculated by the bootstrap method had a smaller range and its limit values coincided with the results of other studies. Thus, it can be argued that the nonparametric bootstrap method allows to obtain statistical results that agree well with the real process, with a small number of members of the original sample, regardless of the law of their distribution.

The conducted researches allowed to define the basic directions of increase of technical level of planetary gearboxes.

KEY WORDS: PLANETARY REDUCER, EXPERIMENTAL RESEARCH, COEFFICIENT OF UNEVEN LOAD DISTRIBUTION BETWEEN SATELLITES, STUDENT CRITERION, CONFIDENCE INTERVAL, BOOTSTRAP

АВТОРИ:

Тютін Віктор Миколайович, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри «Дорожні машини», e-mail: zelentechbud@gmail.com, тел. +380442809773, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленко 1, к. 226, orcid.org/0000-0003-1954-5003.

Мороз Валентин Валентинович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Дорожні машини», e-mail: frostvaliko@gmail.com, тел. +380442809773, Україна, 01010, м. Київ, вул. М.Омеляновича-Павленка, 1, к. 226, orcid.org/0000-0003-3000-4961.

Левківський Сергій Анатолійович, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри «Дорожні машини», e-mail: s.a.levkovsky@gmail.com, тел. +380442809773, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленко 1, к. 226, orcid.org/0000-0003-1515-4240.

AUTHOR:

Tiutin Victor M. National Transport University, Senior Lecturer of Department of Road Machines, e-mail: zelentechbud@gmail.com, тел. +380442809773, Ukraine, 01010, Kyiv, M.Omelyanovych-Pavlenko str., 1, of. 226, orcid.org/0000-0003-1954-5003.

Moroz Valentyn V. Ph.D., associate professor, National Transport University, associate professor of Department of Road Machines, e-mail: frostvaliko@gmail.com, тел. +380442809773, Ukraine, 01010, Kyiv, M.Omelyanovych-Pavlenko str., 1, of. 226, orcid.org/0000-0003-3000-4961.

Levkivsky Sergii A. National Transport University, Senior Lecturer of Department of Road Machines, e-mail: zelentechbud@gmail.com, тел. +380442809773, Ukraine, 01010, Kyiv, M.Omelyanovych-Pavlenko str., 1, of. 226, orcid.org/0000-0003-1515-4240.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Сапронова С.Ю., доктор технічних наук, професор, Державний університет інфраструктури та технолгій, професор кафедри Вагони та вагонне господарство, Київ, Україна.

Посвятенко Е.К., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри Виробництва, ремонту та матеріалознавства, Київ, Україна.

REVIEWER:

Sapronova S.Yu., Doctor of Technical Science, Professor, State University of Infrastructure and Technology, Professor, Department of Wagons and wagon economy, Kyiv, Ukraine.

Posviatenko E.K., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Professor, Department of Production, Repair and Materials Science, Kyiv, Ukraine.

УДК 330.4
UDC 330.4
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-382-398

ТЕНДЕНЦІЇ ВИКОРИСТАННЯ «ВЕЛИКИХ ДАНИХ» В БІЗНЕС-АНАЛІТИЦІ ПІДПРИЄМСТВ В УКРАЇНІ

Червякова Т.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, cherti2015@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3672-9173

Червякова В.В., кандидат економічних наук, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, ChervyakovaV@bigmir.net, orcid.org/0000-0003-3568-3836

TRENDS IN THE USE OF «BIG DATA» IN BUSINESS ANALYTICS OF ENTERPRISES IN UKRAINE

Cherviakova T.I., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, cherti2015@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3672-9173

Cherviakova V.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, ChervyakovaV@bigmir.net, orcid.org/0000-0003-3568-3836

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Сьогодні у всьому світі значно зростає обсяг даних, що належать комерційним організаціям та державному сектору, при цьому обсяг даних, що містяться у сховищах, може становити сотні терабайт чи петабайт. В економіці є такі галузі, де відбувається найінтенсивніший збір та накопичення даних. У виробничій сфері до таких може бути віднесена енергетика – наприклад, на електростанції генерується безперервний потік даних, який іноді становить до десятків тисяч параметрів за хвилину або навіть за секунду. В останні роки також активно впроваджуються так звані «smartgrid»-технології, які дозволяють комунальним службам проводити вимірювання споживання електроенергії окремими домогосподарствами кожну хвилину або кожну секунду.

Проте термін «великі дані» об'єднує щось більше, ніж просто аналіз величезних обсягів стратегічно важливої для розвитку сучасної компанії економічної інформації. Основна проблема для процесу економічного аналізу полягає не тільки в тому, що сучасні організації накопичують величезні обсяги даних, які мають бути враховані, систематизовані та вивчені з метою правильного вибору та корекції стратегії розвитку компанії на ринку, а й у тому, що значна частина таких даних представлена у форматі, що погано відповідає формату структурованих баз даних, з якими працюють звичайні інформаційні системи, додатки та інші засоби, що найчастіше використовуються в бізнес-аналізі (веб-журнали, відеозаписи, текстові документи, геопросторові дані, карти і т. д.). При цьому всі ці дані можуть зберігатися в багатьох різноманітних сховищах, іноді навіть за межами підприємства.

У результаті створюється парадоксальна ситуація: компанія може мати доступ до величезного обсягу своїх даних і, водночас, не мати необхідних інструментів, щоб встановити взаємозв'язки між цими даними і зробити на їх основі значущі економічні висновки. Враховуючи те, що дані компаній у поточних умовах оновлюються все частіше і частіше, більшість організацій у світі стикаються з ситуацією, в якій існуючі методи аналізу інформації та їх розвиток вже не можуть впоратися не просто з величезними обсягами, а постійно оновлюваними та зростаючими обсягами даних. Зазначені обставини актуалізують необхідність розробки та розвитку спеціалізованих методичних інструментів та засобів аналітичної обробки даних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми. Питання застосування концепції Big Data у різних галузях знань та у прикладних цілях удосконалення управління організаціями різного профілю діяльності досліджують як вітчизняні, так і іноземні фахівці, зокрема К. Карлберг, В. Бернард, Д. Йєтс, Д. Кадл, К. Канке, Р. Іванова, Г. Ліференко, К. Палеру, Д. Пол, П. Хейлі, С. Виганяйло та інші. Однак питання використання технології Big Data для оцінки економічної діяльності підприємств поки що недостатньо розроблені, що привертає увагу до цієї галузі наукових знань не лише з позицій теоретико-методологічного аналізу, а й прикладних аспектів, що застосовуються в управлінській діяльності підприємств різних секторів економіки.

Цілі статті – дослідити поточний стан проведення підприємствами аналізу «великих даних» та тенденції в сфері бізнес-аналітики.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. У світі постійно змінюються методи ведення бізнесу, що зумовлено економічним розвитком, інформаційними технологіями і глобалізацією. При цьому змінюється і поведінка споживачів. У сучасних умовах для підвищення конкурентоспроможності компанії прагнуть у реальному часі володіти знаннями про те, що і коли їх клієнти купують, де і як вони здійснюють покупки і навіть що їх мотивує зайти до торгового залу або на сайт компанії. Допомогу в бізнес-аналітиці поведінки споживачів та володінні зазначеною інформацією можуть надати технології «великих даних», які по суті і є значною кількістю різних аналізованих фактів про клієнтську поведінку.

У випадку з «великими даними» результат економічного аналізу формується у процесі послідовного моделювання, що передбачає «очищення» результату від зайвого «інформаційного шуму» (непотрібних економічних даних, які не мають визначального впливу на кінцевий результат та прийняття стратегічних управлінських рішень), що актуалізує використання з цією метою технологій бізнес-інтелекту (рис. 1) [1].



Рисунок 1 – Методичний алгоритм роботи з «великими даними» в економічному аналізі
Figure 1 – Methodological algorithm for working with «big data» in economic analysis

Незважаючи на значні можливості і переваги, що надає підприємствам робота з «великими даними», частка підприємств, що проводять аналіз «великих даних» в Україні, є невеликою і зростає дуже повільно (табл. 1). Аналіз «великих даних» здебільшого використовується на підприємствах, що працюють в сферах рекламної діяльності і дослідження кон'юнктури ринку, туристичної та видавничої діяльності, виробництва фармацевтичних препаратів, постачання електроенергії, комп'ютерного програмування, консультування та надання інформаційних послуг [2].

Аналіз «великих даних» проводиться в основному на великих і середніх за кількістю працюючих підприємствах, що обумовлено з одного боку їх інформаційними потребами для забезпечення управлінської діяльності, а з іншого боку – можливостями впровадження інформаційних технологій для роботи з «великими даними» та найму висококваліфікованих фахівців. Частка малих підприємств, що проводять аналіз «великих даних», залишається незначною і дещо скорочується (рис. 2).

Основними методами аналізу «великих даних» на підприємствах в Україні є машинне навчання, обробка та/або генерація природної мови, а також інші методи. При цьому найбільша частка підприємств не проводить аналіз «великих даних» власними силами, а залучає для цього зовнішніх постачальників послуг, що пов'язано зі значними організаційними труднощами впровадження та високими витратами на підтримку даного напряму діяльності (табл. 2).

Передача аналізу «великих даних» на аутсорсинг є поширеним явищем для малих і середніх підприємств всіх галузей. Великі підприємства з кількістю працівників понад 250 осіб проводять аналіз своїх «великих даних» переважно самостійно (рис. 3).

В Україні поступово розвивається ринок з придбання і продажу компаніями «великих даних». Найчастіше продавцями власних «великих даних» виступають підприємства в сферах рекламної діяльності і дослідження кон'юнктури ринку, професійної, наукової та технічної діяльності, видавничої діяльності та роздрібної торгівлі. Покупцями «великих даних» є здебільшого підприємства в сферах рекламної діяльності і дослідження кон'юнктури ринку, професійної, наукової та технічної діяльності, видавничої діяльності, комп'ютерного програмування, консультування та надання інформаційних послуг, транспорту, складського господарства, поштової та кур'єрської діяльності, торгівлі автотранспортними засобами та їх ремонту, а також виробництва харчових продуктів, напоїв і тютюнових виробів (табл. 3).

Таблиця 1 – Частка підприємств, що проводили аналіз «великих даних» за джерелами «великих даних» та видами економічної діяльності у 2018-2020 роках

Table 1 – Proportion of enterprises that conducted analysis of «big data» by sources of «big data» and types of economic activity in 2018-2020

	Частка підприємств, що проводили аналіз «великих даних», у загальній кількості підприємств, %			З них частка підприємств, що проводили аналіз «великих даних», у загальній кількості підприємств за джерелами «великих даних», %											
				дані, отримані зі смарт-пристроїв або датчиків			геолокаційні дані, отримані із портативних пристроїв			дані, згенеровані із соціальних медіа			інші джерела		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020
Усього	**12,5**	**11,9**	**12,7**	**5,9**	**5,7**	**5,7**	**3,4**	**3,7**	**4,0**	**3,3**	**3,3**	**3,4**	**6,0**	**5,6**	**5,8**
Переробна промисловість	11,9	11,6	12,2	5,6	5,6	5,2	2,9	3,2	3,5	2,8	2,8	2,9	5,7	5,5	5,5
Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря	18,8	18,2	17,2	13,8	13,8	12,8	6,9	7,0	7,3	2,0	2,1	2,0	6,3	5,7	6,1
Водопостачання; каналізація, поводження з відходами	12,8	12,6	12,1	7,8	7,5	6,5	4,1	5,4	5,2	2,7	2,8	2,8	4,6	4,5	4,6
Будівництво	10,4	9,8	11,5	5,3	4,8	5,4	2,8	2,7	2,8	2,8	2,6	2,9	5,3	4,7	5,0
Оптова та роздрібна торгівля; ремонт автотранспортних засобів і мотоциклів	13,4	12,5	13,4	6,1	5,7	5,6	3,6	3,8	3,8	3,6	3,8	4,0	6,6	6,1	6,2
Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність	14,2	14,0	15,1	7,2	7,3	7,0	6,6	7,1	7,0	2,2	2,1	2,3	5,5	4,6	4,8
Тимчасове розміщування й організація харчування	12,0	11,1	10,6	5,5	5,4	5,0	2,0	2,4	2,2	4,6	4,4	4,4	5,2	4,6	5,0
Інформація та телекомунікації	14,5	14,5	17,7	6,0	5,3	5,8	3,3	3,7	3,9	6,9	7,2	7,6	6,2	5,2	5,7
Операції з нерухомим майном	10,7	9,7	10,5	5,0	4,9	5,6	1,6	1,4	1,4	2,7	2,1	2,3	6,2	5,2	5,9
Професійна, наукова та технічна діяльність	12,4	12,3	13,3	4,8	5,0	6,0	3,9	4,4	4,5	3,6	4,1	4,3	6,7	6,6	6,7
Діяльність у сфері адміністративного та допоміжного обслуговування	11,6	11,0	10,6	5,7	5,2	4,6	3,0	3,3	3,3	3,2	3,4	3,3	5,5	5,4	5,0

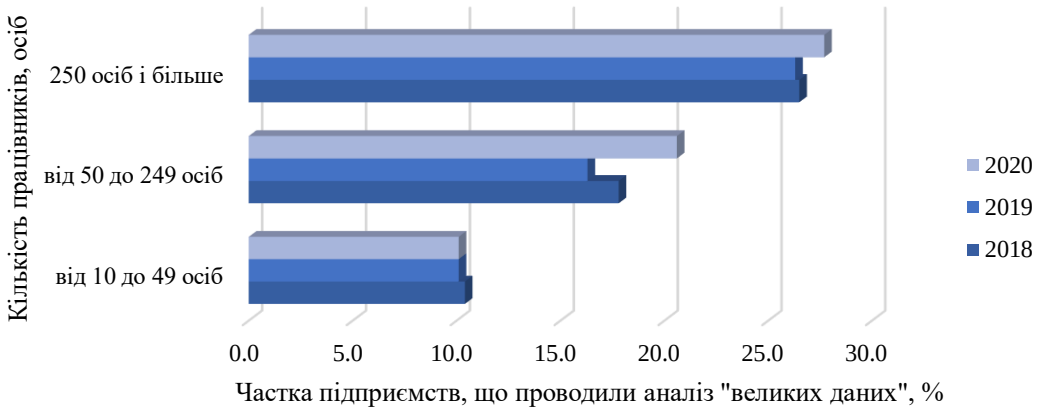


Рисунок 2 – Розподіл підприємств, що проводили аналіз «великих даних» за кількістю працівників

Figure 2 – Distribution of enterprises that conducted «big data» analysis by number of employees

Таблиця 2 – Частка підприємств, що проводили аналіз «великих даних», за методами та способами проведення аналізу «великих даних» за видами економічної діяльності у 2020 році

Table 2 – Proportion of enterprises that conducted «big data» analysis, by methods and ways of conducting «big data» analysis and types of economic activity in 2020

	Частка підприємств, що проводили аналіз «великих даних», у загальній кількості підприємств за методами аналізу «великих даних», %			Частка підприємств, яким аналіз «великих даних» проводили зовнішні постачальники послуг, у загальній кількості підприємств, %
	машинне навчання	обробка/генерація природної мови	інші методи	
Усього	1,6	0,4	2,5	4,2
Переробна промисловість	1,3	0,2	1,9	3,7
Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря	0,9	0,1	3,6	5,2
Водопостачання; каналізація, поводження з відходами	0,4	0,3	3,8	3,8
Будівництво	1,9	0,5	3,3	3,7
Оптова та роздрібна торгівля; ремонт автотранспортних засобів і мотоциклів	1,7	0,6	2,7	4,4
Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність	1,7	0,3	3,9	5,1
Тимчасове розміщування й організація харчування	1,9	0,3	2,2	4,1
Інформація та телекомунікації	2,2	0,9	1,9	4,4
Операції з нерухомим майном	0,8	0,0	1,3	3,7
Професійна, наукова та технічна діяльність	1,6	0,2	3,0	4,4
Діяльність у сфері адміністративного та допоміжного обслуговування	1,3	0,2	1,3	4,5

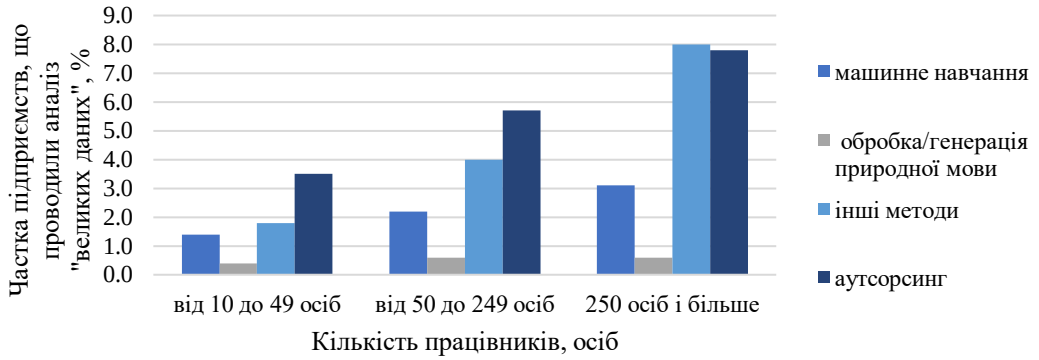


Рисунок 3 – Розподіл підприємств, що проводили аналіз «великих даних», за методами і способами проведення аналізу «великих даних» та кількістю працівників у 2020 році

Figure 3 – Distribution of enterprises that conducted «big data» analysis, according to the methods and techniques of «big data» analysis and the number of employees in 2020

Таблиця 3 – Частка підприємств, що продавали/купували «великі дані» за видами економічної діяльності у 2020 році

Table 3 – Proportion of enterprises that sold/bought «big data» by type of economic activity in 2020

	Частка підприємств, що продавали власні «великі дані», у загальній кількості підприємств, %	Частка підприємств, що купували «великі дані», у загальній кількості підприємств, %
Усього	**0,5**	**0,8**
Переробна промисловість	0,3	0,4
Постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря	0,1	0,1
Водопостачання; каналізація, поводження з відходами	0,1	0,8
Будівництво	0,6	0,9
Оптова та роздрібна торгівля; ремонт автотранспортних засобів і мотоциклів	0,6	0,9
Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність	0,3	1,4
Тимчасове розміщування й організація харчування	0,5	0,6
Інформація та телекомунікації	0,6	1,9
Операції з нерухомим майном	0,5	0,2
Професійна, наукова та технічна діяльність	1,2	1,2
Діяльність у сфері адміністративного та допоміжного обслуговування	0,6	0,7

Слід зазначити, що великі підприємства вдвічі частіше продають і купують «великі дані», ніж середні та малі підприємства. Також всі підприємства більше купують «великі дані», ніж продають за винятком туристичних агентств і операторів, підприємств з виробництва хімічної продукції та роздрібної торгівлі (рис. 4).

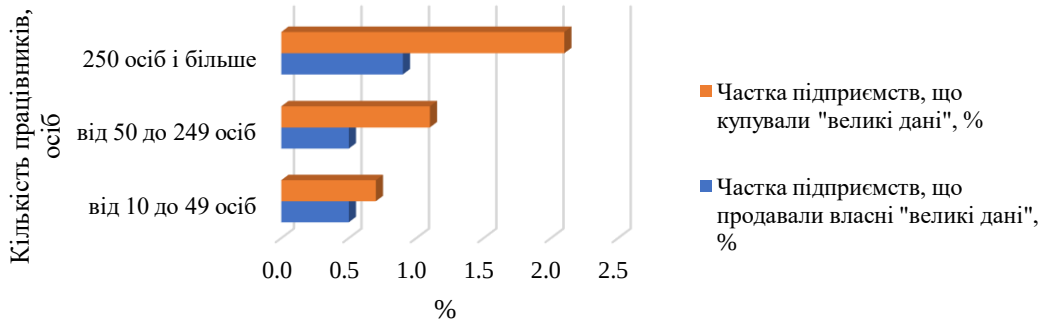


Рисунок 4 – Частка підприємств, що продавали/купували «великі дані», з розподілом за кількістю працівників у 2020 році

Figure 4 – Proportion of enterprises that sold/bought «big data», with a distribution by number of employees in 2020

Незважаючи на організаційні і фінансові труднощі, все більше компаній створюють окремі підрозділи по роботі з «великими даними», щоб за допомогою інструментів бізнес-інтелекту обробляти статистичні дані, виявляючи нові приховані взаємозв'язки, для підвищення конкурентоспроможності на ринку. Для цього використовують спеціальні програмні інструменти для агрегування «великих даних» [3].

Платформи аналітики та бізнес-аналітики (Analytics and business intelligence, далі ABI) характеризуються простою у використанні функціональністю, яка підтримує повний аналітичний

робочий процес – від підготовки даних до візуального дослідження та генерації аналітичних даних – з акцентом на використання самообслуговування та розширену допомогу користувачам.

Постачальники на ринку ABI варіюються від стартапів, що підтримуються венчурними фондами, до великих технологічних компаній. Переважну більшість нових витрат на цьому ринку зумовлюють хмарні розгортання, тому на ринку присутні основні гравці хмарних платформ. У багатьох випадках платформи ABI є відправними точками для ширшого набору можливостей управління хмарними даними, які пропонують такі постачальники хмарних послуг як, наприклад, Microsoft Azure Synapse Analytics і IBM Cloud Pak for Data [4].

Платформи ABI більше не відрізняються можливостями візуалізації даних, які стали масовими. Всі постачальники можуть створювати інтерактивні панелі моніторингу ключових показників ефективності (KPI), використовуючи загальні форми діаграм (рядки/стовпці, лінії/області, точкові, кругові та географічні карти) та спираючись на широкий спектр джерел даних. Диференціація змістилася у бік того, як добре платформи підтримують розширену аналітику.

Розширена аналітика передбачає машинне навчання (ML) і підготовку даних за допомогою штучного інтелекту (ШІ), генерацію аналітичних даних та їх інтерпретацію, щоб допомогти діловим людям та аналітикам даних досліджувати та аналізувати дані більш ефективно, ніж вони могли б це зробити вручну. Замість того, щоб бути дискретною можливістю, розширена аналітика тепер здійснюється через платформи, оскільки машинне навчання застосовується в робочому процесі від аналізу даних до прийняття рішень [5].

Кордони розширеної аналітики розширюються. Від початку призначені для надання допомоги аналітикам з використанням самообслуговування, доповнень і все частіше автоматизації, тепер вони застосовуються для безпосередньої допомоги кінцевим користувачам, що дає початок нової категорії користувачів – розширених споживачів.

Розширені споживачі – це нетехнічні люди, які чекають на інсайти, часто у формі машинно-генерованих історій даних, заснованих на автоматичних інсайтах та на постійному моніторингу даних, що стосуються їх ролі, персони або посадових обов'язків. Для забезпечення актуальності ця функція включає поведінку використання, особливо історію запитів природною мовою (NLQ), а також відгуки користувачів та оцінки контенту, що автоматично обслуговується.

Функціональність платформи ABI включає наступні 12 критичних областей можливостей, які оновлюються, щоб відобразити сфери змін та диференціації, особливо у можливостях більш тісно пов'язаних з розширеною аналітикою [6]:

• Безпека: можливості, що забезпечують безпеку платформи, адміністрування користувачів, аудит доступу до платформи та аутентифікацію.

• Керованість: можливості, які відстежують використання платформи ABI та керують тим, як (і ким) надається інформація.

• Хмарна аналітика: можливість підтримки побудови, розгортання та управління аналітикою у хмарі на основі даних, що зберігаються як у хмарі, так і локально.

• Підключення до джерела даних: можливості, які дозволяють користувачам підключатися, запитувати та приймати дані, оптимізуючи при цьому продуктивність.

• Підготовка даних: підтримка перетягування, керованої користувачем комбінації даних з різних джерел, а також створення аналітичних моделей (таких як заходи, набори, групи та ієрархії, що визначаються користувачем).

• Каталог: можливість автоматично створювати та адмініструвати доступний для пошуку каталог аналітичного контенту, що спрощує споживачам інформацію про те, який контент доступний.

• Автоматизована аналітика: основний атрибут розширеної аналітики, що передбачає застосування методів машинного навчання для автоматичного отримання результатів для кінцевих користувачів (наприклад, шляхом визначення найважливіших атрибутів у наборі даних).

• Візуалізація даних: підтримка високоінтерактивних панелей моніторингу та дослідження даних шляхом маніпулювання зображеннями діаграм.

• Інтерпретація даних: можливість поєднувати інтерактивну візуалізацію даних з коментарями, щоб упакувати та доставити аналітичний контент у привабливій, легко зрозумілій формі для подання особам, які приймають рішення.

• Запит природною мовою (NLQ): це дозволяє користувачам ставити запитання та запитувати дані та аналітичний контент, використовуючи терміни, які або вводяться в поле пошуку, або вимовляються.

• Генерація природної мови (NLG): автоматичне створення лінгвістично насичених описів відповідей, даних та аналітичного контенту. У контексті аналітики, коли користувач взаємодіє з

даними, розповідь динамічно змінюється, щоб пояснити ключові висновки чи значення діаграм чи панелей моніторингу.

• Звітність: можливість створювати та розповсюджувати (або «пакетувати») багатосторінкові звіти з ідеальною піксельною структурою для користувачів за розкладом.

Вибір платформи ABI обумовлюється розміром компанії, сферою її діяльності та регіоном розрашування. Загалом платформи ABI можна умовно поділити на чотири групи: лідерів, візіонерів (провидців), нішевих гравців, претендентів (рис. 5) [6].

До лідерів на ринку відносять функціональні та універсальні платформи, поширені на підприємствах всіх галузей та в усіх географічних регіонах – продукти Microsoft, Tableau та Qlik. До провидців належать продукти з інноваційним інструментарієм та перспективами розвитку – ThoghtSpot, TIBCO Software, Oracle, Sisense, SAP, SAS, Yellowfin. До нішевих гравців належать продукти з дещо обмеженим або специфічним функціоналом, які використовуються підприємствами в певних галузях або регіонах і мають обмежені перспективи поширення – Amazon Web Services, IBM, Alibaba Cloud, Pyramid Analytics, Board, Infor, Information Builders. До претендентів належать продукти, що активно удосконалюються і завойовують ринок – Google (Looker), MicroStrategy, Domo.



Рисунок 5 – Магічний квадрант платформ аналітики та бізнес-аналітики
Figure 5 – The magic quadrant for analytics and business intelligence platforms

Джерело: Gartner (лютий 2021 р.)

Розглянемо особливості найбільш поширених платформ ABI, їх переваги та недоліки.

Qlik – лідер у цьому магічному квадранті. У нього чітке бачення продукту для масштабування на основі машинного навчання та штучного інтелекту, але нижча ринкова динаміка, ніж у двох інших лідерів.

Провідне ABI-рішення Qlik, Qlik Sense, працює на унікальному движку Qlik Associative Engine, який підтримує продукти Qlik протягом останніх 25 років. Qlik Cognitive Engine додає до продукту функціональні можливості на основі AI/ML і працює з Qlik Associative Engine, пропонуючи контекстно-залежні пропозиції щодо аналізу та розширення аналізу. Qlik пропонує гнучкість

розгортання за допомогою корпоративних SaaS та опцій, що розміщуються у клієнта, включаючи мультихмарну установку та локальну установку, без обмеження клієнтів якоюсь конкретною хмарою.

Qlik продовжує вдосконалювати відкриту архітектуру своєї платформи та можливості роботи з декількома хмарами. Він заснований на своєму баченні розширеної аналітики з ключовими елементами, що базуються на його Cognitive Engine. Insight Advisor тепер розширює весь спектр можливостей користувача Qlik Sense за допомогою візуального аналізу на основі пошуку, діалогової аналітики, асоціативного аналізу, прискореного створення та підготовки даних. Qlik нещодавно придбала RoxAI, Knarr Analytics та Blendr.io, щоб розширити можливості для оповіщення, безперервного аналізу та інтеграції платформи SaaS відповідно.

До сильних сторін Qlik можна віднести:

• Гнучкість розгортання: Qlik пропонує гнучкість розгортання локально або з будь-яким великим постачальником хмарних обчислень, з декількома хмарами або з використанням комбінації цих підходів. Клієнти також можуть використати повну пропозицію SaaS Qlik.

• Великий портфель можливостей: придбання компанією Qlik розширить її можливості у конвеєрі даних та аналітики. Qlik Sense надає можливості самообслуговування для візуального виявлення даних для аналітиків чи бізнес-користувачів, а також підтримує вбудовану аналітику розробника. Каталог Qlik використовується для каталогізації та управління. Крім того, хоча Qlik Data Integration Platform (раніше Attunity) є автономною пропозицією, вона додає потужні можливості інтеграції та переміщення даних під парасолькою Qlik.

• Інформаційна грамотність та орієнтація на клієнта: програма Qlik Data Literacy Programme допомагає користувачам усіх рівнів, незалежно від того, є клієнтами Qlik чи ні, розуміти та використовувати дані. Програма Qlik Analytics Modernization Programme заохочує та допомагає існуючим клієнтам QlikView перейти на Qlik Sense для нових варіантів використання. Qlik's Executive Insights Center – це портал для керівників, що допомагає клієнтам пов'язати аналітику з бізнес-результатами; він заснований керівниками Qlik та тісно пов'язаний з існуючими програмами маркетингу та підтримки клієнтів.

Недоліки Qlik:

• Складність ціноутворення продукту: Qlik Sense пропонує основні аналітичні можливості та можливості платформи BI в рамках однієї ліцензії, але також пропонує ряд додаткових можливостей, таких як Qlik Catalog, Qlik Insight Advisor Chat для взаємодії з чат-ботами та Qlik NPrinting для створення звітів у режимі 1. У разі локального розгортання це тягне за собою додаткове ліцензування та додаткові витрати. Платформа Qlik SaaS включає всі можливості як частина стандартної підписки, за винятком звітності, яка ще не підтримується в хмарі.

• Низька динаміка ринку: порівняно з іншими лідерами динаміка Qlik залишається найнижчою, судячи з даних пошуку та запитів клієнтів Gartner, а також за іншими показниками. Хоча програма модернізації Qlik Analytics призначена для того, щоб допомогти існуючим клієнтам Qlik перейти на Qlik Sense, багато клієнтів, які прагнуть модернізації, використовують можливість повністю переоцінити ринок та оцінити інших постачальників.

• Нестача цілісності продукту: Qlik здійснила ряд придбань в 2020 році, додавши їх до і без того складного портфеля попередніх придбань, які все ще знаходяться на власних шляхах інтеграції в широкому портфелі Qlik. Хоча Qlik має досвід інтеграції придбаних технологій, оцінювачам слід подумати про те, як вони організовуватимуть ширше використання набору інструментів Qlik, якщо вони виходять за рамки використання Qlik Sense у локальному середовищі.

Microsoft Power BI також є лідером у цьому магічному квадранті. Він має величезне охоплення ринку завдяки Microsoft Office та всеосяжній і перспективній дорожній карті продукту. Microsoft пропонує підготовку даних, візуальне виявлення даних, інтерактивні панелі моніторингу та розширену аналітику у Power BI. Це доступно як варіант SaaS, що працює у хмарі Azure, або як локальний варіант на сервері звітів Power BI.

Power BI Desktop можна використовувати як безкоштовний автономний інструмент для особистого аналізу. Установка Power BI Desktop потрібна, коли досвідчені користувачі створюють складні гібридні програми з використанням локальних джерел даних.

Microsoft випускає щотижневе оновлення для своєї хмарної служби Power BI, яка у 2020 році отримала сотні функцій. Серед помітних доповнень – розширена аналітика у вигляді можливостей

штучного інтелекту, включаючи інтелектуальні інтерпретації (NLG) та можливості виявлення аномалій у вихідних даних, готові візуальні ефекти.

До сильних сторін Microsoft Power BI відносять:

• Узгодження з Office 365 і Teams: включення Power BI в Office 365 E5 SKU надало величезний канал для розповсюдження платформи, зробивши її «самозаповнюваною» у багатьох організаціях. Зростання інтеграції Power BI з Microsoft Teams, з його десятками мільйонів активних користувачів на день, ще більше розширить можливості Power BI у світі віддаленої роботи.

• Поєднання ціни та потужності: вплив Power BI різко знизив вартість інструментів на ринку платформ ABI з моменту його запуску. Але в цьому випадку низька вартість не означає обмежену функціональність. Хмарна служба Power BI надзвичайно багата на можливості, які включають розширений набір аналітики та можливості автоматизованого машинного навчання. Сервіси на основі штучного інтелекту, такі як аналіз тексту, настроїв та зображень, доступні в Power BI Premium та використовують можливості Azure.

• Обсяг амбіцій продукту: Microsoft продовжує інвестувати у широкий набір перспективних можливостей та інтегрувати їх із Power BI. Тепер компанія стверджує, що має 80000 клієнтів, які використовують служби штучного інтелекту в розгортаннях Power BI. Компанія продовжує заохочувати масштабне використання, наприклад, шляхом застосування автоматичної оптимізації матеріалізованих уявлень (materialized views) на основі машинного навчання в Azure Synapse (а незабаром і в інших джерелах даних, включаючи Snowflake та Redshift) для автоматичного налаштування продуктивності запитів.

До застережень Microsoft Power BI можна віднести:

• Функціональні прогалини у локальній версії: порівняно з хмарною службою Power BI, локальна пропозиція Microsoft має значні функціональні прогалини, у тому числі щодо панелей моніторингу, потокової аналітики, попередньо створеного вмісту, питань та відповідей природною мовою, розширень (те, що Microsoft називає Quick Insights) та оповіщення. Жодна з цих функцій не підтримується в Power BI Report Server, його локальній версії.

• Тільки Azure: Microsoft не дає клієнтам гнучкості у виборі хмарної пропозиції IaaS. Його служба Power BI працює лише в Azure. Однак клієнти, які використовують Azure, можуть користуватися перевагами глобального охоплення хмарної платформи Microsoft. Power BI Premium дозволяє клієнтам включити можливості мультигеографії у своєму клієнті Power BI і розгорнути свої потужності в одному з 42 глобальних центрів обробки даних.

• Процес просування та публікації контенту: спосіб, яким Power BI обробляє просування та публікацію контенту, може призвести до значних адміністративних витрат для клієнтів. Той факт, що існує взаємно-однозначний зв'язок між опублікованими програмами Power BI та робочими областями (середовище спільної «розробки» Power BI), означає, що організації можуть зіткнутися з ситуацією, коли вони вручну керують сотнями робочих областей. Однак команда Power BI інвестує у можливості управління, щоб допомогти клієнтам краще управляти своїми середовищами Power BI.

Tableau – також є лідером у цьому магічному квадранті. Він пропонує візуальне дослідження, яке дозволяє бізнес-користувачам отримувати доступ, готувати, аналізувати та подавати результати своїх даних. Він має потужний маркетинг і розширені можливості корпоративних продуктів, але інтеграція Salesforce Einstein Analytics, яка тепер перейменована в Tableau CRM, все ще перебуває на стадії розробки.

У 2020 році Tableau розширив можливості підготовки даних та управління даними. Для підготовки даних було випущено розширені можливості моделювання даних, які спрощують аналіз даних у кількох таблицях різних рівнів деталізації з допомогою побудови взаємозв'язків між таблицями за допомогою простого візуального інтерфейсу в браузері. Що стосується управління даними, Tableau Prep Conductor та Tableau Catalog пропонують єдиний досвід роботи та автоматизації управління даними та розуміння походження даних. Розширення панелі приладів Einstein Discovery – перший інтегрований продукт, що забезпечує можливості прогнозного моделювання Salesforce Einstein Analytics на платформі Tableau.

Сильні сторіни Tableau:

• Інтерфейс користувача Analytics: хоча Tableau продовжує додавати нові можливості, він завжди підтримує зручність роботи користувачів, тому вони можуть безперешкодно виконувати аналіз. Хоча візуальні дослідження широко використовуються на сьогоднішньому ринку, Tableau все ж таки

може відрізнятися, пропонуючи інтуїтивно зрозумілий аналітичний досвід з ширшими можливостями на основі його запатентованого движка VizQL.

• Ентузіазм клієнтів: багато клієнтів демонструють фанатичне ставлення до Tableau, про що свідчать понад 145000 людей, які відвідали онлайн-конференцію користувачів 2020 року. Tableau Public, безкоштовна платформа для публічного обміну та вивчення візуалізацій даних в Інтернеті, налічує понад 3 мільйони інтерактивних візуалізацій. Дизайн, орієнтований на досвід користувача, означає, що пропозиція Tableau приваблива і навіть приємна для користувачів, особливо для аналітиків.

• Можливості Salesforce: веб-компонент Tableau Viz Lightning пропонує простий інтерфейс, що спрощує завдання інтеграції візуалізацій Tableau до Salesforce. Work.com, хмарна пропозиція Salesforce, яка допомагає організаціям безпечно та ефективно відкривати робочі місця, використовує веб-компонент Tableau Viz Lightning для додавання глобальної панелі моніторингу COVID-19 до Центру управління робочим місцем. Глибока інтеграція можливостей конектора даних MuleSoft і недавно придбаного інструменту спільної роботи Slack означає, що клієнти Salesforce мають значний набір причин для вибору Tableau.

До застережень щодо Tableau відносять:

• Не хмарні: Tableau пропонує хмарні рішення (Tableau Online та Tableau CRM), але основний актив компанії полягає в локальних розгортаннях. Tableau не має хмарної архітектури, щоб локальні клієнти могли користуватися всіма перевагами хмари. Розгортання Tableau Server у контейнерній інфраструктурі нині не підтримується. Таким чином, крім Tableau Online, він не може використовувати еластичність хмари для автоматичного масштабування обробки динамічних робочих навантажень.

• Преміум-ціни. Порівняно з деякими постачальниками хмарних послуг на цьому ринку Tableau коштує дорого. Додавання Tableau CRM за прейскурантною ціною до 150 доларів США на користувача на місяць може посилити занепокоєння клієнтів, які розглядають можливість масштабування розгортань або придбання нових функцій.

• Проблеми інтеграції. Як і слід очікувати, інтеграція ABI-можливостей Salesforce з можливостями Tableau потребує часу. В даний час користувачі зіштовхуються із фрагментованим досвідом, якщо вони хочуть скористатися перевагами розширених функцій аналітики колишньої Einstein Analytics під час використання платформи Tableau. Сильні сторони Einstein Analytics в області автоматизованих історій даних, аналізу ключових факторів, користувальницька автоматизація та зрозумілий штучний інтелект ще не інтегровані в інтерфейс користувача Tableau.

Google (Looker) є претендентом у цьому магічному квадранті. Придбання Looker компанією Google у 2020 році підвищило його ринкове визнання та увагу покупців, оскільки Google досягла прогресу в інтеграції Looker у портфоліо Google Cloud Platform (GCP). Looker пропонує сучасні можливості звітності та інформаційної панелі, використовуючи гнучку централізовану модель даних та архітектуру в базі даних, оптимізовану для різних хмарних баз даних.

У 2020 році Looker представив мобільний додаток (як на iOS, так і на Android) та інтерфейс NLQ (Looker Q&A), який використовує семантичний прошарок LookML. Для розробників Looker представив фреймворк розширення Looker та середовище розробки, на якому створив і випустив словник даних Looker. Looker також розширив свою інтеграцію з додатками Google Cloud, такими як Google Marketing Platform і Google Contact Center AI solution. Крім того, додано оптимізацію за допомогою Google Sheets і Google BigQuery.

До сильних сторін Google (Looker) належать:

• Архітектура в базі даних і модель керованих даних: пропозиція Google (Looker) не потребує оптимізації сховища в пам'яті. Натомість він залишає дані в базовій базі даних і використовує рівень моделювання даних LookML для застосування бізнес-правил. Це дає змогу досвідченим користувачам та інженерам даних моделювати дані, а потім повторно використовувати дані та обчислення в інших програмах надійним і послідовним способом. Looker відкриває керовані LookML дані для інших аналітичних і BI-платформ, додавши конектор для Tableau у 2020 році. Цей підхід забезпечує продуктивність і масштабованість базової бази даних і підтримує гнучкість джерела даних.

• Розробка додатків для клієнта: розробник є ключовою особою для Looker. Google (Looker) пропонує широкий спектр API, пакетів SDK, інструментів для розробників та підтримки робочого процесу для організацій кінцевих користувачів, які хочуть створювати та вбудовувати аналітику в робочі процеси, портали та додатки для клієнтів.

• Використання в екосистемі GCP: після придбання Looker, Google досягла прогресу в інтеграції Looker у діяльність GCP, що виходить на ринок, включаючи впровадження нових пакетів продуктів Google BigQuery.

До застережень Google (Looker) можна віднести:

• Необхідні навички досвідченого користувача для моделювання даних: на відміну від підходу «наведи і клацни» та розширеного підходу, який використовується платформами конкуруючих постачальників, які націлені на менш технічно кваліфікованих користувачів, моделювання даних Looker вимагає кодування. У продукті відсутні можливості підготовки даних для візуального маніпулювання. Крім того, в планах компанії автоматизоване генерування моделі з Google BigQuery.

• Вузькість пропозиції продуктів: Looker додав NLQ і пропонує доступ до функцій і оптимізації Google BigQuery на основі ML із самого Looker. Однак у його нинішньому продукті відсутні важливі можливості, такі як автоматизована, доповнена аналітика зі штучним інтелектом і користувацький інтерфейс, керований природною мовою.

• Обмежена глобальна присутність: хоча Google розширив глобальну присутність Looker після придбання, застосування Looker за межами США, Західної Європи та Японії залишається обмеженим порівняно з лідерами в цьому магічному квадранті.

ThoughtSpot – провидець у цьому магічному квадранті. Його інноваційний підхід до аналізу, орієнтований на пошук, широко використовується конкурентами. Його привабливість на ринку платформ ABI в першу чергу для покупців, які хочуть додати NLP та розширену аналітику, щоб охопити ширше коло користувачів.

ThoughtSpot визначається його користувальницьким досвідом на основі пошуку, його здатністю відповідати на аналітично складні питання з персоналізованими та релевантними відповідями, а також масштабним розгортанням розширеної аналітики.

У 2020 році ThoughtSpot випустила свою пропозицію SaaS Cloud з автоматизованою персональною реєстрацією та новою пошуковою системою і персоналізованим інтерфейсом ThoughtSpot One. Він також додав можливості моніторингу в SpotIQ, який автоматично відстежує, попереджає та пояснює зміни ключових бізнес-показників для бізнес-користувачів. Крім того, він додав мову моделювання ThoughtSpot та вбудоване середовище розробки, а також ThoughtSpot DataFlow для швидшого прийому даних без коду при перенесенні даних у пам'ять.

До сильних сторін ThoughtSpot відносять:

• Масштабний пошук та штучний інтелект: з урахуванням того, що ThoughtSpot використовує пошук та NLP як основний інтерфейс для запиту даних, питання можна задавати шляхом набору тексту або розмови. ThoughtSpot підтримує аналітично складне опитування надзвичайно великих обсягів даних (часто мільярдів рядків). SpotIQ, розширена аналітична функція ThoughtSpot, виявляє аномалії та кореляції та виконує порівняльний аналіз точок даних без необхідності кодування.

• Орієнтація на споживача: бачення ThoughtSpot полягає в тому, щоб стимулювати впровадження, надаючи бізнес-користувачам можливості та простоту використання програм для пошуку споживачів та соціальних мереж. Його технологія навчається на колективній поведінці, інтелекті, соціальних сигналах та мережевих каталогізованих даних, щоб надати користувачам найбільш актуальні пошукові пропозиції, відповіді, а також пов'язані та автоматично генеровані ідеї.

• Визнання ринком як фахівця з пошуку: незважаючи на відносно невеликий розмір ThoughtSpot, поінформованість про його ціннісні пропозиції, засновані на пошуку, висока.

До застережень щодо ThoughtSpot можна віднести:

• Додатковий ціновий бар'єр: програмне забезпечення ThoughtSpot зазвичай спочатку доповнює інші продукти платформи ABI, оскільки воно не покриває весь спектр вимог на рівні, який дозволяє повністю замінити візуально керовані платформи ABI. На ринку, де співвідношення ціни і якості часто є пріоритетом, організації все частіше погоджуються прийняти «досить хороший» (який покращується) пошук, NLP та розширену аналітику від свого постачальника корпоративних стандартів ABI, замість того, щоб додавати іншу платформу від іншого постачальника.

• Обмежене глобальне охоплення, екосистема та спільнота користувачів: ThoughtSpot значно розширив свою глобальну екосистему системних інтеграторів та розширив ринок рішень. Однак у порівнянні з лідерами в цьому магічному квадранті ThoughtSpot має обмежену міжнародну присутність, обмежену кількість партнерських розгортань та обмежену, але зростаючу спільноту користувачів.

• Вимога для налаштування IT: для успішного впровадження програмного забезпечення ThoughtSpot потрібна попередня підготовка даних та відображення даних. Зазвичай це вимагає IT-навичок та зусиль. Однак нова пропозиція ThoughtSpot SaaS, поряд з деякою автоматизацією моделювання при прямому підключенні до хмарних баз даних, може знизити цю вимогу. Крім того, у планах є кілька готових моделей для поширених програм від таких постачальників, як Salesforce та Workday.

TIBCO Software – також провидець у цьому магічному квадранті, який має зрілі можливості продукту. Пропозиція TIBCO Spotfire широко представлена у сферах наук про життя, високотехнологічного виробництва, транспорту та логістики, а також в енергетичному секторі, але менш активно в порівнянні з іншими постачальниками за межами встановленої бази.

TIBCO Spotfire пропонує потужні можливості для аналітики на інформаційних панелях, інтерактивної візуалізації, підготовки даних та робочого процесу. Spotfire A (X) Experience є розширеним сфокусованим підходом, який дозволяє користувачам Spotfire використовувати методи аналізу даних, геоаналітику та потоковий аналіз у режимі реального часу у легко використовуваних формах, таких як NLQ, NLG та автоматично запропоновані візуалізації.

TIBCO визнала зіткнення можливостей та ролей у галузі науки про дані та аналітики, і це визнання визначає її бачення «гіперконвергентної аналітики». TIBCO продовжує реалізовувати це бачення, покращуючи підтримку функцій обробки даних Python та потокових джерел даних безпосередньо на платформі. Spotfire Mods – це нове середовище розробки, яке дозволяє швидко створювати легкі надбудови, пропонуючи нові можливості інтерактивної візуалізації та інтерфейсу користувача в середовищі аналізу Spotfire. Моди виглядають та сприймаються всіма користувачами як вбудовані функції Spotfire. Моди працюють у будь-якому середовищі, ними можна легко ділитися між командами та організаціями.

У 2021 році компанія TIBCO Software оголосила про укладання угоди щодо придбання нішевого конкурента – Information Builders, однак плани інтеграції продуктів та компаній поки не представлені.

До сильних сторін TIBCO Software відносять:

• Можливості продукту для розширеної аналітики: TIBCO Spotfire пропонує можливість підготовки даних на основі машинного навчання для побудови складних моделей даних. Наскрізний робочий процес виконується в єдиному середовищі проектування для інтерактивної візуалізації та побудови аналітичних панелей моніторингу. Аналітики та фахівці з цивільних даних мають доступ до великої бібліотеки розширених аналітичних функцій з перетягуванням та деякими функціями автоматичного аналізу. Можливості Statistica повністю інтегровані зі Spotfire разом із існуючим механізмом TIBCO Enterprise Runtime for R (TERR) та вбудованим механізмом Python.

• Масштабованість та готовність до роботи на підприємстві: аналітика TIBCO Spotfire оптимізована для масштабованого та безпечного розгортання у дуже великих, географічно розподілених організаціях. Платформа Spotfire має сучасні можливості автоматизованого адміністрування і така ж сервіс-орієнтована архітектура використовується в хмарі, локально та в гібридних розгортаннях.

• Бачення конвергенції ринку даних та аналітики: зусилля TIBCO у галузі гіперконвергентної аналітики зосереджені на використанні сильних сторін своїх продуктів у галузі візуалізації даних, аналізу даних, потокової аналітики та нових модифікацій Spotfire, щоб надавати більш точну та індивідуалізовану інформацію в реальному часі. Вигоди реалізуються за допомогою потужних спеціалізованих програм вертикальної аналітики, наприклад, у фармацевтичній та енергетичній галузях.

Застереженнями щодо TIBCO Software є:

• Обмежена динаміка ринку: TIBCO має меншу динаміку, ніж багато конкурентів на цьому ринку. Продукт Spotfire був одним з перших революціонерів у традиційному секторі бізнес-аналітики, поряд з продуктами Qlik та Tableau, але тепер на нього припадає лише невелика частина попиту.

• Присутність на ринку: TIBCO відносно мало сприймається як значний гравець на сучасному ринку платформ ABI. На думку Gartner, за межами певних областей (особливо нафти, газу та фармацевтики) Spotfire рідко є стандартною платформою для організацій. Це означає, що існує менша спільнота користувачів і менше доступних для найму досвідчених співробітників, які мають навички розгортання та використання Spotfire.

• Передбачувана висока вартість програмного забезпечення. Клієнти TIBCO вважають, що гнучкість ціноутворення та контрактів є проблемою для платформи. Щодо цього вони оцінюють TIBCO нижче середнього.

Пандемія змусила керівників у галузі даних та аналітики (D&A) активізувати роботу з даними та їх аналіз, щоб ефективно реагувати на зміни та невизначеність. Пандемія вплинула та продовжує впливати на кожний аспект діяльності підприємства, включаючи дані та їх аналіз. Невизначеність, з якою зіткнулися бізнес та технологічна галузь, змусила D&A-керівників швидко знаходити інструменти та процеси і впроваджувати їх, орієнтуючись на ключові тенденції та розставляючи пріоритети відповідно до того, які переваги вони надають компанії.

Враховуючи викладене, можна визначити десять D&A-тенденцій на найближче майбутнє [7]:

1. Більш «розумний», відповідальний, масштабований штучний інтелект. Штучний інтелект та машинне навчання є ключовими факторами. Підприємства повинні застосовувати нові методи для створення «розумніших», менш вимогливих до даних, етичних та більш стійких ШІ-рішень. Завдяки більш інтелектуальному, відповідальному, масштабованому ШІ організації зможуть у короткий термін розгортати алгоритми навчання та інтерпретовані системи для підвищення цінності та ефективності бізнесу.

2. Композитні дані та аналітика. Композитні дані та аналітика використовують компоненти різних рішень на базі даних, аналітики та ШІ для швидкого створення гнучких та зручних для користувача інтелектуальних додатків, покликаних допомогти D&A-керівникам встановлювати взаємозв'язки між виявленими інсайтами та діями, які вони мають виконати. Відкриті, контейнеризовані архітектури роблять аналітичні можливості більш композитними. Загальнодоступні або приватні дані переміщуються в хмару, де їх можна скомпонувати, що відкриває можливість гнучкішого створення аналітичних додатків, що розміщуються на хмарних маркетплейсах, а також рішень Low-code і No-code.

3. В основі – фабрика даних. D&A-керівники використовують фабрики даних, щоб допомогти вирішити проблему зростання рівня різноманітності, розподіленості, масштабу та складності активів даних своїх організацій внаслідок розширення цифровізації та «емансипації» споживачів. Фабрика даних застосовує аналітику для постійного моніторингу конвеєрів даних: використовує безперервний аналіз активів даних для підтримки розробки, розгортання та використання різноманітних даних, щоб скоротити час на інтеграцію на 30%, розгортання на 30% та технічне обслуговування на 70%».

4. Від великих даних – до малих та широких. Використання історичних даних для моделей машинного навчання та ШІ в умовах пандемії, що справила екстремальний вплив на бізнес, виявилося нерелевантним. D&A-керівники потребують більш різноманітних даних для кращої поінформованості про ситуацію, оскільки прийняття рішень людьми та ШІ стає все більш складним та вимогливим. Тому їм необхідно вибирати такі аналітичні методи, які можуть ефективно використовувати наявні дані, а також надавати більш глибокі інсайти на менших обсягах даних. Підходи з використанням малих та широких даних забезпечують надійну аналітику та ШІ, водночас знижуючи залежність організацій від масивів даних великого обсягу. Використовуючи широкі дані, організації одержують повніше уявлення про ситуацію, або 360-градусний огляд, що дозволяє їм застосовувати аналітику для більш ефективного прийняття рішень.

5. XOps. DataOps, MLOps, ModelOps та PlatformOps, як і інші XOps, необхідні для досягнення ефективності та економії в масштабі за допомогою DevOps та з використанням кращих практик забезпечення надійності, повторного використання та відтворюваності. Це також скорочує дублювання технологій та процесів та забезпечує можливість автоматизації. Проблему підтримки операцій необхідно вирішувати на початковому етапі, а не як другорядне завдання – саме через це зазнає невдачі більшість аналітичних проектів. Якщо D&A-керівники діятимуть у масштабі з використанням XOps, вони забезпечать відтворюваність, простежуваність, цілісність та інтегрованість засобів аналітики та ШІ [8].

6. Інтелектуальні інженерні рішення. D&A-керівники можуть приймати більш точні, відтворювані, прозорі та відстежувані інженерні рішення у міру того, як процеси прийняття таких рішень стають все більш автоматизованими та досконалими. Інтелектуальні інженерні рішення застосовуються до низки рішень для бізнес-процесів, а також до комплексних рішень у надзвичайних ситуаціях та їх наслідків.

7. Дані та аналітика як основна бізнес-функція. В даний час D&A перетворюється з другорядної на основну бізнес-функцію. Дані та аналітика стають загальним активом бізнесу, орієнтованим на бізнес-результати.

8. Усе зв'яжуть графи. Графи лежать в основі найсучасніших можливостей обробки даних та аналітики, вони служать для пошуку взаємозв'язків між людьми, розташуваннями, речами та подіями у найрізноманітніших масивах даних. D&A-керівники покладаються на графи для пошуку швидких відповідей на складні бізнес-проблеми, які вимагають знання контексту та розуміння природи зв'язків та сильних сторін різних сутностей. Gartner прогнозує, що до 2025 р. технології графів будуть використовуватися у 80% інновацій у галузі даних та аналітики (порівняно з 10% у 2021 р.), що сприятиме швидкому прийняттю рішень у рамках усієї організації.

9. Розширення можливостей споживачів. Сьогодні більшість бізнес-користувачів використовують передналаштовані приладові панелі та досліджують дані вручну, але це може призводити до невірних висновків та помилкових рішень та дій. У міру того, як потреби користувачів задовольнятимуться за допомогою автоматизованих, інтерактивних, мобільних та динамічно генерованих інсайтів, що налаштовуються за допомогою таких дашбордів, час роботи з ними скорочуватиметься. Зміщення аналітичної сили на рівень споживача інформації надасть йому можливості, раніше доступні лише аналітикам та фахівцям з даних.

10. Дані та аналітика на периферії. Підтримка даних, аналітики та інших технологій присутня й у периферійних обчислювальних середовищах, наближених до активів фізичного світу, що не належать до сфери діяльності IT-відділів. Gartner прогнозує, що до 2023 р. понад 50% основної відповідальності D&A-керівників складатимуть дані, що створюються, керуються та аналізуються на периферії. D&A-керівники можуть використовувати цю тенденцію для забезпечення більшої гнучкості, швидкості та надійності керування даними. Різноманітність сценаріїв використання викликає інтерес до можливостей Edge в області D&A, починаючи від підтримки аналізу подій у режимі реального часу і до забезпечення автономної поведінки речей.

За результатами аналізу ми дійшли висновку, що головними проблемами розвитку напряму обробки «великих даних» в економічному аналізі в українських умовах є організаційні і фінансові складнощі, нестача кваліфікованих кадрів та відсутність належного досвіду. В Україні поки що не сформувалося експертне співтовариство аналітиків у галузі «великих даних», не з'явилися компетентний замовник та компетентний виконавець. Відсутні фахівці, які однаково добре володіють як галузевою специфікою, так і методикою - підходами, інструментами та методами обробки великих даних. Присутня нестача фахівців, які можуть кваліфіковано та методично обґрунтовано, з використанням бізнес-термінології, а не тільки технічних термінів (як це роблять фахівці таких напрямків, як Data Scientist, Data Analyst та Data Engineer), пояснити керівництву компаній можливості вдосконалення методики економічного аналізу використанням технологій обробки Big Data, здійснити розрахунок бюджету та спланувати етапи реалізації проекту щодо впровадження.

Основним стримуючим фактором у розвитку сфери економічного аналізу Big Data в Україні низка експертів називає невелику кількість кейсів, на які могли б спиратися як замовники, так і інтегратори. У результаті проекти впровадження технологій бізнес-аналізу «великих даних» відрізняються високим ризиком. Дуже часто керівники компаній ставлять у такому разі завдання фактично нездійсненного характеру: «гарантуйте, що впровадження такої технології аналізу Big Data принесе нам економію N гривень». Але таких гарантій у цій галузі дати неможливо, як мінімум, до проведення аналізу накопичених даних, побудови та тестування перших моделей інформаційного рішення, що саме собою вимагає вкладення фінансових та трудових ресурсів. У результаті формується та зберігається область методологічної неготовності компаній та їх співробітників до впровадження технологій Big Data, їх використання для підвищення конкурентоспроможності на ринку та прийняття вигідних управлінських рішень.

Зарубіжний практичний досвід та методологія не дають максимально ефективного результату в наших умовах, тому що не враховують вітчизняні реалії. А національна методологія в цій галузі розвивається поки що досить повільними темпами – за рахунок зусиль окремих компаній, які не бояться експериментувати, вкладати кошти в дослідницькі проекти, у розрахунку на ті вигоди та конкурентні переваги, які може принести застосування методології роботи з «великими даними».

Ще одним істотним бар'єром для розвитку методики застосування технологій аналізу Big Data є відсутність практики накопичення великих даних і низька якість цих даних у вітчизняних компаніях.

Як правило, такі дані стихійно накопичуються компаніями і перебувають у стані, не придатному для аналізу та отримання вигоди (у них є значний відсоток спотворень, недостатня глибина тощо). Організації стикаються з ситуацією, коли потрібно значно розширювати набори даних для економічного аналізу, але для цього немає можливості, оскільки у зв'язку із захистом персональних даних у нашій країні (на відміну від зарубіжної практики) фактично відсутній ринок купівлі/продажу інформації у вигляді бірж даних (Data Exchange). Розвитку процесу накопичення даних та методики аналітичної обробки Big Data могла б сприяти програма державної підтримки відкритих джерел оцифрованих даних, наприклад, доступ до первинних даних Державної служби статистики тощо. Можливо, доцільним у поточних умовах є введення єдиного державного оператора «великих даних», адже в поняття Big Data входять геолокація, біометрія, поведінка споживачів, що не може розглядатися як користувальницька інформація компаній, але в той же час носить приватний характер, а також характер національного надбання, вимагаючи відповідного регулювання та контролю.

Ці фактори значною мірою сприятимуть подальшому зростанню ринку аутсорсингових BI послуг для бізнес-аналізу «великих даних» як нового етапу його розвитку. «Вакуум» на кадровому ринку та відсутність необхідних фундаментальних знань вже сьогодні підштовхують все більше компаній до залучення сервіс-провайдерів для забезпечення потреб у галузі бізнес-аналізу Big Data та передачі цих процесів на частковий аутсорсинг. Наведені дані підтверджують той факт, що розвиток методики інтеграції технологій бізнес-інтелекту та «великих даних» в економічний аналіз сучасних організацій відбувається в умовах високих ризиків, вимагаючи теоретико-методологічного та практичного вивчення цієї проблеми.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Митрович С. Рынок «больших данных» и их инструментов: тенденции и перспективы в России // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2018. Т. 9. № 1. С. 74–85. DOI: 10.18184/2079–4665.2018.9.1.74–85.

2. Офіційний сайт Державної служби статистики України. [Електронний ресурс]. – URL: http://ukrstat.gov.ua/.

3. Цуканова О.А., Ярская А.А. Сущность и роль BI-систем в современной экономике // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Экономика и экологический менеджмент. 2021. № 2. С.79-85. DOI: 10.17586/2310-1172-2021-14-2-79-85.

4. Виганяйло С.М., В'юненко О.Б. Тенденції розвитку інформаційних технологій у бізнес-аналітиці // Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського, 2021. - Сер. «Технічні науки». - Т. 32(71). - №1. - Ч.1. - С. 51-55. DOI: 10.32838/2663-5941/2021.1-1/08.

5. Jacomo Corbo, Oliver Fleming, and Nicolas Hohn (2021). It's time for businesses to chart a course for reinforcement learning. McKinsey & Company. [Електронний ресурс]. – URL: https://www.mckinsey.com/.

6. James Richardson, Kurt Schlegel, Rita Sallam, Austin Kronz, and Julian Sun (2021). Magic Quadrant for Analytics and Business Intelligence Platforms. Gartner. [Електронний ресурс]. – URL: https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-24ZXJ0MU&ct=210107&st=sb.

7. Kasey Panetta (2021). Gartner Top 10 Data and Analytics Trends for 2021. Gartner. [Електронний ресурс]. – URL: https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-data-and-analytics-trends-for-2021.

8. Jacomo Corbo, Nicolas Hohn, Kia Javanmardian, and Nayur Khan (2021). Scaling AI like a tech native: The CEO's role. McKinsey & Company. [Електронний ресурс]. – URL: https://www.mckinsey.com/.

REFERENCES

1. Mitrovich S. (2018). Ryinok «bolshih dannyih» i ih instrumentov: tendentsii i perspektivyi v Rossii [The Market for Big Data and its Tools: Trends and Perspectives in Russia]. MIR (Modernizatsiia. Innovatsii. Razvitie) [MIR (Modernization. Innovation. Research)]. № 9(1). S.74–85. DOI: 10.18184/2079–4665.2018.9.1.74–85 [in Russian].

2. Ofitsiinyi sait Derzhavnoi sluzhby statystyky Ukrainy [Official site of the State Statistics Service of Ukraine]. URL: http://ukrstat.gov.ua/ [in Ukrainian].

3. Tsukanova O.A., Yarskaya A.A. (2021). Suschnost i rol BI-sistem v sovremennoy ekonomike [The essence and role of BI systems in the modern economy] // Nauchnyiy zhurnal NIU ITMO. Seriya Ekonomika

i ekologicheskiy menedzhment. [Scientific journal NRU ITMO. Series Economics and environmental management]. 2021. № 2. S.79-85. DOI: 10.17586/2310-1172-2021-14-2-79-85 [in Russian].

4. Vyhaniailo S.M., Viunenko O.B. (2021). Tendentsii rozvytku informatsiinykh tekhnolohii u biznes-analitytsi [Trends in information technology development in business analytics] // Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. - Ser. «Tekhnichni nauky».[Scientific notes of TNU named after V.I. Vernadsky. - Series «Technical Sciences»]. - T. 32(71). - №1. - Ch.1. - S. 51-55. DOI: 10.32838/2663-5941/2021.1-1/08 [in Ukrainian].

5. Jacomo Corbo, Oliver Fleming, and Nicolas Hohn (2021). It's time for businesses to chart a course for reinforcement learning. McKinsey & Company. URL: https://www.mckinsey.com/.

6. James Richardson, Kurt Schlegel, Rita Sallam, Austin Kronz, and Julian Sun (2021). Magic Quadrant for Analytics and Business Intelligence Platforms. Gartner. URL: https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-24ZXJ0MU&ct=210107&st=sb.

7. Kasey Panetta (2021). Gartner Top 10 Data and Analytics Trends for 2021. Gartner. URL: https://www.gartner.com/smarterwithgartner/gartner-top-10-data-and-analytics-trends-for-2021.

8. Jacomo Corbo, Nicolas Hohn, Kia Javanmardian, and Nayur Khan (2021). Scaling AI like a tech native: The CEO's role. McKinsey & Company. URL: https://www.mckinsey.com/.

РЕФЕРАТ

Червякова Т.І. Тенденції використання «великих даних» в бізнес-аналітиці підприємств в Україні / Т.І. Червякова, В.В. Червякова // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

Стаття присвячена дослідженню поточного стану проведення підприємствами аналізу «великих даних» та ключових тенденцій в сфері бізнес-аналітики.

Об'єкт дослідження – використання «великих даних» в економічному аналізі.

Мета роботи – дослідити поточний стан проведення підприємствами аналізу «великих даних» та тенденції в сфері бізнес-аналітики.

Методи дослідження – аналіз, синтез, узагальнення, систематизація, графічні.

У статті досліджено статистику щодо проведення аналізу «великих даних» вітчизняними підприємствами за джерелами «великих даних», за методами та способами проведення аналізу, за видами економічної діяльності та за кількістю працівників. Наведено огляд ринку платформ аналітики та бізнес-аналітики для роботи з «великими даними», проаналізовано їх можливості, переваги та недоліки. Визначено тенденції в сфері даних та аналітики на найближчий час. Встановлено, що головними проблемами розвитку напряму обробки «великих даних» в економічному аналізі в Україні є організаційні і фінансові труднощі, нестача кваліфікованого персоналу та відсутність належного досвіду. Істотним бар'єром для застосування інструментарію бізнес-аналітики є відсутність практики накопичення «великих даних» і низька якість цих даних у вітчизняних компаніях. Ці фактори значною мірою сприятимуть подальшому зростанню ринку аутсорсингових послуг з бізнес-аналізу «великих даних». Доцільним у поточних умовах є введення єдиного державного оператора «великих даних», адже до них належать персональні дані громадян, що вимагає відповідного регулювання та контролю.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БІЗНЕС-АНАЛІТИКА, ВЕЛИКІ ДАНІ, ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ, ПЛАТФОРМИ АНАЛІТИКИ ТА БІЗНЕС-АНАЛІТИКИ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, МАШИННЕ НАВЧАННЯ, РОЗШИРЕНА АНАЛІТИКА, ХМАРНА АНАЛІТИКА.

ABSTRACT

Cherviakova T.I., Cherviakova V.V. Trends in the use of «big data» in business analytics of enterprises in Ukraine. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The article is devoted to the study of the current state of «big data» analysis by enterprises and key trends in the field of business intelligence.

Object of study – the use of «big data» in economic analysis.

Purpose – to investigate the current state of «big data» analysis by enterprises and trends in the field of business intelligence.

Methods of research – analysis, synthesis, generalization, systematization, graphic.

The article examines statistics of the domestic enterprises' analysis of «big data» by sources of «big data» and by methods and techniques of analysis with a breakdown by type of economic activity and number

of employees. There is given an overview of the market of analytics and business intelligence platforms to work with «big data», their opportunities, advantages and disadvantages are analyzed. Key trends in the field of data and analytics for the near future are identified. It is established that the main problems in the development of the direction of «big data» processing in economic analysis in Ukraine are organizational and financial difficulties, lack of qualified personnel and lack of proper experience. A significant barrier to the use of business intelligence tools is the lack of practice of accumulating «big data» and the low quality of these data in domestic companies. These factors will significantly contribute to the further growth of the market of outsourcing services for business analysis of «big data». In the current conditions, it is expedient to introduce a single state operator of «big data», as they include personal data of citizens, which requires appropriate regulation and control.

KEYWORDS: BUSINESS ANALYTICS, BIG DATA, ECONOMIC ANALYSIS, PLATFORMS OF ANALYTICS AND BUSINESS ANALYSIS, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, MACHINE LEARNING, AUGMENTED ANALYTICS, CLOUD ANALYTICS.

АВТОРИ

Червякова Тетяна Іванівна, Національний транспортний університет, кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, ehttps://orcid.org/0000-0002-3672-9173, e-mail: cherti2015@gmail.com, тел.: +380674450896.

Червякова Валентина Володимирівна, кандидат економічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри економіки, https://orcid.org/0000-0003-3568-3836, e-mail: ChervyakovaV@bigmir.net, тел.: +380679571074.

AUTHORS

Cherviakova Tatiana I., National Transport University, Ph.D., Associate Professor, Department of informational-analytical activity and information security, https://orcid.org/0000-0002-3672-9173, e-mail: cherti2015@gmail.com, tel.: +380674450896.+

Cherviakova Valentina V., National Transport University, Ph.D., Associate Professor, Department of Economics, https://orcid.org/0000-0003-3568-3836, e-mail: ChervyakovaV@bigmir.net, tel.: +380679571074.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Воркут Т.А., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортного права та логістики Національного транспортного університету, м. Київ, Україна.

Бондаренко Є.В., доктор економічних наук, професор, Президент академії інвестицій в науку і будівництво України, м. Київ, Україна.

REVIEWERS:

Vorkut T.A., PhD, Professor, Head of Department of Logistics and Transport Law, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Bondarenko E.V., PhD, Professor, President of the Academy of investment in science and construction of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

УДК 656.025
UDC 656.025
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-399-407

АНАЛІЗ ВПЛИВУ МАРШРУТНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ НА ТРАНСПОРТНУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ МІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Федоренко І.О., Національний транспортний університет, Київ, Україна, fedorenko.ntu@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8690-5673

ANALYSIS OF THE IMPACT OF ROUTE, ROAD AND OPERATIONAL FACTORS ON THE TRANSPORT ENERGY EFFICIENCY OF URBAN PASSENGER TRANSPORTATION

Fedorenko I.O., National Transport University, Kyiv, Ukraine, fedorenko.ntu@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8690-5673

Постановка проблеми. Міський пасажирський транспорт потребує нових методів технологічно-модернізаційного енергозбереження та підвищення техніко-технологічної конкурентоспроможності автотранспортних послуг. Парк міських автобусів характеризується високим рівнем морального (низькі технічні та технологічні рівні) та фізичного зносу автобусів, Міські автобусні перевезення характеризуються інтенсивним науково-технічним прогресом конструкції автобусів, а також технологічними особливостями автомобільних перевезень. Під час вибору рухомого складу для здійснення міських пасажирських перевезень автотранспортні підприємства спираються на попит на перевезення (вибір пасажиромісткості автобуса), ціну автобуса, габаритні розміри, потужність двигуна та відповідність екологічним стандартам [1]. При цьому, математичні моделі критеріїв вибору засновані на теоретичній схемі віртуального транспортування пасажирів. Розглядається поведінка автобусу як віртуально рухомого кузову, а ігнорується комплекс іманентних властивостей автобусу як носія технічних ресурсів автотранспорту [2]. Не враховуються: умови експлуатації відповідно до маршруту, стан дорожнього покриття, профілі дороги, умови дорожнього трафіку і кількості пасажирів у автобусах. З огляду на вище сказане виникає необхідність у багатоваріантному аналізі впливу маршрутних, дорожніх та експлуатаційних факторів на показники енергоефективності перевезень та інтенсивності машинних процедур транспортної технології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У працях Хабутдінова Р.А. [3,4] представлена теорія енергоресурсної ефективності автотранспортного засобу узагальненого типу, в яких автомобіль розглядається як модульний і багатофункціональний носій технічних ресурсів автотранспорту в транспортній операції (складна машина, небезпечний об'єкт керування рухом, перевізний засіб, джерело технологічних процедур дій, конструктивна основа перетворення технологічних ресурсів у продукт). Розрахункові схеми, що запропоновані, дозволяють на ранніх стадіях планування експлуатації рухомого складу комплексно підвищувати рівні транспортної енергоефективності нових автобусів, а також рівні енерготехнологічної енергоефективності проектів міських пасажирських перевезень. У роботах к.т.н. Піцика М.Г. [5] вирішувалися питання підвищення транспортної енергоефективності автобусів малої і середньої місткості на міських маршрутах.

Основна частина.

Першим етапом дослідження було встановлення середньої відстані перегону між зупинками (550 м.) на основі статистичного аналізу мережі автобусних маршрутів міста Києва [6]. На другому етапі з використанням методики операційно-тестового і параметричного аналізу енергоефективності модульних автомобілів узагальненого типу проведено імітаційне моделювання багатофазного руху автобусу на перегонах різної довжини. Дослідження проведено на прикладі автобусу МАЗ 103 [7].

Показник транспортної енергоефективності – це відношення транспортної енерговіддачі даного автобуса у тестовій операції ρ до транспортної енерговіддачі $\rho_{ет}$ еталонного автобуса у еталонній операції [2]. Модель цього показника можна представити у двох формах :

$$\Pi_e = \frac{\rho}{\rho_{\text{ет}}} = \frac{K_v \gamma_{\text{ст}}}{K_e(K_q)(\eta_q + \gamma_{\text{ст}})} \to max, \quad або \quad \Pi_e = \frac{\rho}{\rho_{\text{ет}}} = \frac{\gamma_{\text{ст}}}{(\eta_q + \gamma_{\text{ст}})} * Per(P_{eq}) \to max \qquad (1)$$

де: K_v – коефіцієнт швидкості (відношення середньої швидкості автобуса в тестовому циклі до швидкості еталонного автобуса);

$\gamma_{\text{ст}}$ – коефіцієнт статичного використання пасажиромісткості автобусу;

K_e – енергетичний коефіцієнт пробігу (відношення енерговитрат даного автобуса в циклі до енерговитрат еталонного автобуса, який рухається з постійною еталонною швидкістю);
η_q – коефіцієнт спорядженої маси автобуса.

Формулу (1) можна розраховувати в двох варіантах: а) для аналізу енергетичної ефективності автобусу використовують значення (K_e, Per); б) для аналізу паливної ефективності автобусу використовують значення (K_q, P_{eq}).

Для подальшого аналізу транспортної енергоефективності автобуса використано математичні моделі коефіцієнтів енергоефективності АТЗ в тестовій операції – Per (Per = K_v/K_e) і паливної ефективності АТЗ – Peq (Peq=K_v/Kq), $К_q$ – паливний коефіцієнт пробігу (відношення витрати палива даного автобуса в циклі до витрати палива еталонного автобуса, який рухається з постійною еталонною швидкістю).

Показником інтенсивності фазових машинних процедур транспортної технології $ТВ_i$ у багатофазної тестової операції називається відношення дискретної транспортної роботи автобусу $W_i(\Delta l)$ *у і-ї* фазі операції , яка відповідає фазовому пробігу АТЗ Δl_i, до величини квадратичного імпульсу сили тяги автобуса $P_{mi}\Delta t_i$ в цієї фазі [8,9]:

$$ТВ_i = \frac{Wi(\Delta l)}{P_{mi}\Delta ti^2} \rightarrow max, \quad (2)$$

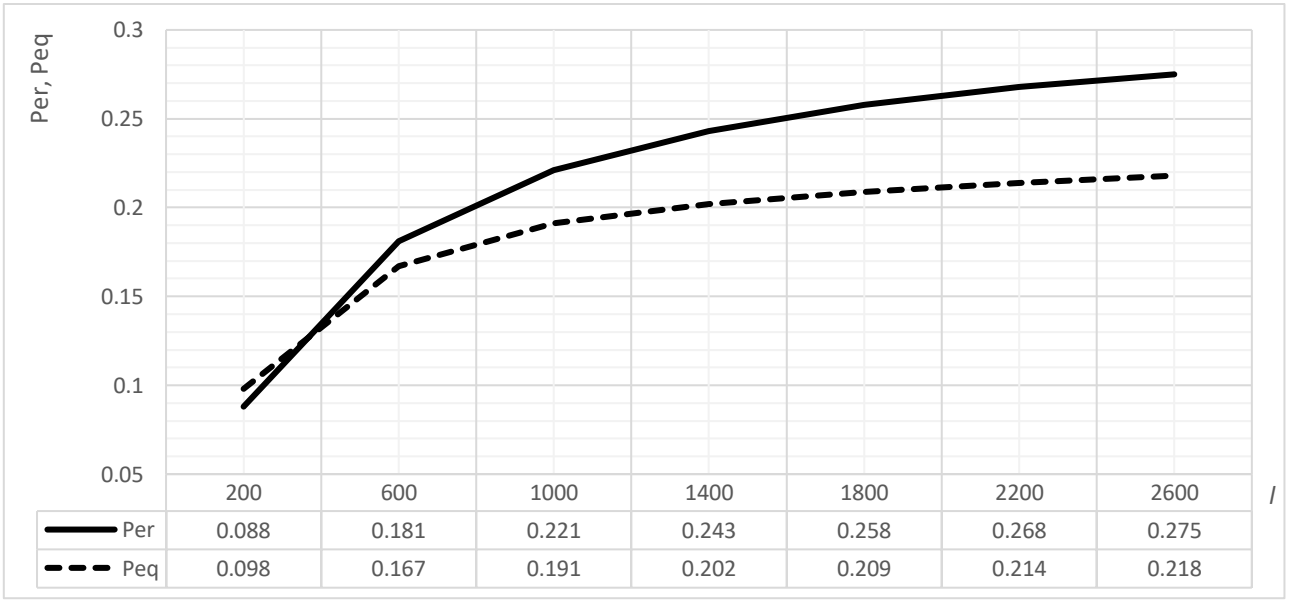
де: P_{mi} –середня сила тяги автобусу в *і-ї* фазі операції;
Δt_i – час руху автобусу в *і-ї* фазі операції;

Показником інтенсивності операційних машинних процедур транспортної технології ТВС у багатофазної тестової операції:

$$ТВС = \frac{\sum_{1=1}^{n_ф} ТВ_i * l_i}{\sum_{1=1}^{n_ф} l_i} \rightarrow max \quad (3)$$

де: l_i – довжина пробігу автобусу в і-й фазі, м;
$n_ф$ – кількість фаз руху автобуса в тестовій операції.

Проведемо аналіз впливу зміни довжини тестової операції в межах 200-2600 метрів з кроком 400 метрів на величини: коефіцієнт енергоефективності АТЗ в тестовій операції (Per) і коефіцієнт паливної ефективності АТЗ (Peq) (рис. 1) , а також показника інтенсивності операційного циклу машинних процедур транспортної технології (ТВС) у тестової операції (рис. 2).



	200	600	1000	1400	1800	2200	2600
Per	0.088	0.181	0.221	0.243	0.258	0.268	0.275
Peq	0.098	0.167	0.191	0.202	0.209	0.214	0.218

Рисунок 1 – Графіки залежності коефіцієнтів енергоефективності АТЗ в тестовій операції (Per) і паливної ефективності АТЗ (Peq) від довжини (*l*) тестової операції (перегону)
Figure 1 – Graphs of the dependence of the coefficients of energy efficiency of ATC in the test operation (Per)and fuel efficiency of ATC (Peq) from the length (l) of the test operation (race)

На рисунку 1 представлено залежність коефіцієнтів енергоефективності (Per) і паливної ефективності (Peq) від довжини тестової операції (*l*). Встановлено, що з зростанням довжини тестової операції величини Per і Peq також зростають. Різке зростання спостерігається при збільшенні довжини перегону з 200 до 400 метрів, так величина Per зростає на 205%, а значення Peq зростає на 170%. На ділянці 600-2600 метрів спостерігається майже лінійне зростання величин цих коефіцієнтів, при цьому: Per зростає на 152%, Peq зростає на 223%. Величина коефіцієнту паливної ефективності (Peq) є меншою ніж значення коефіцієнту енергоефективності (Per) у діапазоні *l*= 200-400 метрів, у точці *l* =400 метрів маємо Peq= Per; у діапазоні *l* >400 м величина коефіцієнту паливної ефективності (Peq) є більшою ніж показник енергоефективності (Per), при довжині тестової операції *l* =2600 метрів ця різниця становить 26,15%.

На рисунку 2 представлено залежність показника інтенсивності операційного циклу машинних процедур транспортної технології (ТВС) у тестової операції від довжини тестової операції (*l*). Встановлено, що при збільшенні довжини тестової операції (*l*) величини показника ТВС зменшується. При цьому, при збільшенні довжини тестової операції (*l*) з 200 до 600 метрів спостерігається найбільший спад – 273%. У діапазоні 600-2600 метрів спостерігається гіперболічний спад показників енергоефективності, при цьому ТВС знижується на 426%.

Проаналізуємо вплив радіусу колеса автобуса на величини коефіцієнтів енергоефективності (Per) і паливної ефективності (Peq) (рис. 3), а також на показник інтенсивності операційного циклу машинних процедур транспортної технології (ТВС) у тестової операції (рис. 4).

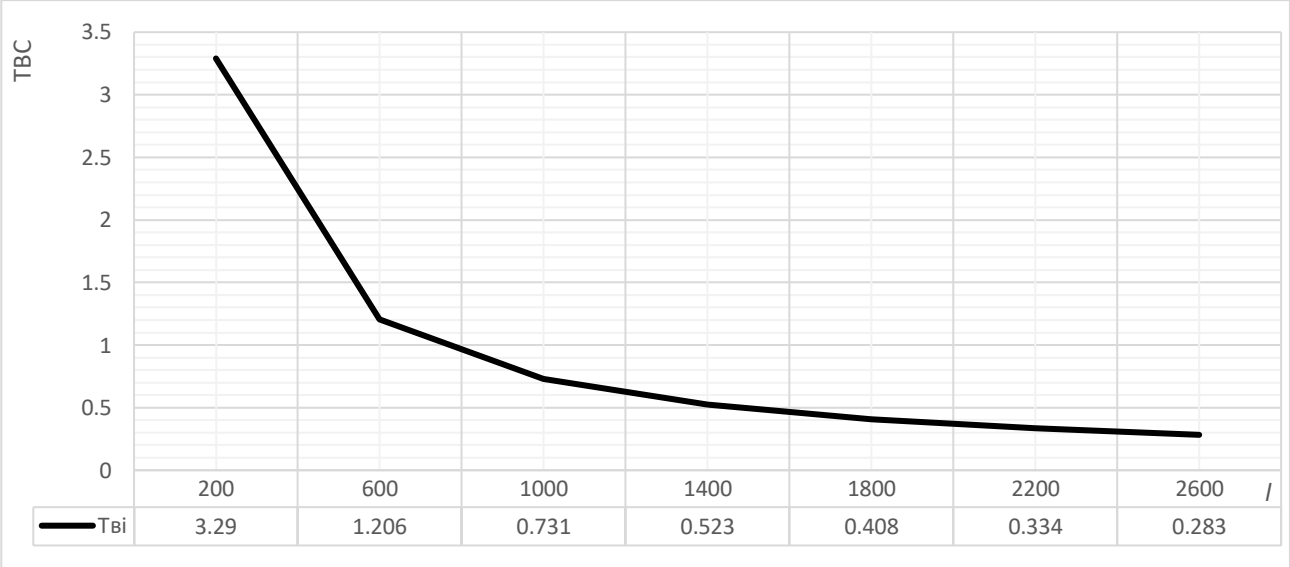


Рисунок 2 – Графік залежності показника інтенсивності операційного циклу машинних процедур транспортної технології (ТВС) у тестової операції від довжини тестової операції (*l*)
Figure 2 – Graph of the dependence of the intensity of the operational cycle of machine procedures of transport technology (TVC) in the test operation on the length of the test operation (*l*)

На рисунку 3 наведено залежність коефіцієнтів енергоефективності (Per) і паливної ефективності (Peq) від радіусу колеса (rk). Графік показує лінійне зростання на 9,87% величини коефіцієнту Peq зі збільшенням радіуса колеса автобуса (rk) від 0,52 м до 0,59 м. Величини коефіцієнту (Per) зменшуються на 10,32% при збільшенні радіуса колеса (rk) з 0,57 до 0,59 м. При цьому величини коефіцієнту (Peq) є меншими ніж коефіцієнт (Per) при радіусі колеса до 0,58 м. При rk = 0,58 м маємо Peq= Per, після чого значення величини (Peq) є більшими ніж значення коефіцієнту енергоефективності (Per), так, при радіусі колеса 0,59 м ця різниця становить 7,74%.

Рисунок 4 демонструє залежність показника інтенсивності операційного циклу машинних процедур транспортної технології (ТВС) у тестової операції від радіусу колеса (rk). Найбільше значення показника ТВі досягається при радіусі колеса rk = 0,57 (ТВС = 1,302). При збільшенні радіуса колеса (rk) з 0,57 до 0,59 м величина показника ТВС зменшується на 2,28%. При збільшенні радіуса колеса (rk) з 0,52 до 0,54 м значення показника ТВС зростає на 1,17%. Варто зазначити, що автобус МАЗ 103 має радіус колеса 0,57 м, що є екстремум даного графіку. Результати моделювання підтверджують обґрунтованість промислового вибору шин для даного автобусу.

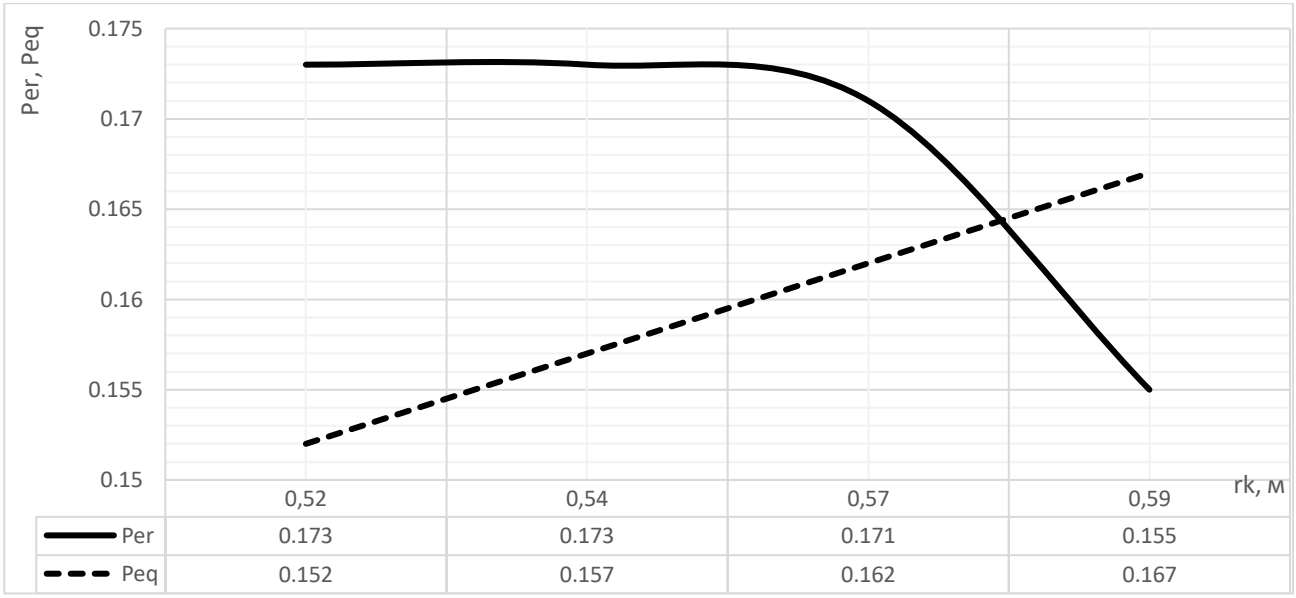


Рисунок 3 – Графіки залежності коефіцієнтів енергоефективності (Per) і паливної ефективності (Peq) від радіусу колеса (rk)
Figure 3 – Graphs of the dependence of the coefficients of energy efficiency (Per) and fuel efficiency (Peq) on the radius of the wheel (rk)

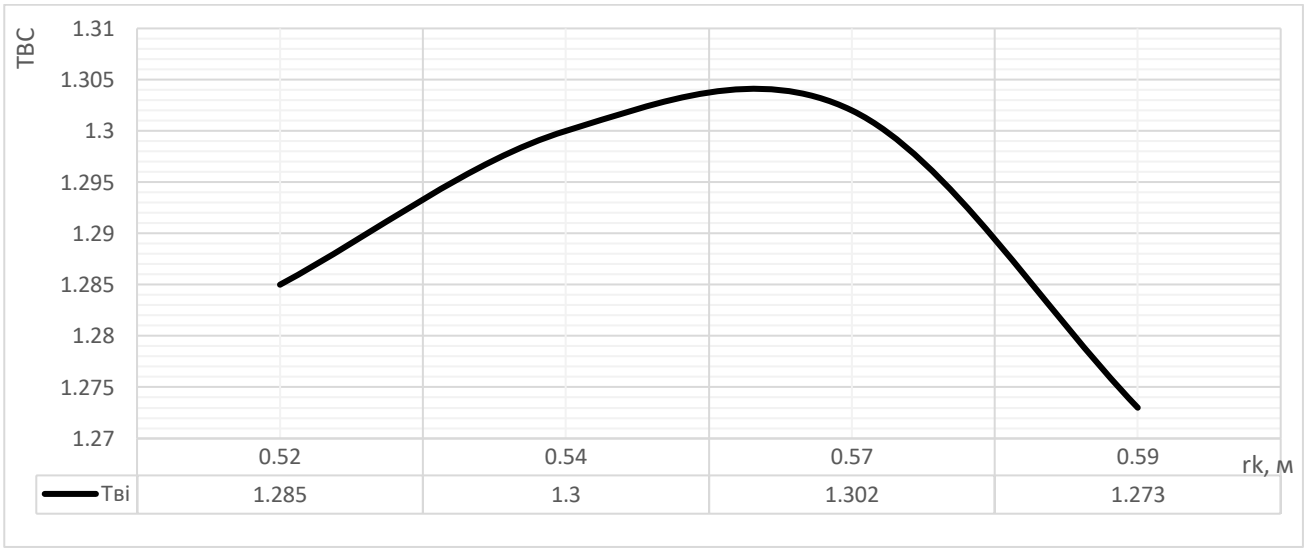


Рисунок 4 – Графік залежності показника інтенсивності операційного циклу машинних процедур транспортної технології (ТВС) у тестової операції від радіусу колеса автобусу (rk)
Figure 4 – Graph of the dependence of the intensity of the operational cycle of machine procedures of transport technology (TVC) in the test operation on the radius of the bus wheel (rk)

На рисунку 5 наведено залежність коефіцієнтів енергоефективності (Per) і паливної ефективності (Peq) від коефіцієнту використання пасажиромісткості (γ_{cm}). Для обох показників спостерігається лінійне зростання Peq на 3,85%, Per на 2,37% при збільшенні коефіцієнту використання пасажиромісткості γ_{cm} від 0,8 до 1. Паливна енергоефективність (Peq) є меншою ніж показник енергоефективності (Per). При γ_{cm} = 0,8 ця різниця становить 8,33%, при γ_{cm} = 1 – 6,79%.

Показник інтенсивності операційного циклу машинних процедур транспортної технології (ТВС) у тестової операції, приведений на рисунку 5, має лінійну спадаючу залежність при збільшенні коефіцієнту використання пасажиромісткості γ_{cm} від 0,8 до 1 ТВС знижується на 25,17%.

Рисунок 6 демонструє вплив максимальної потужності двигуна автобуса (N, кВт) на величини коефіцієнтів енергоефективності (Per) і паливної ефективності (Peq), а також на показник інтенсивності операційного циклу машинних процедур транспортної технології (ТВС) у тестової операції. При цьому

величини максимальної потужності (N, кВт) змінюються в межах ± 10% від базової потужності, що задана в технічних характеристиках автобуса.

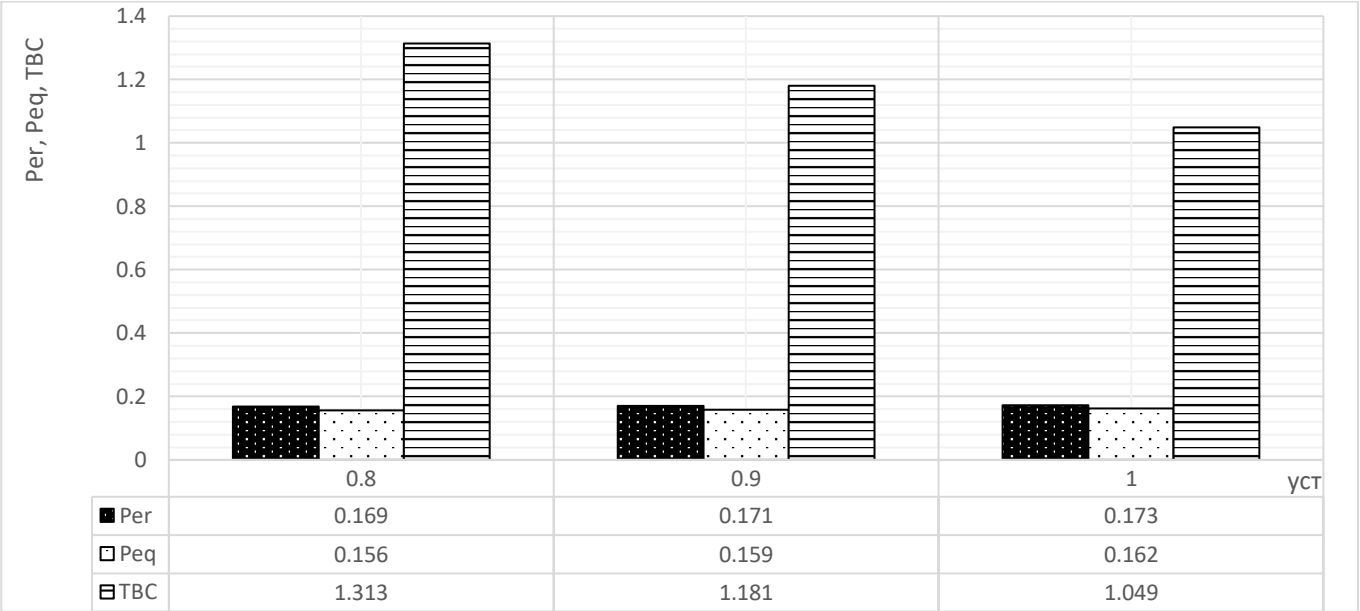


Рисунок 5 – Діаграма для аналізу впливу коефіцієнту використання пасажиромісткості (γ_{cm}) автобусу на величини коефіцієнтів енергоефективності (Per) і паливної ефективності (Peq), а також на показник інтенсивності операційного циклу машинних процедур транспортної технології (ТВС) у тестової операції

Figure 5 – Diagram for the analysis of the impact of the passenger capacity utilization factor (γst) of the bus on the values of energy efficiency (Per) and fuel efficiency (Peq), as well as on the intensity of the operational cycle of machine procedures of transport technology (TVC) in the test operation

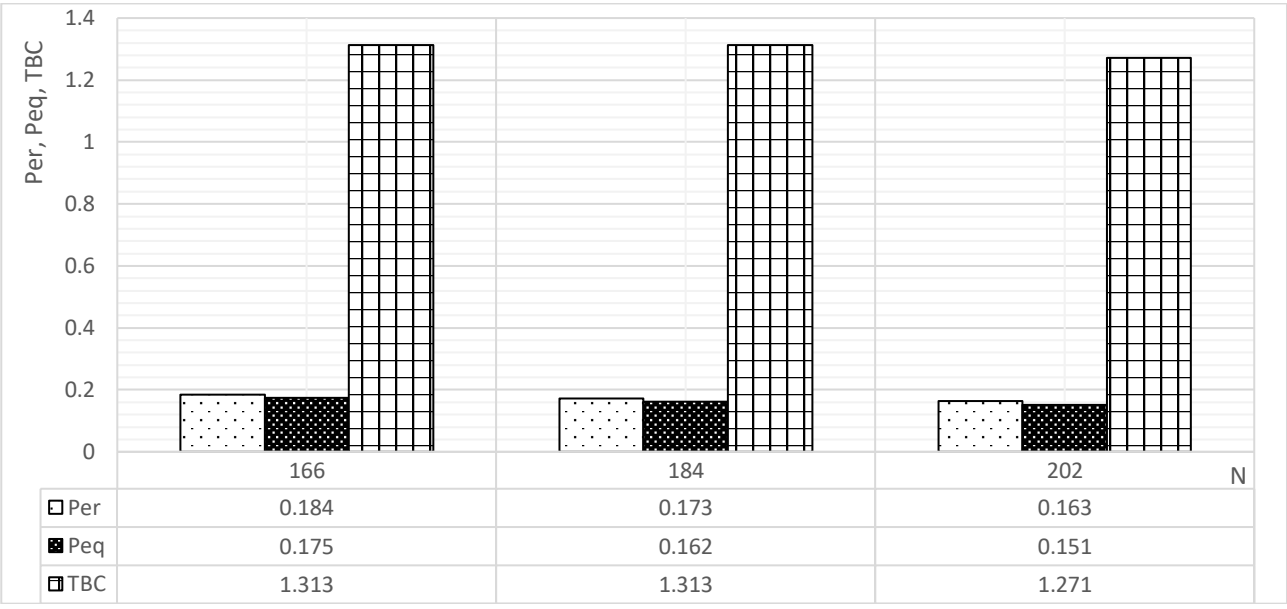


Рисунок 6 – Діаграма для аналізу впливу максимальної потужності (N, кВт) двигуна автобусу на величини коефіцієнтів енергоефективності (Per) і паливної ефективності (Peq), а також на показник інтенсивності операційного циклу машинних процедур транспортної технології (ТВС) у тестової операції

Figure 6 – Diagram for analyzing the effect of maximum power (N, kW) of the bus engine on the values of energy efficiency (Per) and fuel efficiency (Peq), as well as on the intensity of the operational cycle of machine procedures of transport technology (TVC) in the test operation

Встановлено, що величини коефіцієнтів енергоефективності (Per) і паливної ефективності (Peq) зменшуються на 12,88% і на 15,89% відповідно, з зростанням максимальної потужності двигуна автобуса (N, кВт). При цьому, значення величини (Peq) є меншими ніж значення (Per). При N = 166 (кВт) ця різниця становить 5,14%, при N = 202 (кВт) – 7,95%.

Показник інтенсивності операційного циклу машинних процедур транспортної технології (ТВС) у тестової операції також зменшується зі збільшення максимальної потужності двигуна автобуса (N, кВт) на 3,3%, при цьому для N = 166 (кВт) і N = 184 (кВт) ТВС є сталим і становить 1,313.

Залежність показника транспортної енергоефективності Пе від величини коефіцієнта використання пасажиромісткості γ_{cm} представлено на рисунку 7. У роботах [5,6] представлено закономірності впливу величини коефіцієнта використання пасажиромісткості γ_{cm} на показник транспортної енергоефективності Пе автобусів для здійснення міських пасажирських перевезень.

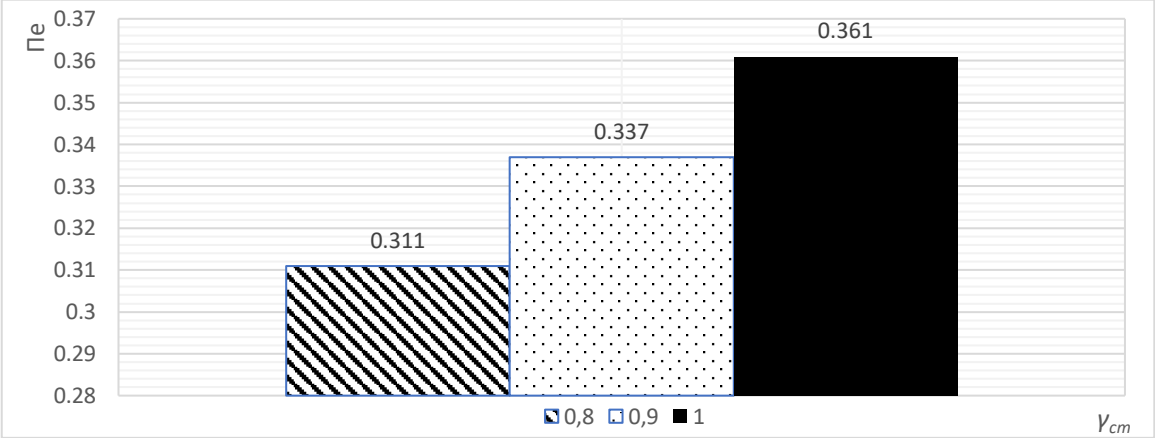


Рисунок 7 – Діаграми залежності показника транспортної енергоефективності Пе (1), від величини коефіцієнту використання пасажиромісткості (γ_{cm})
Figure 7 – Diagram of the dependence of the transport energy efficiency indicator Pe on the value of the passenger capacity utilization factor (γst)

Рисунок 7, на якому представлена залежність показника транспортної енергоефективності Пе, від величини коефіцієнту використання пасажиромісткості (γ_{cm}), демонструє збільшення показника транспортної енергоефективності Пе на 16,08% при збільшенні величини коефіцієнту використання пасажиромісткості (γ_{cm}) в діапазоні 0,8 – 1.

Висновки.

1. Встановлена актуальність використання симулятивно-тестових методів техніко-технологічного енергозбереження та підвищення технологічної конкурентоспроможності автотранспортних послуг за енергетичними критеріями при оновленні парку автобусів для міських пасажирських перевезень.

2. За результатами багатоваріантного моделювання встановлено взаємозв'язок між задачами формування енергозберігаючих технологій пасажирських автомобільних перевезень у містах та удосконалення методу технологічного вибору автобусів для міських маршрутів з урахуванням різних (технічних, експлуатаційних і маршрутних) факторів.

3. Отримано кількісні залежності впливу технічних, експлуатаційних і маршрутних факторів на показники транспортної енергоефективності перевезень та операційної інтенсивності машинних процедур технології автобусних перевезень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Публічні закупівлі Prozorro [Електронний ресурс] / – 2022. – Режим доступу до ресурсу: https://prozorro.gov.ua/tender/UA-2017-03-25-000060-b.

2. Гальона І. І. Підвищення енергоефективності перевезень дрібних партій вантажів в рамках життєвого циклу автомобіля : дис. канд. техн. наук : УДК 656.073:656 / Гальона І. І. – Київ, 2021. – 191 с.

3. Хабутдинов Р. А. Системное формирование технологий автомобильных перевозок по критериям энерго- и ресурсоотдачи : дис. докт. техн. наук: 05.22.01. Киев, 2003. 332 с.

4. Хабутдінов Р. А., Коцюк О. Я. Енергоресурсна ефективність автомобіля. К. : УТУ, 1997. 137 с.

5. Піцик М. Г. Підвищення транспортної енергоефективності міських пасажирських автобусних перевезень : дис. канд. техн. наук : УДК 656.13.072 / Піцик М. Г. – Київ, 2021. – 164 с.

6. Хабутдінов Р.А., Федоренко І.О. Аналіз впливу зміни коефіцієнта використання пасажиромісткості на транспортну енергоефективність та викиди шкідливих речовин автобуса для міських пасажирських перевезень. «SWorldJournal» Випуск №10 2021. *ISSN* 2410-6615 (Online)

7. Краткий автомобильный справочник. Том 1. Автобусы / Кисуленко Б.В. и др. – М.:НПСТ «Транспонсалтинг», 2002. – 360 с.

8. Хабутдінов Р.А., Ткаченко С. П., Піцик М. Г. Концептуальноорієнтований метод підвищення технологічної енергоефективності автобусів // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Сєвєродонецьк. 2011. № 5 (1). С. 208-212.

9. Хабутдінов Р. А., Піцик М. Г., Ткаченко С. П. Кількісна оцінка машинних процедур транспортних технологій автобусних перевезень // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Технічна серія. 2011. № 8. С. 207 – 209.

REFERENCES

1. Public procurement of Prozorro [Electronic resource] / – 2022. – Mode of access to the resource: https://prozorro.gov.ua/tender/UA-2017-03-25-000060-b.

2. Galona I.I. Improving the energy efficiency of small consignments within the life cycle of the car: dis. Cand. tech. Sciences: UDC 656.073: 656 / Galona I.I. – Kiev, 2021. – 191 p.

3. Khabutdinov R.A. System formation of technologies of automobile transportations on criteria of power and resource return: dis. Dr. tech. Science: 05.22.01. Kiev, 2003. 332 p.

4. Khabutdinov R.A., Kotsyuk O. Ya. Energy efficiency of the car. K.: UTU, 1997. 137 s.

5. Pitsyk M.G. Improving the transport energy efficiency of urban passenger bus transportation: dis. Cand. tech. Sciences: UDC 656.13.072 / Pitsyk M.G. – Kiev, 2021. – 164 p.

6. Khabutdinov R.A., Fedorenko I.O. Analysis of the impact of changes in the utilization rate of passenger capacity on transport energy efficiency and emissions of harmful substances of the bus for urban passenger transport. «SWorldJournal» Issue №10 2021. ISSN 2410-6615 (Online)

7. Short car guide. Volume 1. Buses / Kisulenko B.V. et al. – M .: NPST «Transponsalting», 2002. – 360 p.

8. Khabutdinov R.A., Tkachenko S.P., Pitsyk M.G. Conceptually oriented method of improving the technological energy efficiency of buses // Bulletin of the East Ukrainian National University. V. Dahl. Severodonetsk. 2011. № 5 (1). Pp. 208-212.

9. Khabutdinov R.A., Pitsyk M.G., Tkachenko SP Quantitative assessment of machine procedures for transport technologies of bus transportation // Project Management, Systems Analysis and Logistics. Technical series. 2011. № 8. S. 207 – 209.

РЕФЕРАТ

Федоренко І.О. Аналіз впливу маршрутних та експлуатаційних факторів на транспортну енергоефективність міських пасажирських перевезень / І.О. Федоренко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

У статті встановлена актуальність використання симулятивно-тестових методів техніко-технологічного енергозбереження та підвищення технологічної конкурентоспроможності автотранспортних послуг за енергетичними критеріями при оновленні парку автобусів для міських пасажирських перевезень. Показано, що існуюча методологія організації автобусних перевезень не забезпечує оновленні парку автобусів для міських пасажирських перевезень за концепцією експлуатаційно- технологічного енергозбереження та підвищення технологічної конкурентоспроможності автотранспортних послуг. За результатами багатоваріантного моделювання встановлено взаємозв'язок між задачами формування енергозберігаючих технологій пасажирських

автомобільних перевезень у містах та удосконалення методу технологічного вибору автобусів для міських маршрутів з урахуванням різних (технічних, експлуатаційних і маршрутних) факторів. Отримано кількісні залежності впливу технічних, експлуатаційних і маршрутних факторів на показники транспортної енергоефективності перевезень та операційної інтенсивності машинних процедур технології автобусних перевезень.

Об'єкт дослідження- енерговитратний процес міських автобусних перевезень із урахуванням впливу різних факторів (технічних, експлуатаційних і маршрутних).

Мета роботи- аналіз впливу маршрутних та експлуатаційних факторів на транспортну енергоефективність міських пасажирських перевезень на основі тестового моделювання функціонування автобусу як ресурсно-технічного засобу автотранспортної технології.

Метод дослідження – еволюційно-симулятивний аналіз показників транспортної енергоефективності перевезень та операційної інтенсивності машинних процедур технології автобусних перевезень у багатофазних тестових операціях, у яких враховуються умови маршрутної мережі міста та різні фактори автобусних перевезень, при цьому використано програмне забезпечення та методики тестово-симулятивного аналізу транспортної енергоефективності автомобілів узагальненого типу кафедри транспортних технологій НТУ.

Результати статті і пропонований метод можуть бути реалізовані управлінцями пасажирського автотранспорту для довгострокового управління концептуально-орієнтованим розвитком ресурсно-технологічного базису автотранспортних підприємств і технологічних процесів автобусних перевезень у містах.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОБУС, МІСЬКІ ПАСАЖИРСЬКІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ТРАНСПОРТНА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ОПЕРАЦІЙНА ІНТЕНСИВНІСТЬ МАШИННИХ ПРОЦЕДУР ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ТЕХНІЧНІ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ФАКТОРИ, ЕВОЛЮЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.

ABSTRACT

Fedorenko I.O. Analysis of the impact of route and operational factors on transport energy efficiency of urban passenger transportation. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The article establishes the relevance of using simulation test methods of technical and technological energy saving and increasing technological competitiveness of motor transport services according to energy criteria when renewing the fleet of buses for urban passenger transportation. It is shown that the existing methodology of bus transport organization does not provide urban passenger bus fleet renewal according to the concept of operational and technological energy saving and improvement of technological competitiveness of automobile transport services. According to the results of multivariate modeling the interrelation between the tasks of formation of energy saving technologies of passenger urban road transport and improvement of the method of technological selection of buses for urban routes with taking into account different (technical, operational and routing) factors. Quantitative dependences of influence of technical, operational and route factors on indexes of transport energy efficiency of transportations and operational intensity of machine procedures of bus transport technologies are received.

The object of the research is the energy-consuming process of urban bus transportations taking into account the influence of various factors (technical, operational and route factors).

Purpose of work – analysis of route and operational factors influence on transport energy efficiency of urban passenger transportation based on test modeling of bus operation as resource-technical means of motor transport technology.

The method of the research is evolution-simulation analysis of transport energy efficiency of transportation and operational intensity of machine procedures of bus transportation technology in multiphase test operations, in which city route network conditions and different factors of bus transportation are taken into account, using software and methods of test-simulation analysis of generalized type vehicles of the NTU Department of Transport Technologies.

The results of the article and the method can be implemented by managers of passenger motor transport for long-term management of conceptually oriented development of resource and technological basis of motor transport enterprises and technological processes of bus transportation in cities.

KEYWORDS: BUS, URBAN PASSENGER TRANSPORTATION, TRANSPORT ENERGY EFFICIENCY, OPERATIONAL INTENSITY OF MACHINE PROCEDURES, TECHNOLOGY TECHNICAL AND OPERATIONAL FACTORS, EVOLUTIONARY MODELING.

АВТОРИ:

Федоренко Ірина Олександрівна, аспірант, Національний транспортний університет, e-mail: fedorenko.ntu@gmail.com, моб. тел. +380506247020, Україна,02155, Київська обл., м. Київ, бул. Я. Гашека буд.8 к. 56 orcid.org/0000-0002-8690-5673

AUTHORS:

Fedorenko Iryna Alexandrovna, postgraduate student, National Transport University, e-mail: fedorenko.ntu@gmail.com, mob. tel. +380506247020, Ukraine, 02155, Kyiv region, Kyiv, blvd. J. Hasek building 8 room 56 orcid.org/0000-0002-8690-5673

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мнацаканов Р.Г., доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден, Київ, Україна.

Петрашевський О.Л., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, кафедра аеропортів, Київ, Україна.

REVIEVER:

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, Ukraine.

УДК 656.025
UDC 656.025
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-408-415

МЕТОДОЛОГІЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНО-СТАЛИМ РОЗВИТКОМ НА АВТОТРАНСПОРТІ

Хабутдінов Р.А., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, habutd1@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1329-5739

METHODOLOGY OF CONCEPTUAL MANAGEMENT OF TECHNOLOGICALLY SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN MOTOR TRANSPORT

Khabutdinov R.A., doctor of engineering siences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, habutd1@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1329-5739

Актуальність. Умови ринкової економіки характеризуються високою лабільністю цін ресурсів у часі, а також механізмів взаємодії попиту та пропозицій на автотранспортні послуги. У цих умовах конкурентні стратегії сталого розвитку (susnainable development) автомобільного транспорту (АТ) можуть бути забезпечені на основі етапної реалізації концептуально-цільових інновацій у його ресурсно-технічному та технологічному базисі (РТТБ), а також у процесах автомобільних перевезень (ПАП). Методи обґрунтування таких інновацій формуються на основі науково-практичної концепції високотехнологічного та ресурсобережливого відтворення автотранспортних послуг (ВТРБВАП) [1].

При цьому концептуально-цільове управління технологічно-сталим розвитком має виходити з двох принципів: а) аналізу та симулятивно-композиційного синтезу енергоефективно продуктивних елементів РТТБ та ПАП; б) методично узгодженого техніко-технологічного енерго- та ресурсозбереження у життєвому циклі автомобіля (ЖЦА), а також у циклах експлуатаційного відтворення автотранспортних послуг (ЖЦЕВАП). Відомо, що до структури ЖЦА входять три етапи: а) створення автомобіля як складного конвенційно-регламентованого (за міжнародними стандартами) технічного засобу для автомобільних перевезень; б) ринковий обіг автомобіля як складного науково-технічного товару транспортно-виробничого призначення; в) експлуатація автомобіля як перевізного засобу. До структури ЖЦЕВАП входять три етапи: а) маркетингового обґрунтування концептуально-споживчих та транспортно-технологічних властивостей нового автомобіля для заданих умов його експлуатації; б) транспортно-технологічної експлуатації автомобіля як ресурсно-технічного засобу для тривалого відтворення та споживання автотранспортних послуг [1]; в) післяексплуатаційного обґрунтування цільових вимог перевізника до першого та другого етапів ЖЦА виходячи з мети концептуального управління технологічно-сталим розвитком РТТБ та ПАП на кожному автотранспортному підприємстві.

Для забезпечення названої мети до високої автомобільно-транспортної технології висуваються такі етапно-інноваційні вимоги: а) процедурної та операційної адаптивності до змінних станів дорожньо-трафікової інфраструктури автотранспортної системи (АВТС); б) відповідності екологічним нормам та підвищення транспортної енергоефективності нових АТЗ в автотранспортний операції з урахуванням еволюції їх структурно-параметричних характеристик; в) безпечного підвищення адаптивної продуктивності та енерготехнологічної ефективності як автотранспортних операцій, так і процесів; г) концептуально-орієнтованого підвищення енергоресурсної ефективності елементів РТТБ та ПАП з урахуванням їх експлуатаційних особливостей.

Іманентними особливостями практики та теорії ПАП є: а) велика різноманітність факторів автотранспортних процесів (конструктивно-технічних, дорожніх, транспортно-експлуатаційних, термінальних та технологічних); б) високі рівні траєкторної небезпеки, енерговитратності та ресурсоємності автотранспортних операцій у дорожньому трафіку; в) негативний вплив дорожньо-трафікового середовища на значне зменшення транспортної продуктивності, енергоефективності та енерготехнологічної ефективності нових АТЗ та ПАП; г) метафізична спрощеність математичних моделей теорій економіки та організації транспортних процесів, у яких нехтуються: матеріально-продуктивні властивості елементів РТТБ (технічних ресурсів, автотранспортних технологій та процесів), техніко-технологічні інновації, вищезазначені фактори ПАП, а також парадоксальна фрагментарність та суперечливість видів знань про проекти ПАП та етапів ЖЦЕВАП [1].

Для можливості реалізації вищевказаних принципів концептуально-цільового управління сталим розвитком АТ, з урахуванням вимог та іманентних особливостей ПАП, на ранніх етапах планування інновацій необхідно використовувати нову – матеріально-виробничу та технологічно-інноваційну (МПТІ) парадигму знань про його РТТБ та ПАП [2] . Ця парадигма виходить із розгляду

АТ як сфери реалізації матеріальних, але технологічно-парадоксальних процесів виробництва та відтворення автотранспортних послуг. Негативний вплив цих парадоксів призводить до неявної фрагментарності та суперечливості інноваційних знань про РТТБ, ПАП та ЖЦЕВАП. У зв'язку з цим у новій методології необхідно реалізувати двоєдині принципи інтеграції інноваційних фрагментарних знань та гармонізації їх парадоксальних протиріч [1,2]. Під **технологічною парадигмою** знань на автотранспорті розуміються: матеріально-виробничий підхід до ПАП, логіка забезпечення високотехнологічно сталого розвитку, аксіоми та принципи, а також теоретичні схеми опису РТТБ, ПАП та довгострокового процесу відтворення автотранспортних послуг. На основі останніх (а саме-теоретичних схем) формуються: наукова ідея, технологічна логіка, зразки постановки проблеми сталого техніко-технологічного розвитку, а також методи декомпозиційного аналізу та еволюційно-композиційного синтезу ресурсозберігаючих технологій та автотранспортних процесів.

Аналіз аксіом та принципів, на яких базуються математичні моделі теорій економіки та організації автотранспортних процесів [3,4], показав, що ще в минулому столітті в умовах нерозвиненості теорії транспортних технологій була прийнята і використовується в даний час вихідна метафізично спрощена та сервісно-комерційна (МССК) парадигма техно-емпіричних знань про АТ як сферу транспортного обслуговування за теоретичною схемою віртуального транспортування вантажів та пасажирів між транспортними терміналами. При цьому замість функціонування автомобіля як елемента РТТБ і як ресурсно-технічного засобу виробництва автотранспортної послуги розглядається поведінка віртуально-рухомого кузова (рухомий склад) [3]. Крім того, використовується спрощена модель віртуально-транспозиційної операції (замість матеріально-транспортної). Такий підхід дозволив спростити на АТ економічні та експлуатаційні розрахунки шляхом заперечення як технічних та технологічних знань, так і відповідних інновацій. Проте наслідком прийняття МССК-парадигми та названих заперечень є технологічна недостовірність гносеологічного потенціалу існуючих методів економічного та експлуатаційного аналізів [3,4]. Відсутня низка принципових аспектів потенціалу: дискриптивності, співставленості, пояснувальності, аналітичності моделей. Тому неможливе концептуально-цільове управління сталим розвитком АТ як сфери технологічно парадоксального матеріального виробництва та інноваційного відтворення автотранспортних послуг. У зв'язку з викладеним представлені основи управління технологічно-сталим розвитком на автотранспорті.

Основна частина. З вищевикладеного випливає, що проблема концептуального управління технологічно-сталим розвитком на автотранспорті (АТ) є складною і для її вирішення потрібен новий концептуально-цільовий поняттєво-критеріальний апарат. До нього входить низка нових понять.

1) **Методологічне усунення негативного впливу технологічних парадоксів АТ** – це сукупність методів усунення негативного впливу парадоксів у вигляді розривів між різними видами знань (фізичними, технічними, організаційними, технологічними та економічними); до них відносяться такі методи: а) використання моделі енергоеквівалентної транспортної операції (замість існуючої-віртуально транспозиційної), а також моделей операційно-тестового, еволюційно-симулятивного та еталоно-порівняльного аналізу (замість розрахунків часу та витратності віртуального транспортування); б) еволюційно-симулятивного вибору комплексів техніко-технологічних інновацій у проектах транспортно-технологічної експлуатації нових автомобілів (АТЗ) та у проектах експлуатаційного відтворення автотранспортних послуг (ЖЦЕВАП) на основі математичних моделей натурально-вартісних показників комплексного аналізу протизатратної та енергоресурсної ефективності процесів; такі методи нейтралізації парадоксів дозволяють вперше реалізувати принцип системної інтеграції знань про технологічний розвиток АТ з урахуванням його матеріально-виробничої структури Sва;

$$S_{ва} \in (ТКУНА, RТТБ, ТПАП), \quad (1)$$

де ТКУНА – технологічно-компетентна керуюча надбудова АТ (включає: власників капіталу (ВК), два види управлінських ресурсів $R_У$ для забезпечення: тактик функціонування $R_{УТ}$ і стратегій сталого технологічного розвитку $R_{УС}$); РТТБ-ресурсно-технічний та технологічний базис АТ; ТПАП - технологічні процеси автомобільних перевезень.

2) **Комплекс техніко-технологічних інновацій**-NVTT, до нього належать: а) конструктивно-технічні новації – сукупність змінюваних у часі характеристик уніфікованої схеми структурно-параметричної та модульної організації конструкції автомобілів узагальненого типу як нових ресурсно-технічних засобів транспортного виробництва; б) технологічні новації – сукупність змінюваних у часі показників інтенсивності процедурно-процесних елементів транспортних технологій: ресурсно-технічних якостей АТЗ, машинних процедур технологічних впливів; процесів

транспортного перетворення енергії АТЗ та енергетичного перетворення технологічних ресурсів транспорту у тестових автотранспортних операціях; в) техніко-технологічні інновації – сполучені у проектах транспортних процесів та експлуатаційно-обґрунтовані сукупності конструктивно-технічних та технологічних новацій, які дозволяють етапно реалізувати концептуально-орієнтовані схеми високотехнологічного та ресурсозберігаючого відтворення автотранспортних послуг (ВТРВАП); використання зазначених понять про новації вперше дозволило відмовитися від використовуваного в теорії організації перевезень [3] принципу незмінності низьких технологій - FULT (freezing undescribed low technology) і перейти до нового принципу їх розвитку – DDHT (developed and described high technologies (замість FULT));

3) П**роцес технологічно-сталого розвитку АТ** – сукупність проектно-змінюваних, концептуально-спрямованих та інноваційно-сформованих станів РТТБ автотранспорту та його технологічних ПАП у часі відповідно до принципу DDT та концепції ВТРБВАП;

4) С**тратегії управління технологічно інноваційним розвитком АТ**: а) концептуальної спрямованості всіх новацій; б) використання вищезазначених двох принципів концептуально-цільового управління сталим розвитком: властивостей технічних ресурсів-PRT, автотранспортної технології-АТТ, а також РТТБ та ТПАП; в) експлуатаційно-раціональної реалізації комплексу техніко-технологічних інновацій NVTT; г) операційно-тестового та еталоно-порівняльного підвищення величин показників транспортної енергоефективності нових АТЗ з урахуванням їх екологічності; д) підвищення енерготехнологічної ефективності проектів ПАП; е) формування концептуально-орієнтованих структур РТТБ у кожному підприємстві АТ.

5) **Врахування системного призначення та стратегій технологічно сталого функціонування АТ**- в автотранспортній системі (АВТС) має триєдині призначення: а) як ринково децентралізована корпорація перевізників та автовласників для технологічно-парадоксального матеріального виробництва транспортних послуг та їх технологічно-інноваційного відтворення згідно з етапами реалізації науково-технічного прогресу та транспортного попиту; б) як активно-виробнича підсистема АВТС для забезпечення автомобільних перевезень в інфраструктурних траєкторіях АВТС та транспортно-енергетичного перетворення потенційних ресурсів (створеної продукції та майбутніх пасажирів) економіко-соціумної макросистеми (ЕСМ) країни в реальні внаслідок їх перевезення; в) як сфера транспортного обслуговування та самообслуговування суб'єктів ЄСМ та населення.

Для реалізації своїх триєдиних призначень АТ, як корпорація і підсистема, забезпечує виконання шести функцій: а) ФА1 – транспортне виробництво, в яке залучаються та енергетично перетворюються технологічні ресурси $R_{ТХ}$ у фізичний продукт $W_ф$, функція ФА1 виконується на основі автотранспортної технології та людино-машинної праці, які використовуються для залучення $R_{ТХ}$ в три фізико-технічні механізми автотранспортної операції (комплексної взаємодії-пневмоколісної мобільності –адаптивного транспортування);

б) ФА2 – транспортне обслуговування (як результат ФА1), яке фіксується на основі обліку пар термінальних подій (відправлення $П_в$ – прибуття $П_п$), проміжок часу між цими двома подіями приймається як час руху автотранспортного засобу (АТЗ) [3], це означає, що розглядається не транспортна операція, а транспозиційна, без урахування процесів матеріального транспортування предметів та транспортного виробництва; отже, при аналізі ФА2 використовується емпіричний та термінально-подійний підхід, а також теоретична схема віртуального (нематеріального) транспортування предметів [3];

в) ФА3 – транспортний капіталообіг як схема циклічного руху авансованого капіталу для оперативної реалізації функції ФА2 та накопичення капіталу для техніко-технологічної інновації функції ФА1; при цьому можуть бути дві різні логіки авансування капіталу: сервісно-економічна (вибір рухомого складу за його ринкової ціни) і концептуально-технологічна (вибір носія технічних ресурсів за рівнем його транспортної енергоефективності);

г) ФА4 – ринкове ресурсо-забезпечення функції ФА1 та концептуальної модернізації РТТБ;

д) ФА5 – функція довгострокового та технологічно інноваційного відтворення автотранспортних послуг за принципами науково-технічного та технологічного прогресу для забезпечення концептуально-цільового і сталого розвитку АТ;

е) ФА6 – сервісно-технічна функція для технічного обслуговування та ремонту автомобілів (додаткова та неосновна функція для більшості малих та середніх автотранспортних підприємств).

Автотранспортна технологія (АТТ) призначена для інфраструктурно-адаптивної, операційно-якісної та довгострокової реалізації двох важливих функцій АТ-ФА1 та ФА5, а також для формування фізико-технічних механізмів і автотранспортної операції (ФТМАО). Термін «Транспортна технологія» витікає із сенсів трьох іншомовних слів: від латинського «транспортаре» –

матеріально пересувати різні предмети, а також від двох грецьких – «технос» – це якісний фізичний продукт АТ, «логос» – наукові знання про аналіз і синтез процесів створення «техносу».

З урахуванням призначення і сенсів цього терміну **під автотранспортною технологією розуміється сукупність науково-практичних знань про продукто-фокусовані, матеріально-креативні та процедурно-структуровані способи адаптивного транспортування предметів та тривалого відтворення концептуально-якісних автотранспортних послуг у процесах автомобільних перевезень**.

Структура автотранспортної технології (АТТ) S_{ATT} складається з трьох компонент: а) компонента КТТ1 – сервісно-організаційна – організаційні форми з'єднання термінальних та транспортних операцій за критеріями витрат та часу; б) компонента КТТ2 – виробнича та процедурно-процесна (сутнісна частина); до структури КТТ2 входять: ПП – предмети перевезень (вантажі, пасажири); R_{TX} – технологічні ресурси (це цілісна сукупність: технічних ресурсів – R_T; енергетичних ресурсів – R_E; трудових ресурсів – R_{TP}); технологічні процедури: $П_T$ – множина трудових процедур; $П_M$ – множина машинних процедур; три технологічні процеси носія технічних ресурсів (РП – робочі процеси АТЗ, ЕТ – транспортне перетворення енергії АТЗ, ETPW – процеси енергетичного перетворення виробничих ресурсів АТ у його фізичний продукт; в) компонента КТТ3 – гносеологічно-регламентативна (автотранспортний «логос» з математичними моделями та правилами виконання автотранспортних операцій).

Завдяки вказаної структури АТТ має **комплексне значення** для АТ и АВТС: а) **автотранспортне-виробниче** – це ресурсне і процедурно-процесне забезпечення базисної функції АТ-транспортного виробництва ФА1 за схемою матеріального транспортування вантажів і пасажирів; б) **автотранспортне-економічне** – це ресурсне і процедурно-процесне забезпечення композиційного з'єднання капіталів і праці АТ з урахуванням експлуатаційних умов автомобільних перевезень; в) **підсистемне-інтерактивне** – це матеріальне і процедурне забезпечення механізмів взаємодії технологічних ресурсів АТ з елементами дорожньої та термінальної інфраструктур АВТС; г) **автотранспортне-гносеологічне** – воно полягає в принципах, розрахункових схемах і математичних моделях аналізу транспортного виробництва та розвитку компоненти КТТ2 з урахуванням: ресурсно-технічних властивостей АТЗ як засобу виробництва, виробничої сутності АТТ, властивостей траєкторних елементів інфраструктури АВТС при їх взаємодії з технологічними ресурсами АТ; д) **автотранспортне-інноваційне** значення АТТ полягає в методологічному забезпеченні компонентою КТТ3 рішення наукових задач концептуального управління технологічно-сталим розвитком на АТ: достовірного співставлення, декомпозиційного аналізу, інноваційного обґрунтування та композиційного синтезу проектів високо-технологічного і ресурсозберігаючого відтворення автотранспортних послуг з урахуванням концептуально-цільових вимог до РТТБ і майбутніх автомобільних перевезень.

Далі представлена структура матеріальної автотранспортної операції S_{ATO}:

$$S_{ATO} Є (L_{мт}(P_{дт}), R_т(K_{jr},P_{RT}, t), M_п, ТПЗО, n_д, ФТМАО(i), КТТ2, W_{мф}, t), (ФА1,ТОВВ)\rightarrow real, \quad (2)$$

де: $L_{мт}(P_{дт})$ – відстань між початковим і кінцевим терміналами з урахуванням властивостей $P_{дт}$ дорожньо-трафікової інфраструктури; $n_д$ – кількість ділянок маршруту руху за ознакою рівня автотранспортної безпеки; $R_т(K_{jr},P_{RT})$ – носій технічних ресурсів АТ з урахуванням структурно-параметричної організації АТЗ і його ресурсно-технічних властивостей P_{RT} [2,7] ; $M_п$ – партионна маса вантажу або пасажирів, ТПЗО-модель транспозиційної операції за схемою віртуального транспортування предметів; ФТМАО(i) – фізико-технічні механізми автотранспортної операції (комплексної взаємодії АТЗ (i=1), пневмоколісної мобільності АТЗ (i=2), адаптивного та енерговитратного транспортування (i=3)), i=1,2,3; КТТ2 – друга, виробнича і процедурно-процесна компонента АТТ; $W_{мф}$ – маршрутно-фізичний продукт АТ (сукупність імпульсів кількості адаптивного руху АТЗ як об'єкту керування); t – плановий етапно-інноваційний період часу використання нового носія технічних ресурсів $R_т(K_{jr},P_{RT}, t)$; ТОВВ – три операційно-виробничі вимоги до матеріальної автотранспортної операції (адаптивної продуктивності, траєкторної безпеки, енергоефективності).

Далі представлений комплекс шості стратегій концептуального управління технологічно-сталим розвитком на автотранспорті (АТ).

1. Стала стратегія **експлуатаційної ідентифікації нових АТЗ** реалізується на основі моделі модульної структурно-параметричної організації конструкції нового автомобіля (СПОКА) K_{jr} для аналізу NVKT і NVGT має такий вигляд [6,7]:

$$K_{jr}^{N}(t) \in \left(x_{imp}^{N}, y_{iml}^{N}\right)_{jr}, \quad t=t_1, t_2, t_3 \ldots t_n, \quad (3)$$

де – x_{imp}^{N} оновлена підмножина p-их параметрів m-го конструктивно-функціонального модуля в і-му пристрої СПОКА; N – верхній індекс ознаки інноваційності СПОКА; y_{iml}^{N} – оновлена підмножина l-их характеристик структури m-го конструктивно-функціонального модуля і-го пристрою СПОКА, (i = 1, 2, 3, 4), (m = 1, 2, 3, 4), (l=l_1, l_2, l_3 …); 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, $n_в$, де $n_в$ – число варіантів автомобілів з реалізованими технічними новаціями).

2.Стала стратегія **управління інноваційним розвитком автотранспортної технології** (АТТ) в ЖЦА і в ЖЦЕВАП забезпечується на основі проектної ідентифікації, обґрунтування та реалізації комплексу техніко-технологічних новацій- NVTT:

$$NVTT \in (NVKT, NVGT, NVTS, NVTL, NVET, t) \rightarrow real, \quad (4)$$

де NVKT- конструктивно-технічні новації в структурно-параметричної організації K_{jr} нового автомобіля; NVGT- нові параметри автомобіля як науково-технічного товару; NVTS- новації транспортного сервісу в структурі КТТ1; NVTL- технологічні новації в структурі КТТ2; NVET- новації економіко-технологічні в етапних проектах розвитку ПАП (підвищення додаткового продукту АТ і енергоресурсної ефективності автотранспортних послуг на основі інноваційної АТТ).

3.Стала стратегія **управління рівнями раціональної продуктивності, концептуально-технологічної якості та енергоефективності нових АТЗ**-реалізується на основі критерія транспортної енергоефективності АТЗ $П_E(K_{jr})$ як ресурсно-технічного засобу виробництва з урахуванням його структурно-параметричної організації K_{jr}, що визначається наступним чином [6,7]:

$$П_E(K_{jr}, t) = \frac{K_{VP}(K_{jr},\ Рд1, Рд2)}{K_{EP}(K_{jr},\ Рд1,\ Рд2)} \cdot \frac{\gamma_{ст}}{(\gamma_{ст}+\eta_q)} \rightarrow max, \quad K_{jr}(t) \rightarrow Var, \quad P_{д1} \rightarrow Var, \quad P_{д2} \rightarrow Var, \quad (5)$$

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 $W_ф$); $P_{дl}$ і $P_{д2}$ – властивості дороги як поверхні кочення і як комунікативного каналу; $\gamma_{ст}$ і η_q- коефіцієнти використання вантажопідйомності (або місткості автобуса) автомобіля і його спорядженої маси; t-етапи інновацій, t=t_1, t_2,t_3… t_n .

Критерій (5) використовується для аналізу конструктивно-технічних NVKT і товарно-технічних новацій NVGT, а також для вдосконалення СПОКА K_{jr} (3) і компоненти технології КТТ2.

4.Стала стратегія **інноваційного підвищення транспортно-виробничої інтенсивності автотранспортної операції та АТТ-** забезпечується на основі показника операційної інтенсивності ОІ машинних процедур автотранспортної технології в тестових операціях [6,7] :

$$ОІ(t) = \frac{M_п V}{P_{ср} t} \rightarrow max, \ t=t_1, t_2,t_3… t_n \quad (6)$$

где $M_п$ –партионна маса вантажу або пасажирів; V і t –швидкість та чіс руху АТЗ в наданій фазі тестової операції; $P_{ср}$ –середня сила тяги АТЗ в наданій фазі тестової операції;

5. Стратегія **управління технологічно-сталим розвитком інноваційних процесів автомобільних перевезень-**базується на використанні енергоеквивалентних критеріїв енерготехнологічної ефективності перевезень [5,6] :

$$\begin{cases} K_w(K_{jr}, Φ_e, NVTT, t) * W_г(Φ_e) \rightarrow max \\ K_s(K_{jr}, Φ_e, NVTT, t) * S_w(Φ_e) \rightarrow min \end{cases}, \ t=t_1, t_2,t_3… t_n \quad (7)$$

де $W_г$ і S_w – 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]; 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 [2,6]; $Φ_e$ – множина експлуатаційних факторів віртуально-спрощеної розрахункової схеми транспортного процесу [3]; t-змінний час.

6. Комплексна стратегія **концептуального управління технологічно-сталим розвитком на автотранспорті** [2,4,5,]- базується на цільовой функції TFM_{RS} – етапно інноваційного аналізу і синтезу процесів ВТРБВАП на АТ (з урахуванням факторів технологічно-инноваційного додаткового продукту АТ і модернізаційної зміни енергоресурсної витратності автомобіле-години роботи АТЗ на наданому маршруті – m_a), з урахуванням моделей (2) – (7) і має наступний вигляд:

$$TFM_{RS} = \frac{PTh\ (NVTT,t)}{W_{\text{го}} * T_{wo}} = \big(1 + \beta_R(NVTT,t)\big) \cdot [\frac{m_{\text{т}}(t)}{m_a(NVTT,t)} - m_s(NVTT,t) * \Phi_{\text{од}}] \rightarrow max, \quad (8)$$

де PTh- годинний транспортний прибуток; $\beta_R -$ показник інноваційного приросту енергоресурсної віддачі технологічного проекту перевезень, при $\beta_R > 0$ реалізується проект за умови забезпечення ВТІПРВАТП; $m_{\text{т}}(\text{t}) -$ коефіцієнт прогнозного приросту тарифу на 1 ткм -T_{w0}, $m_{\text{т}} > 1$; $m_a -$ фактор модернізаційної зміни коефіцієнтів K_{ep} – енергоресурсної витратності автомобіле-години роботи АТЗ на наданому маршруті, $m_a(t) = K_{ep}(t)/K_{ep}(t_0)$, $m_a < 1$; m_s – показник інноваційного зменшення величини енергетичного коефіцієнта K_S собівартості виробництва транспортних послуг в СФОТС, $m_s(t) \leq 1$; $\Phi_{\text{од}}$ – економічний фактор поточної організації транспортного обслуговування (відношення величин собівартості перевезень і тарифу на перевезення -1 ткм (пкм) при $t = t_0$); $\big(1 + \beta_R(NVTT,t)\big)$- фактор технологічно-инноваційного додаткового продукту АТ, $t=t_1, t_2, t_3 \ldots t_n$.

Важливою особливістю моделі (8) є те, що вона забезпечує етапне і концептуальне управління технологічно-сталим розвитком на АТ шляхом натурально-вартісного аналізу відносної беззбитковості нової схеми відтворення автотранспортної послуги при еволюції параметрів АТЗ та його ресурсно-технічничних властивостей у часі. Крім того, етапно забезпечується сталий зріст концептуальної якості ресурсно-технологічного базису автотранспорту, а також – проектування високо-технологічних і ресурсо-бережливих автомобільних перевезень. Умова беззбитковості перевезень стосовно до існуючих витрат і ринкових тарифів перевіряється шляхом прирівнювання одиниці значень всіх енергетичних коефіцієнтів в математичних моделях (7). Цим забезпечується просте виконання методологічних вимог про однорідність та ізоморфність моделей для аналізу як оперативної організації автомобільних перевезень, так і їх технологічно-інноваційних проектів. З вищевказаного витікає можливість інтеграції інженерних та економічних методів управління технологічно-сталим розвитком трьох фундаментальних продукто-відтворювальних факторів автотранспорту: ресурсно-технологічного базису, процесів автомобільних перевезень і комплексу функцій автотранспорту.

Висновки: 1. Виявлено актуальність методів концептуального управління технологічно-сталим розвитком на автотранспорті на основі науково-практичної концепції високотехнологічного та ресурсобережного відтворення автотранспортних послуг.

2.Встановлено, що існуючі техно-емпіричні методи організації та економіки автотранспортного процесу не забезпечують концептуального управління технологічно-сталим розвитком на автотранспорті через використання в них теоретичної схеми віртуального транспортування вантажів та пасажирів, а також через аксіоми заперечення: матеріально-продуктивної сутності автотранспортної технології, технологічних ресурсів і процесів перевезень.

3.Сформовані основні поняття, вихідні передумови, комплекс критеріїв та стратегій для концептуального управління технологічно-сталим розвитком на автотранспорті.

4. Запропоновано математичну модель комплексної цільової функції для концептуального управління технологічно-сталим розвитком на автотранспорті на основі етапно-інноваційного аналізу та синтезу: елементів ресурсно-технологічного базису та технологічних процесів автомобільних перевезень, технічних ресурсів, автотранспортних технологій та процесів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1.Хабутдінов Р.А. Транстехнологічна парадигма і методологія новаційного управління автомобіль-ними перевезеннями / Р.А. Хабутдінов, К.: Вісник НТУ.– вип.24.–2011.–част.2.–С 237-240. (укр)

2.Хабутдінов Р.А Методологія концептуально-новаційного управління технологічним розвитком автотранспорту/ Р.А. Хабутдінов, К.: Вісник НТУ.– вип.29.–2014.– С 409-414. (укр)

3.Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки /А.И. Воркут, К.: Віща школа, 1986, 447 с. (рус)

4.Кононова Г. А. Экономика автомобильного транспорта / Г.А. Кононова. – Изд-во «Academia» .– 2008.–320с. (рус)

5.Фрейдина Е,В, Исследование систем управления /Е.В. Фрейдина; под ред. Ю.В. Гусева, М. : Изд-во «Омега-Л» .– 2008.– 367 с. (рус)

6. Хабутдінов Р.А. Методологічні основи транспортно-технологічної енергології // Зб. наук. праць “Проблемі транспорту”. К.: НТУ.–2006.–Вип.3.– С 164–168. (укр)

7.Хабутдінов Р.А., Коцюк О.Я. Енергоресурсна ефективність автомобіля. / Р.А. Хабутдінов, О.Я. Коцюк, К.: УТУ.–1997.– 197 с. (укр)

REFERENCES

1. Khabutdinov, R. A. (2011). Transteknologichna paradigma i metodologya novacynogo upravlynya avtomobylnymy perevezennyamy [Transport technological paradigm and methodology of novation management of motor-car transportations]. Kyiv: Visnyk NTU.– vol.24.–2011.–part.2.–p. 237-240. [in Ukranian].

2. Khabutdinov, R. A. (2014). Metodologya konceptualnogo upravlynya teknologichnym rozvytkom avtotransportu [Methodology of conceptual management innovation of technological development of Motor Transport]. Kyiv: Visnyk NTU.– vol.29.– 2014.– P. 409-414. [in Ukranian].

3.Vorkut, A.I. (1986). Gruzovy avtomobylny perevozky [Road transportatation of goods]. Kyiv: High-school.– 1986. –447 p. (in Russian).

4. Kononova, G.A.(2008). Ekonomyka avtomobylnogo transportu [Economics of automobile transport]. Moskva: Academia Publishing House .– 2008.–320 p. (in Russian)

5. Freidina, E. B. (2008). Isledovanya system upravlynia [Study of control systems]. Moskva: Omega-L Publishing House .– 2008 .– 367 p. (in Russian)

6. Khabutdinov, R.A. (2006)Metodologychny osnovy transportno-technologychnoi energology [Methodological bases of transport-technological energology]. Kyiv: Problemy transportuK.: NTU.–2006.– Vol.3.– P 164–168. . [in Ukranian].

7.Khabutdinov, R.A., Kotsyк A.I.(1997). Energoresursna efektyvnyst avtomobylia [Energy-resourse efficiency of car/ K.:UTU.–1997.– 197 p. . [in Ukranian].

РЕФЕРАТ

Хабутдінов Р.А. Методологія концептуального управління технологічно-сталим розвитком на автотранспорті / Р.А. Хабутдінов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

У статті розглядається методологія концептуального управління технологічно-стійким розвитком на автотранспорті, яка виходить із науково-практичної концепції високо-технологічного та ресурсобережливого відтворення автотранспортних послуг, а також з принципу техногічного ресурсозбереження в життєвих циклах АТЗ і відтворення автотранспортних послуг. Показано, що існуючі техно-емпіричні методи організації та економіки автотранспортного процесу не забезпечують концептуального управління технологічним розвитком на автотранспорті через використання в них теоретичної схеми віртуального транспортування вантажів та пасажирів, а також через аксіоми заперечення матеріально-продуктивної сутності: ресурсів, автотранспортних технологій та процесів. Виходячи з нової матеріально-виробничої та технологічно-інноваційної парадигми знань про автотранспорт запропоновано понятійно-критеріальний апарат та комплекс стратегій для концептуального управління технологічно-стійким розвитком елементів ресурсно-технологічного базису та процесів автомобільних перевезень на автотранспорті,

Об'єкт дослідження – процес матеріальних автомобільних перевезень з урахуванням властивостей технічних ресурсів та компонентів автотранспортної технології.

Мета роботи – формування основних положень, наукових понять, критеріїв та комплексної цільової функції концептуального управління технологічно-стійким розвитком на автотранспорті.

Метод дослідження – еволюційно-симулятивний аналіз та синтез концептуальної цільової функції технологічно-інноваційного управління на автотранспорті з урахуванням концепції високо-технологічного і ресурсо-бережливого відтворення автотранспортних послуг.

Результати статті може бути використані технологічно компетентними управлінцями автотранспорту для реалізації стратегій концептуального управління його технологічно-сталим розвитком. Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – реалізація в автотранспортних підприємствах методів та стратегій концептуального управління технологічно-сталим розвитком ресурсно-технологічних баз, процесів автомобільних перевезень та комплексу транспортних функцій.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КОНЦЕПЦІЯ, ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ІННОВАЦІЇ, АВТОТРАНСПОРТ, ФУНКЦІЇ, РЕСУРСИ, АВТОТРАНСПОРТНА ТЕХНОЛОГІЯ, ПРОЦЕСИ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ, КЕРУВАННЯ, ЕНЕРГОРЕСУРСНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ, АВТОТРАНСПОРТНІ ПОСЛУГИ, СТАЛИЙ РОЗВИТОК.

ABSTRACT

Khabutdinov R.A. Methodology of conceptual management of technologically sustainable development in motor transport. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The article discusses the methodology of conceptual management of technologically sustainable development in motor transport, which is based on the scientific and practical concept of high-tech and resource-efficient reproduction of motor transport services. It is shown that the existing techno-empirical methods of organization and economics of the motor transport process do not provide conceptual management of technological development in motor transport due to the use of a theoretical scheme for the virtual transportation of goods and passengers, and also because of the axioms of negation: the material and productive essence of resources, motor transport technologies and processes. Based on the new material-production and technological-innovative paradigm of knowledge about motor transport, a conceptual-criteria apparatus and a set of strategies for the conceptual management of the technologically sustainable development of the elements of the resource-technological basis and the processes of road transportations by motor transport are proposed,

The object of the study is the process of material road transportation, taking into account the properties of technical resources and components of motor transport technology.

The purpose of the work is the formation of the main control logic, scientific concepts, criteria and a comprehensive objective function of the conceptual management of technologically sustainable development in motor transport.

The research method is evolutionary and simulation synthesis of the conceptual objective function of technologically innovative management in motor transport, taking into account the concept of energy resource synergy in the motor transport system.

The results of the article can be used by technologically competent managers of motor transport to implement strategies for the conceptual management of technologically sustainable development in motor transport. Predictive assumptions about the development of the object of study – the implementation of methods and strategies for the conceptual management of technologically sustainable development of resource and technological bases, road transportation processes and a complex of transport functions in motor transport enterprises.

KEY WORDS: CONCEPT, TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL INNOVATIONS, MOTOR TRANSPORT, FUNCTIONS, RESOURCES, MOTOR TRANSPORT TECHNOLOGY, ROAD TRANSPORTATION PROCESSES, MANAGEMENT, ENERGY RESOURCE EFFICIENCY, LIFE CYCLE, MOTOR TRANSPORT SERVICES, SUSTAINABLE DEVELOPMENT.

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. Омельяновича-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

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мнацаканов Р.Г., доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден, e-mail: mnatsakanov@ukr.net, тел. +38-0679714862, Київ, Україна.

Петрашевський О.Л., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, кафедра аеропортів, вул. Омельяновича-Павленка,1, e-mail: olp47@ukr.net, тел. +380996092476, Київ, Україна.

REVIEVER:

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.

УДК 502.36:656.2
UDC 502.36:656.2
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-416-422

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ НА НАВКОЛИШНЄ ПРИРОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Хрутьба В.О., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, viktoriia.khrutba@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-8121-2042

Сорочинська О.Л., кандидат історичних наук, Державний університет інфраструктури і технологій, м. Київ, Україна, ellena06.84@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2477-1275

Соловйова Л.М., кандидат історичних наук, Державний університет інфраструктури і технологій, м. Київ, Україна, lubovsolovjova16@gmail.com, orcid.org/0000-0002-9559-6104

Самойленко І.В., Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, samoilenko.iv@gmail.com, orcid.org/ 0000-0003-1413-1338

RESEARCH AND ANALYSIS OF METHODS TO REDUCE THE NEGATIVE IMPACT OF RAILWAY TRANSPORT ON THE ENVIRONMENT

Khrutba V., Doctor of Engineering Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, viktoriia.khrutba@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8121-2042

Sorochynska O., Ph.D., State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine, ellena06.84@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2477-1275

Soloviova L., Ph.D., State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine, lubovsolovjova16@gmail.com, orcid.org/0000-0002-9559-6104

Samoilenko I., National Transport University, Kyiv, Ukraine, samoilenko.iv@gmail.com, orcid.org/ 0000-0003-1413-1338

Постановка проблеми. З кожним роком стрімко зростають масштаби техногенного впливу людини на навколишнє середовище, що спричинює порушення функціонування стану екологічних систем, природних комплексів і природних ресурсів. Одним з елементів глобальної техносфери є залізниця, яка в Україні займає одне з провідних місць серед наземних видів транспорту. Залізничному транспорту за кількістю вантажних перевезень належить перше місце серед інших видів транспорту, а за кількістю перевезення пасажирів – друге, після автомобільного.

Залізничний транспорт є активним і постійним джерелом комплексного впливу шкідливих речовин на навколишнє природнє середовище, рівень дії може лежати в допустимих рівноважних і кризових межах [1]. Вплив залізниці на довкілля розглядають за такими напрямками: зміна природного ландшафту, забруднення повітря і ґрунту, шумове, вібраційне та біологічне забруднення [2, 3]. Серед різноманіття забруднюючих речовин, що впливають на природне середовище під час експлуатації залізничного транспорту відмічено найбільш масштабні, що систематично надходять в навколишнє середовище: нафта і нафтопродукти, іони важких металів, а також оксиди азоту, сірки, вуглецю і газоподібних вуглеводнів [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Контроль за роботою мережі залізничного транспорту в Україні є необхідною ланкою моніторингу стану навколишнього природного середовища, оскільки вона по щільності залізниць і вантажонапруженості перевищує багато інших країн Європи [5]. Електропоїзди, які переважають за чисельністю на залізниці, вважають екологічно-безпечним видом транспорту порівняно з тепловозами, які залишаються головним перевізником лісових, земельних і мінеральних ресурсів, хоча водночас за викидами нафтопродуктів є загрозою для екологічного стану навколишнього середовища [6].

В працях Клименко Л.П. відмічено, що при забрудненні ґрунту залізничним транспортом враховується відстань 1 км, при цьому на 1 км шляху за рік скидається 200 м^3 стічних вод, 12 тонн сухого сміття, 3,5 тонни сажі [7]. За результатами досліджень іноземних та вітчизняних вчених, доведено, що концентрація важких металів (Pb, Cd, Cu, Zn, Fe, Cr, Hg тощо) у ґрунті біля залізниці може бути в кілька разів вищою, ніж на чистих контрольних ділянках поза дослідженням. Забруднюючі речовини, що накопичуються в ґрунті, можуть змінити його pH, тим самим руйнуючи його природний хімічний, фізичний та біологічний баланс. Фізико-хімічні зміни навколишнього середовища можуть призвести до перерозподілу накопичених забруднюючих речовин на поверхні ґрунту. Частина з них мігрує до більш глибоких ґрунтових горизонтів, а при надходженні у підземні води забруднюючі речовини мають тенденцію накопичуватися. [8-11].

В Україні, за даними наукових робіт [3], близько 20% території забруднено важкими металами, що в свою чергу призводить до утворення кислої або лужної реакції ґрунтового середовища, зниження обмінної ємності катіонів, втрати поживних речовин, до зміни щільності, пористості, відбивної здатності, до розвитку ерозії, дефляції, до скорочення видового складу рослинності, її пригнічення або до повної загибелі.

Мета статті – дослідження та аналіз методів зниження негативного впливу залізничного транспорту на навколишнє природне середовище. Серед наших досліджень важливим є визначення принципів відбору засобів глибокого очищення нафтозабруднених ґрунтів підприємствами залізничного транспорту, а також з'ясування можливості прогнозування сорбуючої здатності твердих тіл до нафти і нафтопродуктів і обрання адсорбентів з природної і техногенної сировини для очищення виробничих і зливних стоків підприємств залізничного транспорту.

Виклад основного матеріалу. Залізничний транспорт залишається головним перевізником лісних, земельних і мінеральних ресурсів, а палива, негативно впливаючи на навколишнє середовище. Однак у порівнянні з автомобільним транспортом вплив залізничного транспорту на довкылля значно менший. Це пов´язано з тим, що залізниця – найбільш економічний вид транспорту за витратами енергії на одиницю роботи. Структура негативного впливу залізничного транспорту на довкілля викликає порушення стійкості ландшафтів транспортної інфраструктури шляхом розвитку ерозії та зсувів; забруднення атмосфери відпрацьованими газами; постійний ріст рівня забруднення землі нафтою, свинцем та іншими токсичними сполуками металів, продуктами видування та падіння сипучих вантажів. Таким чином, наразі перед залізничним транспортом, не менше, ніж перед автомобільним, стоїть проблема зменшення забруднення навколишнього середовища.

В зв’язку з тим, що залізничний транспорт здійснює перевезення нафтопродуктів, а також безпосередньо використовує їх в своїх цілях, можна стверджувати що найбільшими забруднювачами землі і води промислових і зливних стоків безперечно є нафтопродукти. При промивці рухомого складу у ґрунт і водойми потрапляють разом із стічними водами синтетичні сполуки, нафтопродукти, феноли, кислоти, луги та інше. Другим забруднювачем за поширенням і масштабністю слід вважати іони токсичних сполуків металів. Стосовно забруднення атмосферного повітря, то головним джерелом забруднення атмосфери є відпрацьовані гази дизель-тепловозів. Вони складаються з окису вуглецю, оксиду та діоксиду азоту, різних вуглеводнів, сірчаного ангідриду, сажі. Зокрема вміст сірчистого ангідриду залежить від кількості сірки в дизельному паливі, а вміст інших домішок – від способу його спалювання та способу завантаження двигуна [5].

Дослідження свідчать, що вміст в повітрі оксиду вуглецю, оксиду азоту, сірчистого ангідриду перевищує гранично допустимі максимально разові концентрації для атмосферного повітря. Це свідчить про істотне забруднення повітря навколо залізничних колій відпрацьованими газами тепловозів (навіть на відстані 150 м від станції) окис азоту спостерігається в тих же концентраціях, що й на станціях. При цьому сумарні викиди від дизельного рухомого складу, який експлуатується на усій мережі залізниць України, складає біля 2 млн т на рік, що у 6 разів перевищує викиди від стаціонарних джерел залізничного транспорту таких шкідливих речовин як оксиди азоту, вуглецю, сірки, газоподібних вуглеводнів.

Існуючі методики розсіювання шкідливих домішок в атмосферному повітрі, в тому числі, для автомобільного транспорту не можуть бути використані в залізничному транспорті через специфіку розподілу і характер руху рухомих об'єктів залізничного транспорту на відміну від автомобільних транспортних потоків. Тому характер впливу викидів від тепловозів в атмосферне повітря не піддається сьогодні обліку і досі не можуть бути розроблені заходи, які призведуть до зниження такого впливу.

Серед різних методів зниження забруднень залізничним транспортом навколишнього природного середовища необхідно вперш чергу розглянути питання щодо очищення ґрунту від нафтопродуктів. Для очищення ґрунту на ділянках залізничного транспорту найпоширеніше застосовують метод захоронення забрудненого і підсипання свіжого ґрунту. Але як показує практика даний метод є не досить економічним і екологічним, і врешті-решт, виявляється малоефективним для очищення грунтів.

В дослідженнях попередньо аналізується питання про ступінь і характер забруднення та про можливу трансформацію цього забруднення, детально розглядаються вже існуючі методи. Це дозволяє вибрати найбільш раціональні способи очищення. В результаті визначено, що забруднення ґрунту нафтопродуктами зумовлюється такими факторами: широким спектром нафтозабруднюючих речовин; трансформацією нафти і нафтопродуктів в навколишньому середовищі, летучості органічних сполук, адсорбційних властивостей середовища. А це призводить до двох основних типів нафтозабруднення:

«застаріле», з різними строками надходження до ґрунту (це характеризується глибокими структурними змінами) та «свіже», яке ще не встигло зазнати глибоких структурних змін.

В якості дослідження забруднення підприємства залізничного транспорту було обрано локомотивне депо ТЧ-1 Київ-Пасажирський АТ «Укрзалізниця». Проби ґрунту відбиралися як у місцях активного функціонування тягового рухомого складу і проведення різноманітних робіт, так і на ділянках, де рух локомотивів здійснюється рідко. Відбір проб проводився з міжрейкового простору на всю глибину піщаної підсипки, яка в середньому склала від 15 до 25 см. Було відібрано ґрунтовий покрив для проведення аналізів на вміст органічних речовин, обмінної кислотності, вміст водорозчинних солей, вміст втрат при прожарюванні, pH, вміст HCO_3^-, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^-.

З більш ніж 20 проб природного нафтозабрудненого ґрунту, були використані чотири проби. Цей вибір був продиктований наступними причинами: по-перше, гранулометричний склад вибраних проб практично співпадав між собою і з гранулометричним складом піску, який ми використовували в роботі для створення лабораторних взірців нафтозабруднюючих ґрунтів.

Результати показали, що за вмістом нафтопродуктів проби природного ґрунту відносяться до сильнозабруднених. Досліджені проби природного ґрунту максимально відрізняються між собою за складом органічних сполук, охоплюють можливі варіанти трансформації нафти і нафтопродуктів в піщаних ґрунтах, і в загальних рисах співпадають з процесами в нафтозабруднених ґрунтах. Загальні етапи трансформації нафти і нафтопродуктів в піщаних ґрунтах виглядають так: зменшення вмісту легких низькомолекулярних, в основному вуглеводневих фракцій, в розлитій нафті або нафтопродукті внаслідок випарування, активного виносу з опадами, міграції у нижчележачі шари ґрунту; подальше зниження вмісту вуглеводневих сполук різних типів внаслідок фізико-хімічних і мікробіологічних процесів, відносне накопичення фракції важких смоли- сто-асфальтових речовин, її окислення; інтенсивне окислення фракції смолисто-асфальтенових речовин, накопичення кисневмісних сполук; подальше окислення, трансформація новоутворених сполук (під час розливу важких сполук нафти і нафтопродуктів на поверхні утворюються міцні шкуринки високомолекулярних компонентів).

На підставі проведеного дослідження та використанням даних літературних джерел ми прийшли до вибору миючих засобів в залежності від виду забруднення і вмісту нафтопродуктів у ґрунті. Згідно результатів експериментальних досліджень були виділені умовні групи миючих засобів згідно їхньої ефективності. Перша група так званих ефективних миючих засобів дозволяє відмити нафтозабруднені ґрунти на 95% (в залежності від виду забруднення і концентрації миючих засобів). Майже усі миючі засоби такої групи, окрім кальцинованої соди, містять синтетичні речовини, що і обумовлюють високу миючу здатність.

Друга група це малоефективні миючі засоби, їхня ефективність відмивання ґрунту складає 93%. До цієї групи відноситься каустична сода і тринатрійфосфат. Для цих речовин характерне погіршення миючих можливостей в міру важких нафтозабруднень ґрунту. Високі дані вмісту мазуту в ґрунті виявляються найбільш стійкими забрудненнями.

До третьої групи увійшли неефективні миючі засоби, такі як господарське мило і «підмильні» луги, з ефективністю відмивання не вище 83% по відношенню до будь-яких типів забруднюючих ґрунт речовин, навіть при високих концентраціях миючих речовин в розчині. Процент відмивання знижується до 65-70% із залишковою концентрацією нафтопродуктів в ґрунті. Це у 6-9 разів перевищує гранично допустимий норматив, особливо при відмиванні цими миючими засобами забруднень відпрацьованим маслом та мазутом.

Результати експериментальних досліджень також показують, що використання ефективних миючих засобів виявилися досить ефективними по відношенню до свіжозабрудненого ґрунту. Відмивання застарілих нафтозабруднень виявилися не досить ефективним навіть при застосуванні засобів з високою миючою здатністю.

Огляд способів очищення нафтозабруднених ґрунтів на основі літературних публікацій різних дослідників, не дозволяє з них вибрати найбільш вдалого для дослідження його в якості можливого механізму очищення [3]. Але разом з цим, на сьогодні відомі методи очищення, з одного боку, стічних вод від нафтопродуктів, а з іншого боку, замаслених металевих конструкцій, які за можливим їх поєднанням дозволили б використати якийсь принципово новий механізм очищення ґрунту від нафтопродуктів.

В одному випадку мова йде про явища, пов'язані з флотацією. Тобто процес активного винесення дисперсних твердих або рідких частинок з товщі рідинного середовища на поверхню такого середовища добре відомий як флотація і широко та успішно використовується як для концентрування і збагачення руд кольорових і рідкісних металів, так і для очищення нафтовмісних стічних вод у так званих флотаторах. І в тому, і в іншому випадку основним агентом, який «флотує» дисперсну частинку

на поверхню середовища є бульбашка газу. Таким чином, однією з складових нового механізму очищення, повинне бути активне барботування, яке під час флотаційного очищення отримують нагнітанням і розпиленням газу в систему.

Іншою складовою принципово іншого механізму очищення повинен бути механічний імпульсний удар, до того ж періодично повторюваний, який дозволить розірвати не дуже міцні сили адгезії між забруднюючою речовиною і твердими частинками ґрунту. Такий удар в техніці також добре відомий, і відомий у більшості випадків як небажане явище. Йдеться про кавітацію, яка протікає в рідинному середовищі і при цьому виникають періодичні удари (мікровибухи), які володіють величезною руйнівною силою.

Натепер відомі прояви кавітації, які обумовлені гідродинамічними умовами під час роботи гідравлічних насосів, гідравлічних турбін, корабельних гвинтів тощо, а також таким негативним ефектом, як ерозія матеріалу. Кавітація також проявляється при поширенні акустичних хвиль ультразвукової частоти в рідинному середовищі і яка теж призводить до механічного руйнування твердої поверхні матеріалу. В першому випадку тип кавітації визначають як гідродинамічний, а у другому – як акустичний. І в тому, і в іншому випадку кавітація виявляється небажаним явищем, яка призводить до руйнування матеріалу.

В літературі вказується, що відомі випадки позитивного використання явища кавітації, зокрема для очищення ґрунту від забруднення. Так, відомо, що ультразвукова кавітація використовується в техніці для очищення поверхонь від забруднень в середовищі миючої речовини або розчинника і, навіть, в побуті для прання текстильних виробів з допомогою побутового ультразвукового генератора [4].

Отже, такі дві стадії і суміщені в одному принципово новому механізмі очищення нафтозабруднюючого ґрунту можна тепер конкретизувати як основані на: кавітаційному ефекті; флотаційному ефекті.

В експериментах з дослідження очищення грунту від забруднень залізничним транспортом також може бути використаний миючий засіб пероксикарбонат натрію. Дослідження показали, що пероксикарбонат натрію може бути найбільш підходящим представником миючого засобу для очищення грунту від нафтозабруднення, який діє за іншим механізмом, ніж відомі миючі засоби.

Окрім забруднення грунтів нафтою, підприємства залізничного транспорту також забруднюють нею і стічні води. Забруднення води нафтопродуктами є однією з найважливіших проблем. Залізничний транспорт є активним споживачем води. Щорічно на потреби залізничного транспорту потрібно біля 0,5 млрд. куб метрів, з яких біля 500 млн. куб м води перетікає у стічні води. Стоки від залізничного транспорту утворюються під час різноманітних технологічних процесів (пов'язаних з роботою промивально-пропарювальних станцій, ремонтних заводів і депо, шпалопросочувальних заводів, пунктів підготовки вантажних вагонів, гальванічних ділянок та ін.). Стоки після очисних споруд із застосуванням різних нафтовловлювачів, флотаторів, аеротенків, озонаторів все одно містять нафтопродукти до 1-5 мг/л.

Окрім забруднень від стічних вод підприємств залізничного транспорту, великий вплив на забруднення навколишнього середовища мають зливні стоки. Об'єм зливних стоків промислових площадок дистанцій колії складає 5,6 тис. $м^3$/ рік. Об'єм зливних стоків із залізничного полотна сягає 110 тис. $м^3$/рік. Ці стоки містять до 20 мг/л нафтопродуктів.

Аналіз основних видів забруднень на залізничному транспорті, які відводяться разом зі стоками і поверхневими водами вказує переважно на такі основні забруднювачі як нафтопродукти, завислі речовини, а також іони токсичних сполуків металів. Навіть після очищення на локальних очисних спорудах концентрація нафтопродуктів у воді коливається від 1 до 20 мг/л, а іонів токсичних сполуків металів до 10 мг/л. Загальний об'єм стічних вод, що потрапляють у басейни річок, мають концентрацію біля 160 мг/л, в тому числі понад 120 млн.$м^3$ – забруднення з перевищенням гранично-допустимих концентрацій.

Для очищення стоків залізничного транспорту (згідно з ГДК) потрібне залучення великих обсягів адсорбентів – десятки і сотні тисяч кубічних метрів. В цьому випадку слід акцентувати увагу на забрудненнях, типових для залізничного транспорту – токсичні сполуки металів і розчинні нафтопродукти, а також повинна враховуватися ефективність та екологічність адсорбента.

Висновки. Таким чином, можна зробити висновок, що для зниження негативного впливу залізничного транспорту на навколишнє природнє середовище необхідно здійснювати заходи, з одного боку, для очищення компонентів природного середовища від нафтопродуктів та іонів важких металів доступними та економічними засобами, а, з іншого боку, розробити методику для оцінки впливу викидів тепловозів в атмосферне повітря.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Процько Я.І. Проблема впливу залізничного транспорту на екологію. Вісник полтавської державної аграрної академії. №3. 2009. 168-170 с.

2. В.Г. Лоза, С.В. Кухлівський, Б.Я. Косенко, О.М. Підскребаєв. Способи захисту навколишнього середовища на залізничному транспорті України. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпропетровськ. 2008. Вип. 25. 92–96 с. DOI: 10.15802/stp2008/14393.

3. Плахотник В.Н. и др. Природоохранная деятельность на железнодорожном транспорте Украины: проблемы и К.: Транспорт Украины, 2001. –244 с.

4. Чайка О.Г. та ін. Дослідження впливу залізничного транспорту на ґрунти у місті Львові. «Молодий вчений».№ 12 (39). 2016 р.

5. Vaiškūnaitė, R., & Jasiūnienė, V. (2020). The analysis of heavy metal pollutants emitted by railway transport. Transport, 35(2), 213-223. https://doi.org/10.3846/transport.2020.12751

6. Мелехова О. П., Сарапульцева Е. И., Евсеева Т. И. и др. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование: [учеб. пособ. для студ. высш. учеб. Заведений] / Под ред. О. П. Мелеховой, Е. И. Сарапульцевой. 2-е изд., испр. Москва. : Академия, 2008. 288 с.

7. Клименко Л. П. Техноекологія: посібник / Л. П. Клименко. – О.: Таврія, 2000. – 544 с

8. Blake, L.; Goulding, K. W. T. 2002. Effects of atmospheric depo-sition, soil pH and acidification on heavy metal contents in soils and vegetation of semi-natural ecosystems at Rothamst-ed experimental station, UK, Plant and Soil 240(2): 235–251. https://doi.org/10.1023/A:1015731530498

9. Šeda, M.; Šíma, J.; Volavka, T.; Vondruška, J. 2017. Contamina-tion of soils with Cu, Na and Hg due to the highway and railway transport, Eurasian Journal of Soil Science 6(1): 59–64. https://doi.org/10.18393/ejss.284266

10. Wierzbicka, M.; Bemowska-Kałabun, O.; Gworek, B. 2015. Mul-tidimensional evaluation of soil pollution from railway tracks, Ecotoxicology 24(4): 805–822.

11. Zhang H.; Wang, Z.; Zhang, Y.; Hu, Z. 2012. The effects of the Qinghai–Tibet railway on heavy metals enrichment in soils, Science of the Total Environment 439:240–248. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.09.027

REFERNCES

1. Protsko Y.I. The problem of the impact of railway transport on the environment. Bulletin of the Poltava State Agrarian Academy. №3. 2009. 168-170 p.

2. V.G. Loza, S.V. Kukhlivsky, B.Ya. Kosenko, O.M. Podskrebayev. Methods of environmental protection on the railway transport of Ukraine. Visn. Dnipropetrovsk. nat. University of Railway. transp them. acad. V. Lazaryan. Dnipropetrovsk. 2008. Vip. 25. 92–96 p. DOI: 10.15802/stp2008/14393.

3. Plakhotnik V.N. Environmental activities in the railway transport of Ukraine: problems and K .: Transport of Ukraine, 2001. -244 p.

4. Chaika O.G. Study of the impact of railway transport on soils in the city of Lviv. «The Young Scientist» .№ 12 (39). 2016.

5. Vaiškūnaitė, R., & Jasiūnienė, V. (2020). The analysis of heavy metal pollutants emitted by railway transport. Transport, 35(2), 213-223. https://doi.org/10.3846/transport.2020.12751

6. Melekhova OP, Sarapultseva EI, Evseeva TI, etc. Biological control of the environment: bioindication and biotesting: [textbook. allowance. for students. higher textbook Institutions] / Ed. OP Melekhova, E.I. Sarapultseva. 2nd ed., Ed. Moscow. : Academia, 2008. 288 c.

7. Klimenko LP Technoecology: manual / LP Klimenko. – O .: Tavriya, 2000. – 544 p

8. Blake, L.; Goulding, K. W. T. 2002. Effects of atmospheric deposition, soil pH and acidification on heavy metal contents in soils and vegetation of semi-natural ecosystems at Rothamsted experimental station, UK, Plant and Soil 240(2): 235–251. https://doi.org/10.1023/A:1015731530498

9. Šeda, M.; Šíma, J.; Volavka, T.; Vondruška, J. 2017. Contamina-tion of soils with Cu, Na and Hg due to the highway and railway transport, Eurasian Journal of Soil Science 6(1): 59–64. https://doi.org/10.18393/ejss.284266

10. Wierzbicka, M.; Bemowska-Kałabun, O.; Gworek, B. 2015. Mul-tidimensional evaluation of soil pollution from railway tracks, Ecotoxicology 24(4): 805–822.

11. Zhang H.; Wang, Z.; Zhang, Y.; Hu, Z. 2012. The effects of the Qinghai–Tibet railway on heavy metals enrichment in soils, Science of the Total Environment 439:240–248. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.09.027

РЕФЕРАТ

Хрутьба В.О. Дослідження та аналіз методів зменшення негативного впливу залізничного транспорту на навколишнє природне середовище / В.О. Хрутьба, О.Л. Сорочинська, Л.М. Соловйова, І.В. Самойленко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

В статті досліджуються та проводиться аналіз метолів щодо зменшення негативного впливу залізничного транспорту на навколишнє природне середовище. Розглядаються різні аспекти впливу залізничного транспорту на навколишнє природне середовище. Наводяться методики визначення вмісту органічних речовин, обмінної кислотності, вмісту водорозчинних солей, вмісту втрат при прожарюванні, pH, вмісту HCO_3^-, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^-

Об'єкт дослідження – вплив залізничного транспорту на навколишнє природне середовище.

Мета роботи – дослідження та аналіз методів зниження негативного впливу залізничного транспорту на навколишнє природне середовище. Серед наших досліджень важливим є визначення принципів відбору засобів глибокого очищення нафтозабруднених ґрунтів підприємствами залізничного транспорту, а також з'ясування можливості прогнозування сорбуючої здатності твердих тіл до нафти і нафтопродуктів і обрання адсорбентів з природної і техногенної сировини для очищення виробничих і зливних стоків підприємств залізничного транспорту.

Методи дослідження – аналітичний.

Якісний контроль за станом навколишнього природного середовища а також за ступенем його забруднення є одним із пріоритетних напрямків діяльності транспортних підприємств з метою зменшення негативного впливу на екологію. З цією метою авторами статті було проаналізовано питання про ступінь і характер забруднення та про можливі методи щодо його зменшення. Запропоновано основні напрямки щодо впровадження нових заходів та засобів для очищення компонентів природного середовища від нафтопродуктів та токсичних сполуків металів на підприємствах залізничного транспорту України.

Результати досліджень можуть бути рекомендовані до впровадження у систему управління екологічним менеджментом на підприємствах залізничного транспорту України.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗАЛІЗНИЦЯ, ТРАНСПОРТ, ЗАБРУДНЕННЯ, ГРУНТОВИЙ ПОКРИВ, ЗАЛІЗНИЧНІ КОЛІЇ, ТЯГОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД.

ABSTRACT

Khrutba V.O., Sorochynska E., Soloviova L., Samoilenko I. Research and analysis of methods to reduce the negative impact of railway transport on the environment. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The article investigates and analyzes methods for reducing the negative impact of rail transport on the environment. Various aspects of the impact of rail transport on the environment are considered. Methods for determining the content of organic matter, metabolic acidity, water-soluble salts, content of losses during calcination, pH, content of HCO_3^-, Mg^{2+}, Ca^{2+}, Cl^-.

The object of research is the impact of rail transport on the environment.

The purpose of the work – research and analysis of methods to reduce the negative impact of rail transport on the environment. Among our researches it is important to determine the principles of selection of means of deep purification of oil-contaminated soils by railway transport enterprises, as well as to clarify the possibility of predicting the sorbing capacity of solids to oil and oil products and selection of adsorbents from natural and man-made raw materials. drains from railway transport enterprises.

Research methods – analytical.

Quality control over the state of the environment as well as the degree of its pollution is one of the priority areas of transport enterprises in order to reduce the negative impact on the environment. To this end, the authors of the article analyzed the extent and nature of pollution and possible methods for reducing it. The main directions of introduction of new measures and means for purification of components of natural environment from oil products and toxic compounds of metals at the enterprises of railway transport of Ukraine are offered.

The results of research can be recommended for implementation in the management system of environmental management at the railway transport enterprises of Ukraine.

KEY WORDS: RAILWAYS, TRANSPORT, POLLUTION, SOIL COVER, RAILWAY TRACKS, TRACTION ROLLING STOCK

АВТОРИ:

Хрутьба Вікторія Олександрівна, доктор технічних наук, Національний транспортний університет, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності, e-mail: viktoriia.khrutba@gmail.com, тел. +380992621097, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленко 1, 0000-0002-8121-2042

Сорочинська Олена Леонідівна**,** кандидат історичних наук, Державний університет інфраструктури і технологій, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, e-mail: ellena06.84@ukr.net, тел. +380677626178, Україна, 04071, м. Київ, вул. Кирилівська 9, orcid.org/0000-0003-2477-1275

Соловйова Любов Маратівна**,** кандидат історичних наук, Державний університет інфраструктури і технологій, доцент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, e-mail: lubovsolovjova16@gmail.com, тел. +380675850969, Україна, 04071, м. Київ, вул. Кирилівська 9, orcid.org/0000-0002-9559-6104

Самойленко Іван Вікторович, асистент, Національний транспортний університет, асистент кафедри екології та безпеки життєдіяльності, e-mail: samoilenko.iv@gmail.com, тел. +380937451593, Україна, 01010, вул. М. Омельяновича-Павленко 1, orcid.org/ 0000-0003-1413-1338

AUTHOR:

Khrutba Viktoriia O., doctor oh the technical sciences, professor, National Transport University, the head of the department of ecology and life safety, e-mail: viktoriia.khrutba@gmail.com, tel. +380992621097, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka str. 1, orcid.org/0000-0002-8121-2042

Sorochynska Olena L.**,** Ph.D., associate professor, State University of Infrastructure and Technologies, associate professor of the department of ecology and life safety, e-mail: ellena06.84@ukr.net, tel. +38(067)7626178, Ukraine, 04071, Kyiv, str. Kyrylivska, 9, orcid.org/0000-0003-2477-1275

Soloviova Liubov M.**,** Ph.D., associate professor, State University of Infrastructure and Technologies, associate professor of the department of ecology and life safety, e-mail: lubovsolovjova16@gmail.com, tel. +380675850969, Ukraine, 04071, Kyiv, str. Kyrylivska, 9, orcid.org/0000-0002-9559-6104

Samoilenko Ivan V., assistant, National Transport University, assistant of the department of ecology and life safety, e-mail: samoilenko.iv@gmail.com, tel. +380937451593, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka str. 1, orcid.org/ 0000-0003-1413-1338

РЕЦЕНЗЕНТИ

Пилипчук О.Я., доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності Державного університету інфраструктури та технологій, Київ, Україна.

Посвятенко Е.К., доктор технічних наук, професор кафедри виробництва ремонту та матеріалознавства національного транспортного університету, Київ, Україна.

REVUEWER

Pipipchuk O.Y. Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of ecology and life safety, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Ukraine.

Posvyatenko E.K., Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Repair and Materials Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

УДК 539.3
UDC 539.3
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-423-429

ТЕРМОПРУЖНІ ДЕФОРМАЦІЇ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ШАРУ НА МЕТАЛЕВІЙ ПЛИТІ МОСТА ПРИ ЗМІНІ ТОВЩИНИ АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Шевчук Л.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, ludmilashevchuk25@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5748-9527

THERMOPLASTIC DEFORMATIONS OF ASPHALT CONCRETE LAYER ON A METAL BRIDGE PLATE WHEN ASPHALT CONCRETE THICKNESS IS CHANGED

Shevchuk L.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, ludmilashevchuk25@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5748-9527

Постановка проблеми.

Важливою перевагою композиційної (багатошарової) конструкцій є їх висока міцність на одиницю маси. При цьому більшість композиційних структур переважають за своїми показниками міцності і термофізичними якостями будь-який зі своїх компонентів або значно відрізняються від них. Необхідно однак зазначити, що поряд зі своїми багатьма технічно важливими перевагами композиційні структури мають і суттєвий недолік, який пов'язаний з тим, що фізико-термо-механічні властивості таких структур найчастіше виявляються зовсім неузгодженими, а це призводить інколи до специфічних видів руйнувань (розшарування, локальні розриви, порушення адгезії тощо)[1-7, 10, 15-23]. Тому при проектуванні таких структур ці особливості породжують суттєві ускладнення при визначенні напружено-деформованого стану у залежності від геометричних параметрів елементів, виду зв’язку між ними та їх фізико-механічних властивостей. Такі задачі можуть бути вирішені методами теоретичного моделювання [13-16]. Ці особливості деформування композиційних структур в повній мірі відносяться і до багатошарових систем дорожнього одягу мостових конструкцій, математичне моделювання яких має певні особливості. Вони пов’язані з тим, що розривні функції полів напружень в них генеруються також під впливом високо-градієнтних полів температури, які викликають концентрацію як нормальних, так і дотичних (зсувних) напружень, що обумовлені відмінними значеннями термомеханічних параметрів асфальтобетону та ортотропної плити [1-7].

Виклад основного матеріалу.

Однією із причин руйнування мостів є їх розтріскування та відшарування асфальтобетонного покриття від металевого полотна мостової конструкції в зимовий і весняний часи. До числа факторів, які в найбільшій мірі впливають на їх міцність і довговічність можна віднести збільшення вантажопідйомності транспортних засобів, реологічні та термомеханічні ефекти, що проявляються в матеріалах двошарової конструкції дорожнього одягу в результаті сезонних та добових змін температури [1-7, 10].

Загальна схема конструкції мосту представлена на рис. 1. Він складається з асфальтобетонного шару товщиною 0,07 м, що покладений на полотно проїзної частини мосту, який являє собою ортотропну плиту.



Рисунок 1 – Схема перерізу конструкції моста
Figure 1 – Cross-sectional diagram of the bridge structure

Привертає до себе увагу мала база тросової системи 10,8 м при загальній ширині мосту 41,5 м та порівняно малому його моменті інерції на кручення, оскільки його переріз наближається до пластини. Це дає основу припустити, що прогонова будова проявляє підвищену деформованість при скручуванні. Товщина стального листа складає 0,014 м. Він підкріплений ребрами висотою 0,25 м з кроком 0,3 м. Причому, як відомо, при крученні стержневої конструкції найбільші деформації і напруження мають місце в периферійних зонах поперечного перерізу, найбільш віддалених від центра перерізу. Оскільки рух основного автомобільного транспортного потоку, в тому числі

великовантажного, здійснюється на крайових ділянках його поперечного перерізу, то при дії на них сил ваги в конструкції мостового прогону виникають великі крутні моменти через малу базу тросів і малі полярні моменти інерції перерізу. Це і приводить до суттєвих деформацій в крайових зонах моста. Цей факт може бути однією із причин підвищеного руйнування асфальтобетонного покриття в цих зонах.

Можна відзначити також ще одну конструктивну особливість моста, яка пов'язана з використанням прийнятої конструкції ортотропної плити. Справа в тому, що в одному напрямі її згинальна жорсткість взагалі дорівнює жорсткості верхньої пластини, а в іншому напрямі плита має відкритий переріз у вигляді системи таврів, що слабо опираються згинанню і крученню (порівняно з двотаврами чи іншими закритими перерізами).

Ще одним фактором, що визначає явище розшарування двошарової конструкції в цій зоні, є її термонапружений стан. Для перевірки можливості впливу термічних деформацій на руйнування асфальтобетонного покриття в зимовий період авторами було виконано скінченно-елементне моделювання температурних переміщень та напружень асфальтобетонного шару, що приєднаний до металевого полотна проїзної частини мосту. Результати цих досліджень наведено нижче.

Дослідження термопружного стану системи виконане з урахуванням того, що конструкція є видовженою та має порівняно малу товщину, що дозволило застосувати ряд спрощень і допущень. Оскільки конструкція вільно обдувається повітрям і в зимовий час ефектом радіаційного сонячного нагріву системи можна знехтувати, то можна вважати, що при добових змінах навколишньої температури температура верхнього (асфальтобетонного) та нижнього (металевого) шарів встигає вирівнюватись і по всій товщині пакету набувати однакової температури T.

Для перевірки наведених міркувань були виконані скінченно-елементні розрахунки термонапруженого стану фрагмента мостової конструкції, поперечний переріз якої наведений на рис. 1. При цьому товщина асфальтобетонного шару складала $h = 0{,}07$ м, причому на кінцях моста товщина шару – $h_1 = 0{,}07$ м, $h_2 = 0{,}035$ м, $h_3 = 0{,}0175$ м (рис. 2), товщина плити полотна моста – $0{,}014$ м. Значення термомеханічних характеристик для матеріалу асфальтобетонного покриття склали $E = 5 \cdot 10^9$ Па, $\nu = 0{,}2$, $\alpha_T = 2{,}46 \cdot 10^{-5}$ К$^{-1}$; для сталі $E = 2{,}1 \cdot 10^{11}$ Па, $\nu = 0{,}3$, $\alpha_T = 1{,}3 \cdot 10^{-5}$ К$^{-1}$.

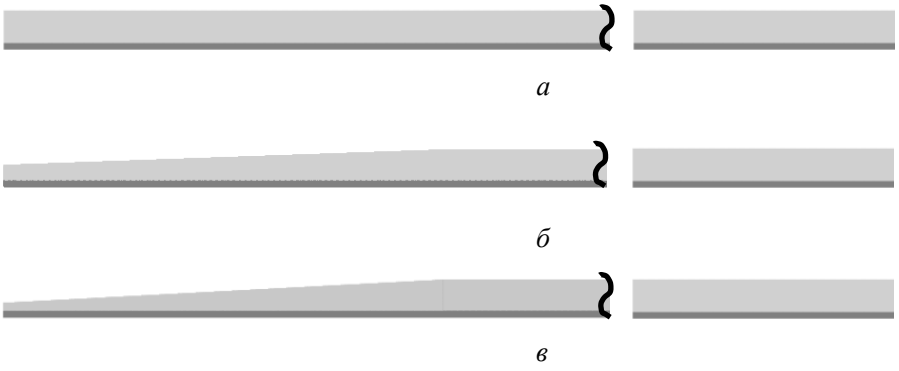


Рисунок 2 – Скінченно-елементна схема конструкції, виділеної для розрахунку:
а – h_1=0,07 м; б – h_2=0,035 м; в – h_3=0,0175 м

Figure 2 – Finite element diagram of a structure selected for calculation:
а – h_1=0,07 m; б – h_2=0,035 m; в – h_3=0,0175 m

Задача про термопружне деформування дорожнього покриття розв'язується в лінійній постановці. Це дозволяє аналізувати тільки зміни деформацій і напружень, викликані змінами температури.

Тоді еволюція поля температури в зонах кожного шару визначається рівнянням нестаціонарної теплопровідності [8]

$$\nabla^2 T - \frac{1}{a}\frac{\partial T}{\partial t} = 0. \qquad (1)$$

Тут $a=\lambda_q/c_{об}$ – коефіцієнт температуропровідності, λ_q – коефіцієнт теплопровідності, $c_{об}$ – питома об'ємна теплоємність, доданок $\nabla^2 T$ – еквівалентний виразу $\partial T/\partial x^2+\partial T/\partial y^2+\partial T/\partial z^2$.

Вважаємо, що при термопружному деформуванні всього масиву силами інерції можна знехтувати і процес буде квазістатичним. Тоді поле пружних переміщень $\mathbf{u}(x,y,z)$ описується векторним рівнянням [8, 11]

$$\mu\nabla^2\mathbf{u}+(x+\mu)grad\,div\mathbf{u}-(3\lambda+2\mu)\alpha_T grad(T)=0 \qquad (2)$$

де λ і μ – ізотермічні параметри Ляме.

На умовних кінцях виділеної області прийнято, що теплові потоки в напрямку нормалі відсутні, тому похідна від T за нормаллю $\mathbf{n}$ дорівнює нулю,

$$\partial T/\partial n=0. \qquad (3)$$

При формулюванні граничних умов для функції $\mathbf{u}(x,y,z)$ вважаємо, що на всіх вільних поверхнях нормальні і дотичні напруження дорівнюють нулю, а на площині контакту асфальтобетонного шару з металевою основою були задані співвідношення сумісності переміщень.

Прийнята постановка задачі про термопружне деформування виділеного двошарового масиву дозволила використовувати алгоритм її вирішення, при якому спочатку розв'язується задача нестаціонарної теплопровідності для рівняння (1) на всьому діапазоні часу t, рівному 12 годин (43200 с). Потім в потрібні для нас моменти часу t_i з використанням побудованих полів температури $T(x,y,z,t_i)$, за допомогою рівнянь (2) визначалися поля переміщень, деформацій і напружень.

Розв'язання цих рівнянь здійснюється шляхом переходу до скінченно-елементних моделей[12]

$$\begin{aligned}&[K_T]\{T\}-[A]\{\dot{T}\}=\{T_f(t)\},\\ &[K_u]\{u\}=[L]\{T(t_i)\}.\end{aligned} \qquad (4)$$

Тут $[K_T]$ – матриця коефіцієнтів скінченно-елементної моделі рівняння теплопровідності, $[A]$ – матриця коефіцієнтів моделі при похідній $\dot{T}$, $\{T_f(t)\}$ – вектор заданих значень температури T на поверхні покриття, $[K_u]$ – матриця жорсткості для скінченно-елементної моделі пружного масиву, $[L]$ – матриця, яка відображає вплив температури на переміщення елементів масиву.

Після підрахунку значень компонент вектора переміщень $\{u\}$ у вузлах скінченно-елементної моделі обчислювалися компоненти тензорів деформацій ε_{jk} і напружень σ_{jk}. Вони визначалися за допомогою рівностей [9]

$$\begin{aligned}&\varepsilon_{jk}=\frac{1}{2}\left(u_{j,k}+u_{k,j}\right),\\ &\sigma_{jk}=2\mu\varepsilon_{jk}+[\lambda\varepsilon_{ll}-(3\lambda+2\mu)\alpha_T\cdot T]\delta_{jk},\end{aligned} \qquad (5)$$

дискретизованих в кожному вузлі моделі.

У цих рівностях індекси j,k,l пробігають значення 1, 2, 3; при цьому напрямки x_1,x_2,x_3 відповідають напрямам x,y,z; $u_{j,k}=\partial u_j/\partial x_k$; $\varepsilon_{ll}=\varepsilon_{11}+\varepsilon_{22}+\varepsilon_{33}$; δ_{jk} – символ Кронекера, що дорівнює 0 при $j\neq k$ і рівний 1 при $j=k$.

В нашому випадку конструкція, що розглядається, має ті властивості, що вона знаходиться у вільному контакті з повітрям. Тому, наприклад, в нічний час (при відсутності теплової сонячної радіації) температура у всіх її елементах встигає вирівнятися і замість вихідного значення $T_0=0$ прийняти однакові значення $T=-25^\circ C$.

Вважаємо, що плита металевої основи має товщину $h=0{,}014$ м. При дослідженні впливу товщини асфальтобетонного шару на термодеформований стан системи його товщина на кінцях моста вважалася рівною $h_1=0{,}07$ м, $h_2=0{,}035$ м, $h_3=0{,}0175$ м.

Результати комп'ютерного дослідження показані на рис. 3 та рис. 4 у вигляді функцій термонапружень σ_x та τ_{xy} вздовж лівого краю на відстань 3 м.

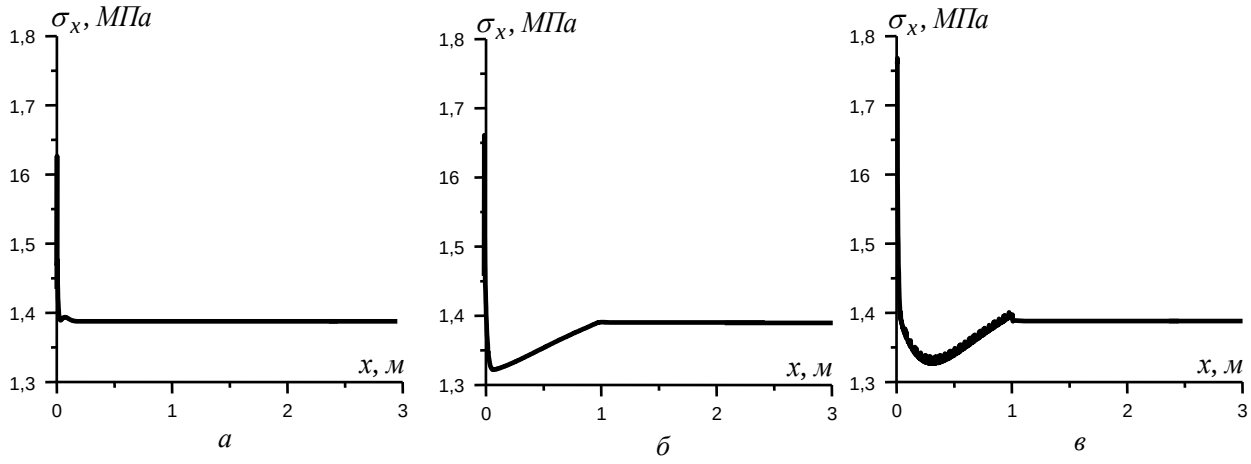


Рисунок 3 – Графіки розподілення функції σ_x за координатою x на межі контакту асфальтобетону та сталі в околі лівого краю системи:
а – h_1=0,07 м; б – h_2=0,035 м; в – h_3=0,0175 м

Figure 3 – Graphs of the function σ_x distribution along the coordinate x at the contact boundary of asphalt concrete and steel in the vicinity of the left edge of the system:
а – h_1=0,07 m; б – h_2=0,035 m; в – h_3=0,0175 m

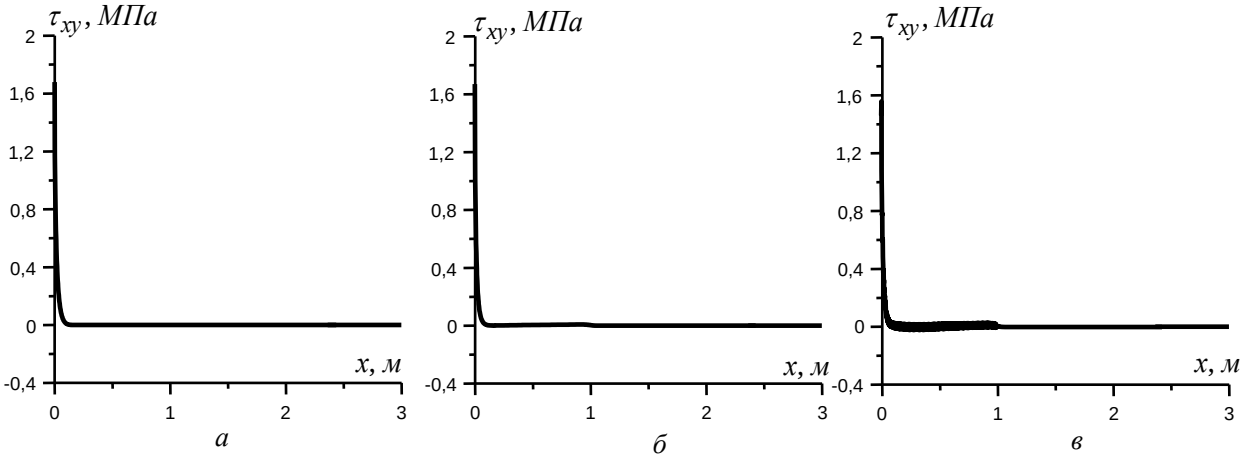


Рисунок 4 – Графіки розподілення функції τ_{xy} за координатою x на межі контакту асфальтобетону та сталі в околі лівого краю системи:
а – h_1=0,07 м; б – h_2=0,035 м; в – h_3=0,0175 м

Figure 4 – Graphs of the function σ_x distribution along the coordinate x at the contact boundary of asphalt concrete and steel in the vicinity of the left edge of the system:
а – h_1=0,07 m; б – h_2=0,035 m; в – h_3=0,0175 m

Розрахунки показали, що ділянки найбільш неоднорідних полів деформацій і напружень виникають на краях конструкції. Заслуговує уваги графік розподілення функції τ_{xy} (рис. 4) на поверхні контакту верхнього та нижнього шарів в околі лівого краю системи. Як видно, концентрація цієї функції має місце на краях конструкції, а потім вона швидко падає до нуля при наближені до центральної частини.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гайдайчук В.В., Мозговий В.В., Густєлєв О.О., Шевчук Л.В. Аналіз деформування дорожного покриття на металевій плиті південного моста / Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2019. - №1. – С. 31 – 39.

2. Гайдайчук В.В., Мозговий В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В. Моделювання напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу під дією транспортних навантажень // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2017. – Вип. 99 – С. 45-57.

3. Гайдайчук В.В., Мозговий В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В. Чисельне моделювання термонапруженого стану шаруватого покриття автомобільної дороги // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2017. – Вип. 98 – С. 56-71.

4. Гуляєв В.І., Гайдачук В.В., Мозговий В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В., Шлюнь Н.В. Термопружний стан багатошарових дорожніх покриттів // Монографія – К. : НТУ, 2018. – 272 с.

5. Гуляєв В.І., Гайдайчук В.В., Мозговий В.В.,Густєлєв О.О., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В. Дослідження термонапруженого стану конструкцій дорожнього одягу // Промислове будівництво та інженерні споруди, 2017, №1. – С. 6-12.

6. Гуляєв В. І., Шевчук Л.В., Куцман О.М. Сезонний перерозподіл полів напружень в конструкціях шаруватих покриттів доріг під дією транспортних навантажень // Вісник НТУ – К.:НТУ – 2018. – Вип. 40. –С. 98 – 105.

7. Ковалев Я. Н. Автомобильные дороги. Минск: Арт Дизайн, 2006, 352 с.

8. Коваленко А.Д. Основы термоупругости. К: Наукова Думка, 1970, 239 с.

9. Мозговий В.В., Онищенко А.М., Різніченко О.С. Методика проектування асфальтобетонних шарів зносу для міських умов // Вісник, 2010. – Част. 1. – С. 46-50.

10. Мозговой В.В. Повышение гидроизоляционной способности асфальтобетонного покрытия // Проблемы механики и строительства транспортних сооружений: Труды II Международной научно-практической конференции. -Алматы. – 2015. – 54-60 с.

11. Новацкий В. Динамические задачи термоупругости. М.: Мир, 1970, 256 с.

12. Перельмутер А. В., Сливнер В.И. Расчетные медели сооружений и возможность их анализа. М.: ДМК Пресс, 2007, 600 с.

13. Радовский Б.С. Проблемы механіки дорожно-строительных материалов и дорожніх одежд. К: ПолиграфКонсалтинг, 2003, 252 с.

14. Сендецки Дж. Механика композитних материалов. Т.2.М.: Мир, 1978, 566 с.

15. Телтаев Б.Б. Деформации и напряжения в нежестких конструкціях дорожніх одежд. Алмата: Казахская академія транспорта и коммуникаций им М.Тынышбаева, 1999, 217 с.

16. Чанг Н., Хауэс Ф. Нелинейные сингулярновозмущенные краевые задачи.М.: Мир, 1988, 247 с.

17. Bahia H.U., Zeng M., Nam K. Consideration of strain at failure and strength in prediction of pavement thermal cracking // J AAPT. – 2000. – 69. – P. 497–535.

18. Bouldin M.G., Dongré R., Rowe G.M., Sharrock M.J., Anderson D.A. Predicting thermal cracking of pavements from binder properties // AAPT. – 2000. – 69. – P. 455–496.

19. Chen EY, Pan GE, Norfolk TS, Wang O (2011) Surface loading of a multilayered viscoelastic pavement. RoadMatPavDes 12:849–874

20. Herve D. B., Louis F. Mechanical tests for bituminous materials. Recent improvements and future prospects // – Proceedings of the Fifth international RILEM Symposium MTBM LYON 97/France/14-16 MAI 1997. – P. 353-355.

21. Molenaar A.A., Li N. Prediction of compressive and tensile strength of asphalt concrete // Int J Pav Res Tech. – 2014. – 7. – P. 324–331.

22. Radovskiy B., Mozgovoy V. Waystore ducelow temperature crackingin Asphalt Pavements. In: 4th Eurobitume Symposium, Madrid. – 1989.

23. Yoder E.J. Principles of pavement design. – NewYork. JohnWiley&sons, INC. London. Chapman&Hall, Ltd. 1991.

REFERENCES

1. Haidaichuk V.V., Mozghovyi V.V., Hustieliev O.O., Shevchuk L.V. Analizdeformuvanniadorozhnohopokryttianametaleviiplytipivdennohomosta / Promyslovebudivnytstvotainzhenernisporudy. – 2019. - №1. – S. 31 – 39.

2. Haidaichuk V.V., Mozghovyi V.V., ZaietsYu.O., Shevchuk L.V. Modeliuvannia napruzheno-deformovanoho stanukonstruktsiidorozhnohoodiahupiddiieiutransportnykhnavantazhen // Opirmaterialiv i teoriiasporud. – 2017. – Vyp. 99 – S. 45-57.

3. Haidaichuk V.V., Mozghovyi V.V., ZaietsYu.O., Shevchuk L.V. Chyselnemodeliuvanniatermonapruzhenohostanusharuvatohopokryttiaavtomobilnoidorohy // Opirmaterialiv i teoriiasporud. – 2017. – Vyp. 98 – S. 56-71.

4. Huliaiev V.I., Haidachuk V.V., Mozghovyi V.V., ZaietsYu.O., Shevchuk L.V., Shliun N.V. Termopruzhnyistanbahatosharovykhdorozhnikhpokryttiv // Monohrafiia – K. : NTU, 2018. – 272 s.

5. Huliaiev V.I., Haidaichuk V.V., Mozghovyi V.V., Hustieliev O.O., ZaietsYu.O., Shevchuk L.V. Doslidzhenniatermonapruzhenohostanukonstruktsiidorozhnohoodiahu // Promyslovebudivnytstvotainzhenernisporudy, 2017, №1. – S. 6-12.

6. Huliaiev V. I., Shevchuk L.V., Kutsman O.M. Sezonnyipererozpodilpolivnapruzhen v konstruktsiiakhsharuvatykhpokryttivdorihpiddiieiutransportnykhnavantazhen // Visnyk NTU – K.:NTU – 2018. – Vyp. 40. ─ S. 98 – 105.

7. KovalevYa. N. Avtomobil'nyedorogi. Minsk: ArtDizajn, 2006, 352 s.

8. Kovalenko A.D. Osnovытermoupruhosty. K: NaukovaDumka, 1970, 239 s.

9. Mozghovyi V.V., Onyshchenko A.M., Riznichenko O.S. Metodykaproektuvanniaasfaltobetonnykhsharivznosudliamiskykhumov // Visnyk, 2010. – Chast. 1. – S. 46-50.

10. Mozgovoj V.V. Povysheniegidroizolyacionnojsposobnostiasfal'tobetonnogopokrytiya // Problemymekhaniki i stroitel'stvatransportnyhsooruzhenij: Trudy II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. Almaty. – 2015. – 54-60 s.Novatskyi V. Dynamycheskyezadachytermoupruhosty. M.: Myr, 1970, 256 s.

11. Novackij V. Dinamicheskiezadachitermouprugosti. M.: Mir, 1970, 256 s.

12. Perel'muter A. V., Slivner V.I. Raschetnyemedelisooruzhenij i vozmozhnost'ihanaliza. M.: DMK Press, 2007, 600 s.

13. Radovskij B.S. Problemymekhanikidorozhno-stroitel'nyhmaterialov i dorozhnyhodezhd. K: PoligrafKonsalting, 2003, 252 s.

14. SendeckiDzh. Mekhanikakompozitnyhmaterialov. T.2. M.: Mir, 1978, 566 s.

15. Teltaev B.B. Deformacii i napryazheniya v nezhestkihkonstrukciyahdorozhnyhodezhd. Almata: Kazahskayaakademiyatransporta i kommunikacijimM.Tynyshbaeva, 1999, 217 s.

16. CHang N., Haues F. Nelinejnyesingulyarnovozmushchennyekraevyezadachi. M.: Mir, 1988, 247 s.

17. Bahia H.U., Zeng M., Nam K. Consideration of strain at failure and strength in prediction of pavement thermal cracking // J AAPT. – 2000. – 69. – P. 497–535.

18. Bouldin M.G., Dongré R., Rowe G.M., Sharrock M.J., Anderson D.A. Predicting thermal cracking of pavements from binder properties // AAPT. – 2000. – 69. – P. 455–496.

19. Chen EY, Pan GE, Norfolk TS, Wang O (2011) Surface loading of a multilayered viscoelastic pavement. RoadMatPavDes 12:849–874

20. Herve D. B., Louis F. Mechanical tests for bituminous materials. Recent improvements and future prospects // – Proceedings of the Fifth international RILEM Symposium MTBM LYON 97/France/14-16 MAI 1997. – P. 353-355.

21. Molenaar A.A., Li N. Prediction of compressive and tensile strength of asphalt concrete // Int J Pav Res Tech. – 2014. – 7. – P. 324–331.

22. Radovskiy B., Mozgovoy V. Waystore ducelow temperature crackingin Asphalt Pavements. In: 4th Eurobitume Symposium, Madrid. – 1989.

23. Yoder E.J. Principles of pavement design. – NewYork. JohnWiley&sons, INC. London. Chapman&Hall, Ltd. 1991.

РЕФЕРАТ

Шевчук Л.В. Термопружні деформації асфальтобетонного шару на металевій плиті моста при зміні товщини асфальтобетону / Л.В. Шевчук // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51).

На базі теорії термопружності розглянуто задачу про термонапружений стан двошарового фрагмента мостової конструкції, що складається з металевої основи і асфальтобетонного верхнього шару, в умовах зміни температури навколишнього середовища при різних значеннях товщини асфальтобетону. Вважається, що матеріали шарів характеризуються різними термомеханічними параметрами, які зумовлюють неоднорідність полів напружень і деформацій.

Методом комп'ютерного моделювання встановлено, що ці фактори призводять до концентрації напружень та деформацій і зміни напружено-деформованого стану мостової конструкції їздового полотна, яка не враховується в сучасній практиці проектування і експлуатації мостів, і є однією з причин передчасних руйнувань асфальтобетонного покриття автодорожнього мосту. Для виключення цих недоліків на базі алгоритмів скінченних елементів виконано теоретичний аналізтермонапруженого стану металевої ортотропної плити з асфальтобетонним покриттям при різних відношеннях їх товщин. Показано, що зменшення товщини верхнього шару може приводити до зростання ініційованих в ньому дотичних і нормальних розтягуючи напружень. Тому при проектуванні конструкцій мостів ці особливості повинні бути враховані додатково.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОСТОВА КОНСТРУКЦІЯ, АСФАЛЬТОБЕТОННЕ ПОКРИТТЯ, ОРТОТРОПНА ПЛИТА, ПОПЕРЕЧНІ ТРІЩИНИ, ТРАНСПОРТНІ НАВАНТАЖЕННЯ, ПОЛЕ НАПРУЖЕНЬ, ТЕРМОНАПРУЖЕНИЙ СТАН.

ABSTRACT

Shevchuk L.V. Thermoelastic deformations of an asphalt concrete layer on a metal bridge slab with a change in asphalt concrete chickness. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

Based on the theory of thermoelasticity, the problem of the thermally stressed state of a two-layer fragment of a bridge structure, consisting of a metal base and an asphalt concrete upper layer, is considered under conditions of changing ambient temperature at different values of the asphalt concrete thickness. It is believed that the materials of the layers are characterized by different thermomechanical parameters, which determine the inhomogeneity of the stress and strain fields.

It has been established by computer modeling that these factors lead to the concentration of stresses and strains and a change in the stress-strain state of the bridge structure of the driving deck, which is not taken into account in modern practice of designing and operating bridges, and is one of the causes of premature destruction of the asphalt concrete pavement of the road bridge. To eliminate these shortcomings, on the basis of finite element algorithms, a theoretical analysis of the thermally stressed state of a metal orthotropic slab with an asphalt concrete pavement was performed at different ratios of their thicknesses. It is shown that a decrease in the thickness of the upper layer can lead to an increase in the contact and normal tensile stresses initiated in it. Therefore, when designing bridge structures, these features should be taken into account additionally.

KEYWORDS: BRIDGE STRUCTURE, ASPHALT-CONCRETE COATING, ORTHOTROPIC PLATE, TRACKED TRACKS, TRANSPORT LOADS, STRESS FIELD, THERMO ELASTIC STATE.

АВТОР:

Шевчук Людмила Володимирівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент 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 professor department of mathematics, e-mail: ludmilashevchuk25@gmail.com, tel. +380667153633, Ukraine, 01010, Kyiv, Boychuka str.42, of.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.

REVIEWER:

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.

УДК 656
UDC 656
DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-430-437

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ У ПЕРЕВЕЗЕННЯХ ВАНТАЖІВ

Ширяєва С.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, svitlana007@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9696-635X
Дяченко І.О., Національний транспортний університет, Київ, Україна, makievskairina77@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5404-3423

APPLICATION OF ELEMENTS OF INTELLECTUAL TRANSPORT SYSTEMS IN CARGO TRANSPORTATION

*Shyriaieva S.V.,*Candidate of Sciences (Engineering), National Transport University, Kyiv, Ukraine, svitlana007@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9696-635X
Diachenko I.A., National Transport University, Kyiv, Ukraine, makievskairina77@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5404-3423

Постановка проблеми. Одним з базових пріоритетів внутрішньої і зовнішньої політики України в сучасних умовах є прискорена інтеграція її торгового і транспортного комплексів в світовий транспортний простір, створення сприятливих умов для вільного переміщення товарів і послуг. Використання інтелектуальних систем керування в транспортній галузі є одним з перспективних завдань, що дозволить значно скоротити ризики негативного впливу людського фактору на безпеку та якість перевезень.

Актуальним постає питання не просто управління транспортом, а управління транспортними системами з використанням інтелектуальних технологій, у яких засоби зв'язку, управління та контролю спочатку вбудовані в транспортні засоби та об'єкти транспортної інфраструктури, а можливості прийняття рішень доступні всім користувачам транспорту. Інтелектуалізація процесу керування потребує проведення додаткових досліджень за такими напрямками: розробка оптимізованих структур баз знань; удосконалення систем збирання поточної інформації та дистанційної передачі сигналів та даних. [1]

Аналіз останніх публікацій по проблемі. На сьогодні існує багато причин, що гальмують широке застосування інтелектуальних транспортних систем. Проблемам застосування інтелектуальних транспортних систем у доставці вантажів присвячено праці багатьох вчених, як вітчизняних , так і іноземних, таких як: А. Р. Гайков, Дж. Русел, Дж. С'юсман, А. Машрур, та ін. [2-5]

Формулювання цілей дослідження (постановка завдання). Метою статті є дослідження застосування інтелектуальних транспортних систем для підвищення ефективності перевезень вантажів. Вона реалізується шляхом впровадження і підтримки автоматизованої та автоматичної взаємодії усіх транспортних суб'єктів в реальному масштабі часу. Побудова відповідної інтелектуальної транспортної системи базується на комплексі дорожньо-транспортної, транспортно-технологічної, транспортно-сервісної та інформаційної інфраструктури.

Виклад основних результатів та їх обґрунтування. Розвиток вантажних перевезень в Україні супроводжується постійним розширенням та створенням нових інформаційних зв'язків. А отже, ефективність управління транспортною системою напряму залежить від її інформаційного забезпечення. Без своєчасного надходження інформації неможливо якісно організовувати технологічні, організаційні та інші процеси. Важливим елементом логістичного ланцюга доставки вантажів є транспортні вузли та термінали, у яких відбувається взаємодія транспорту. Саме тут є дуже важливим забезпечити безперервність керованих процесів.

Автоматизоване управління логістичною інформацією в реальному масштабі часу допомагає вирішувати такі задачі, пов'язані з доставкою вантажів: скорочення транспортних витрат за рахунок оптимального завантаження транспорту; оптимізація маршрутів доставки; ведення точного обліку показників рейсу (тривалість, пробіг, витрати тощо). Інтеграція різноманітних систем: автоматизованих систем управління та інформаційних систем, що використовуються на транспорті, у тому числі й під час організації вантажних перевезень, привела до створення управлінських технічно-програмних комплексів під назвою «Інтелектуальні транспортні системи» (ІТС).

Інтелектуальна транспортна система – це системна інтеграція сучасних інформаційних і комунікаційних технологій та засобів автоматизації з транспортною інфраструктурою, транспортними засобами і користувачами, яка орієнтована на підвищення безпеки і ефективності транспортного процесу, комфортності для водіїв і користувачів транспорту.

Розвиток ІТС згруповано по шести пріоритетних напрямах:

• оптимальне використання інформації про дороги, рух і їздки, яке передбачає отримання актуальної і перевіреної інформації на всіх рівнях управління транспортом незалежно від форми власності оператора і виду транспорту та забезпечує її доступність для всіх користувачів;

• забезпечення умов для безбар'єрного переміщення вантажів і оптимального управління вантажними перевезеннями на міжнародних транспортних коридорах і в міських агломераціях за рахунок автоматичної ідентифікації транспортних одиниць, надання різних послуг (наприклад, митних) в режимі онлайн і просторового позиціонування на основі космічних навігаційних систем;

• підвищення безпеки дорожнього руху за рахунок розвитку автоматичних систем, що попереджають і запобігають небезпечні ситуації як між транспортними засобами, так і між автомобілями і пішоходами;

•забезпечення безпеки і захисту даних, що передаються в ІТС, зокрема особистих і фінансових даних користувачів;

• інтеграція транспортного засобу в транспортну інфраструктуру за рахунок використання відкритих «додатків» в комп'ютерних системах транспортних засобів та програмному забезпеченні ІТС, що дозволяє забезпечити сумісність інформаційних систем і автоматично передавати дані, необхідні для оптимального управління як індивідуальними транспортними засобами, так і їх потоками.

На рисунку 1 зображено загальну схему застосування інтелектуальних транспортних систем на дорозі.

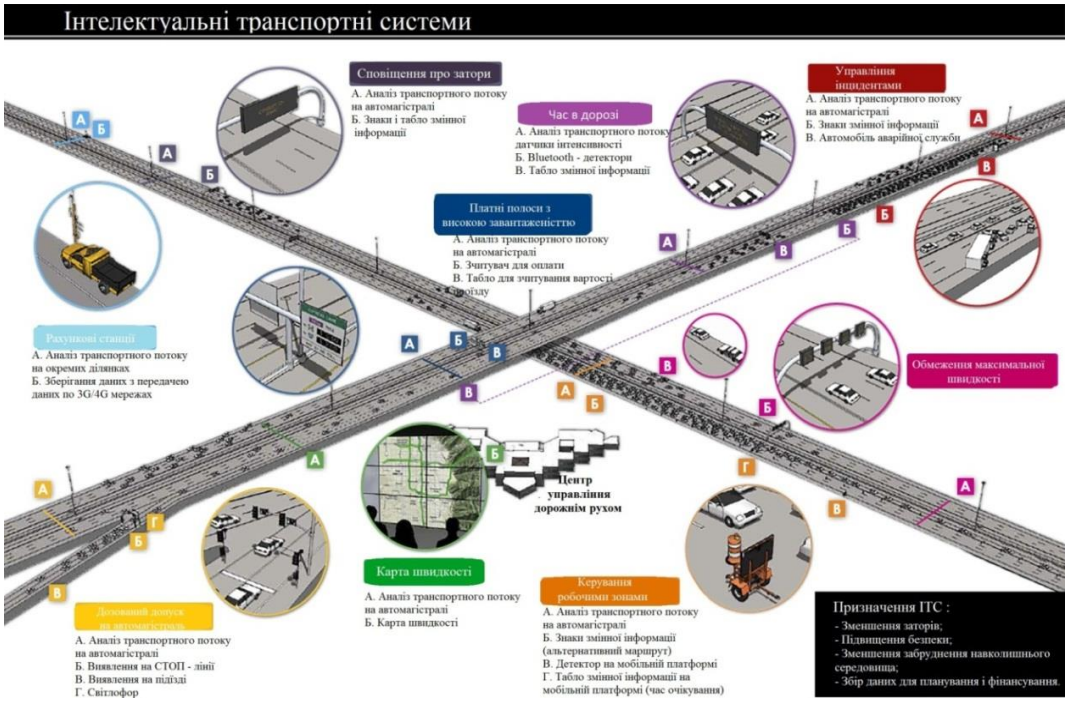


Рисунок 1 – Схема застосування ІТС на дорозі
Figure 1 – Scheme of ITS on the road

В основі інноваційної ІТС лежать оптичні датчики, за допомогою яких ведеться контроль за станом дорожнього руху. Збираючи інформацію, вони сигналами посилають її в спеціальні модулі. В них всі сигнали обробляються, порівнюються з інформацією, отриманою з інших систем. На основі даних порівнянь водієві надається точна і достовірна інформація про ситуацію на конкретній ділянці дороги. [6]

Інтелектуальні транспортні системи та їх компоненти у розвинених країнах вже показали свою ефективність і необхідність. Там є організації, які займаються вирішенням питань якості руху та підвищення безпеки. Серед найбільш авторитетних: ERTICO (Європа); ITS America – Америка; The

Vehicle, Road and Traffic Intelligence Society (VERTIS) – Японія. Досвід світової практики запровадження ITC визнаний, як загальнотранспортна ідеологія інтеграції досягнень телематики в усі види транспортної діяльності для вирішення проблем економічного і соціального характеру: скорочення аварійності, підвищення ефективності вантажних перевезень, забезпечення загальної транспортної безпеки, поліпшення екологічних показників тощо.

Для спрощення за стеженням та контролю за транспортними характеристиками вантажів пропонується впроваджувати в транспортні підприємства застосування RFID-технологій, а саме RFID-чіпи, що є досить економічним та ефективним інструментом у транспортній логістиці. [7]

Суть роботи RFID-систем полягає у взаємодії двох основних складових елементів: мітки (або тега) і приймача-пристрою, що зчитує. Пасивний елемент – мітка (чіп) – призначений для зберігання інформації, а активний – зчитувач (термінал) – необхідний для зчитування цих даних шляхом радіочастотної взаємодії. Таким чином, можна легко ідентифікувати об'єкти на відстані – без безпосереднього контакту з ними, що, наприклад, необхідно при зчитуванні штрих-коду або QR-коду. [8]

Для доведення економічної вигоди від впровадження RFID-чіпів в транспортні компанії, виконаємо розрахунки на прикладі автотранспортного підприємства «ЛОГІСТИК ЮЕЙ».

Розрахунок матеріальних витрат

Матеріальні витрати визначаються як добуток кількості витрачених матеріалів та їх вартості:

$$C = q \cdot p \text{ , грн} \quad (1)$$

де q – кількість витраченого матеріалу (щомісячний абонемент інтернету; кількість чіпів необхідна для одного автомобіля);

p – вартість матеріалу, грн.

Звідси, загальні місячні матеріальні витрати можна визначити, як загальну суму матеріальних витрат:

$$GE = \sum C = C_1 + C_2 \text{ , грн} \quad (2)$$

Результати розрахунків матеріальних витрат представлено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Розрахунки матеріальних витрат

Table 1 – Calculations of material costs

Найменування матеріальних ресурсів	Один. виміру	Кількість	Вартість один., грн.	Витрати матер., грн.	Загальна сума витрат на матер., грн.
1. Основні матеріали					
Використання мережі Internet	Місячний абонемент	1	150	150	150
2. Допоміжні витрати					
RFID мітка Ardix з чіпом EM-Marine, паперова наклейка, 25 мм, (08-047)	шт.	20	13,95	279	279
				Разом:	429

Розрахунок витрат на електроенергію

Витрати на електроенергію одиниці обладнання визначаються за формулою:

$$EC = W \cdot T \cdot S \text{ , грн} \quad (3)$$

де W – необхідна потужність комп'ютера, кВт;

T – кількість годин роботи на місяць в мобільному додатку, год.;

S – вартість кіловат-години електроенергії, грн/кВт-год.

Вартість кіловат-години електроенергії слід приймати згідно існуючих на даний час тарифів: 1кВт з ПДВ коштує 1,68 грн. Потужність комп'ютера для роботи з інтернет додатками – 400 Вт, кількість годин роботи обладнання на місяць, згідно з графіком роботи – 44 години.
Отже, ЕС $= 0{,}4 \cdot 44 \cdot 1{,}68 = 29{,}56$ грн.

Розрахунок суми амортизаційних відрахувань

Характерною особливістю застосування основних фондів у процесі виробництва є їх відновлення. Для відновлення засобів праці у натуральному виразі необхідне їх відшкодування у вартісній формі, яке здійснюється шляхом амортизації.

Амортизація – це процес перенесення вартості основних фондів на вартість новоствореної продукції з метою їхнього повного відновлення.

Для визначення амортизаційних витрат використовується формула:

$$A = \frac{B_v \cdot D_r}{100\%}, \text{грн.} \tag{4}$$

де B_v – вартість комп'ютера, грн.;

D_r – норма амортизації комп'ютерної техніки, %.

$$A = \frac{23000 \cdot 5\%}{100\%} = 1150 \text{ грн.}$$

Обчислення накладних витрат

В залежності від організаційно-правової форми діяльності господарюючого суб'єкта, накладні витрати можуть становити 20–60 % від суми основної та додаткової заробітної плати працівників.

$$O = W \cdot P_w, \text{ грн} \tag{5}$$

де W – заробітна плата працівника (станом на 06.11.2021р. середня ЗП становить 14239 грн), грн.; [9]

P_w – відсоток від суми основної заробітної плати працівників, %.

$$O = 14239 \cdot 0{,}2 = 2847{,}8 \text{ грн}$$

Складання кошторису витрат та визначення собівартості запровадження чіпів RFID.

Результати проведених вище розрахунків зведемо у таблицю 2.

Таблиця 2 – Місячний кошторис на запровадження RFID-чіпів

Table 2 – Monthly estimate for the introduction of RFID-chips

Статті витрат	Сума, грн.	Питома вага собівартості, %
Матеріальні витрати	429	9,63
Витрати на електроенергію	29,56	0,67
Амортизаційні відрахування	1150	25,80
Накладні витрати	2847,8	63,90
Разом	4456,36	100,00

Отримані результати розрахунку місячного кошторису наведено на рисунках 2 та 3 у вигляді діаграм.

Собівартість розрахуємо за формулою:

$$S = GE + EC + A + O, \text{ грн.} \tag{6}$$

де GE – матеріальні витрати, грн;

EC – витрати на електроенергію, грн;

A – амортизаційні відрахування, грн;

O – накладні витрати, грн.

Св = 429 + 29,56 + 1150 + 2847,8 = 4456,36 грн.

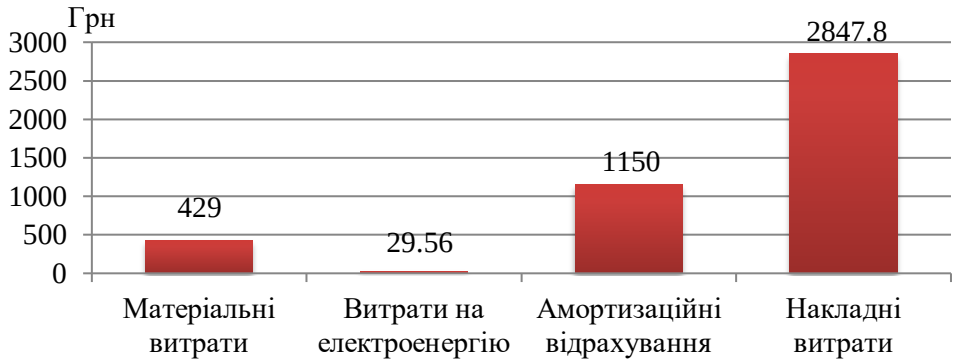


Рисунок 2 – Діаграма кошторису витрат впровадження RFID-чіпів в компанію «ЛОГІСТИК ЮЕЙ», грн.
Figure 2 – Diagram of the cost estimate of the introduction of RFID-chips in the company «LOGISTICS UA», UAH

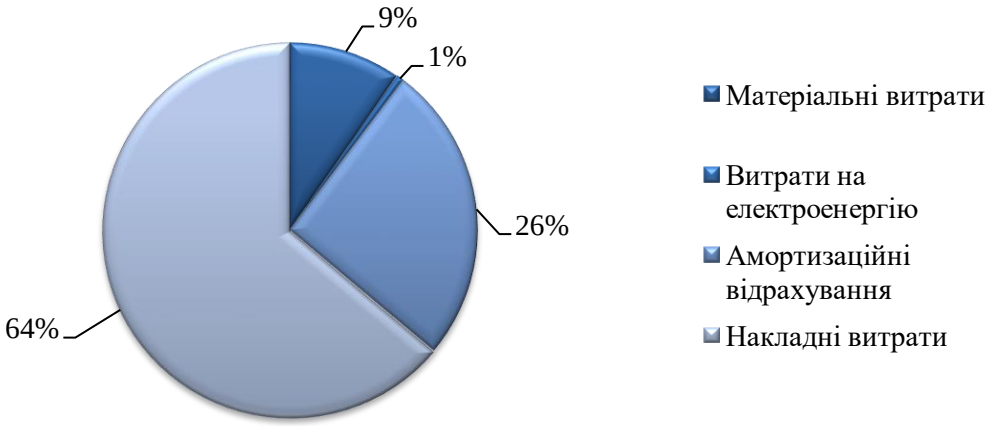


Рисунок 3 – Питома вага собівартості впровадження RFID-чіпів в компанію «ЛОГІСТИК ЮЕЙ», %
Figure 3 – The share of the cost of implementing RFID-chips in the company «LOGISTICS UA «,%

Розрахунок витрат на проведення впровадження RFID-чіпів за фомулою:
Формула для обчислення вартості:

$$V = S \cdot (1 + P) \cdot (1 + VAT) \text{ , грн} \quad (7)$$

де P – рівень рентабельності (30 %);
VAT – ставка податку на додану вартість, (згідно Податкового кодексу України ПДВ = 20%, станом на 02.12.2021). [10]

V = 4456,36 · (1 + 0,3) · (1+ 0,2) = 6951,92 грн.

Визначення економічної ефективності і терміну окупності капітальних вкладень

Ефективність – це узагальнене і повне відображення кінцевих результатів використання робочої сили, засобів та предметів праці за певний проміжок часу.

$$E = \frac{P}{S} \quad (8)$$

де P – прибуток, грн;
S – собівартість, грн.

Плановий прибуток знаходимо за формулою:

$$P_p = V - S \text{, грн} \quad (9)$$

$P_р = 6951{,}92 - 4456{,}36 = 2495{,}56$ грн.

Отже, формула для визначення економічної ефективності набуде вигляду:

$$E = \frac{P_р}{S} \tag{10}$$

$E = \frac{2495{,}56}{4456{,}36} = 0{,}56$.

Термін окупності капітальних вкладень :

$$T_о = \frac{1}{E}, \text{ роки} \tag{11}$$

$T_о = \frac{1}{0{,}56} = 1{,}7$ роки.

Згідно розрахунків, плановий прибуток від впровадження RFID-чіпів в автотранспортне підприємство становить 2495,56 грн., економічна ефективність – 0,56, а термін окупності – 1,7 роки, що вважається доцільним та економічно вигідним.

Висновки. Отже, з вище наведеного, можна зробити висновок, що інтелектуальні транспортні системи охоплюють широкий спектр інформаційних, дорожніх, навігаційних, автомобільних систем, а також систем страхування і контролю за транспортним засобом/водієм та інших систем, що використовують дані, щоб створити «інтелектуальні» рішення в галузі транспорту. До цієї категорії належить більшість транспортних «додатків», які доступні на сучасних смартфонах. Застосування ІТС сприяє побудові більш надійнішої, безпечнішої та ефективнішої транспортної системи, а також зменшити її вплив на довкілля.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сорока М.В. Інформатизація як глобальний тренд розвитку ТНК, Національний університет «Львівська політехніка» – 2011- С. 24-31

2. Інтелектуальні транспортні системи в Україні / А. Р. Гайков, О. П. Євсєєва, О. В. Баранов, В. Ю. Баранов // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ» : зб. наук. пр. Темат. вип. : Автомобіле- та тракторобудування. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2014. – № 9 (1052). – С. 106-112.

3. Russell, J. Intelligent transportation system [Текст] / Jesse Russell. – VSD, 2012. – 110 p.

4. Sussman, J. S. Perspectives on Intelligent Transportation Systems (ITS) [Текст] / Joseph S. Sussman. – Springer, 2005. – 229 p.

5. Mashrur A. Chowdhury Fundamentals of Intelligent Transportation Systems Planning [Текст] / Mashrur A. Chowdhury, Adel W. Sadek. Artech House, 2003. – 210 p.

6. Мнацаканян М.С. Моделювання інтелектуальних транспортних систем в умовах впливу гетерогенних факторів нестаціонарного середовища. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. – ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» МОН України, Національний транспортний університет МОН України, Київ, 2019. (ст.91) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://diser.ntu.edu.ua/Mnatsakanian_aref.pdf

7. Ширяєва С.В., Селіванова Н.Ю. Застосування RFID-технології при здійсненні перевезень швидкопсувних вантажів. / Світлана Володимирівна Ширяєва, Нінель Юріївна Селіванова. // Вісник НТУ – К.: НТУ – 2012. – Вип. 26. – с.375-379. http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/26_2_2013/375-379.pdf

8. Що таке RFID-технології, особливості і переваги їх застосування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://vikna.if.ua/cikavo/102674/view – Назва з екрану.

9.Міністерство інфраструктури України: офіц. текст Середня заробітна плата працівника за грудень 2021р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://index.minfin.com.ua/ua/labour/salary/average/

10. Державна фіскальна служба України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://sfs.gov.ua/nk/rozdil-v--podatok-na-dodanu-vartist/

REFERENCES

1. Soroka M.V. Informatyzatsiya yak hlobal′nyy trend rozvytku TNK [Informatization as a global trend of TNC development] – Lviv Polytechnic National University – 2011- P. 24-31. [in Ukrainian].

2. Intelektual′ni transportni systemy v Ukrayini [Intelligent transport systems in Ukraine] / A.R. Gaikov, O.P. Evseeva, O.V. Baranov, V. Yu. Baranov // Visnyk Nats. tech. HPI University: Coll. Science. etc. Topic. issue : Car and tractor construction. – Kharkiv: NTU «KhPI». – 2014. – № 9 (1052). – P. 106-112. [in Ukrainian].

3. Russell, J. Intelligent transportation system / Jesse Russell. – VSD, 2012. – 110 p.

4. Sussman, J. S. Perspectives on Intelligent Transportation Systems (ITS) / Joseph S. Sussman. – Springer, 2005. – 229 p.

5. Mashrur A. Chowdhury Fundamentals of Intelligent Transportation Systems Planning / Mashrur A. Chowdhury, Adel W. Sadek. Artech House, 2003. – 210 p.

6. Mnatsakanyan M.S. Modelyuvannya intelektual′nykh transportnykh system v umovakh vplyvu heterohennykh faktoriv nestatsionarnoho seredovyshcha [Modeling of intelligent transport systems under the influence of heterogeneous factors of non-stationary environment]. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript. – SHEI «Priazovsky State Technical University» of the Ministry of Education and Science of Ukraine, National Transport University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2019. (p.91) [Electronic resource]. – Access mode: http://diser.ntu.edu.ua/Mnatsakanian_aref.pdf [in Ukrainian].

7. Shyriaieva S.V., Selivanova N.Yu. Zastosuvannya RFID-tekhnolohiyi pry zdiysnenni perevezen′ shvydkopsuvnykh vantazhiv. [The use of RFID technology in the transportation of perishable goods]. / Svetlana Vladimirovna Shiryaeva, Ninel Yuriyivna Selivanova. // Bulletin of NTU – K .: NTU – 2012. – Issue. 26. – p.375-379. http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/26_2_2013/375-379.pdf. [in Ukrainian].

8. Shcho take RFID-tekhnolohiyi, osoblyvosti i perevahy yikh zastosuvannya [What are RFID-technologies, features and benefits of their application] [Electronic resource]. – Access mode: https://vikna.if.ua/cikavo/102674/view – Name from the screen. [in Ukrainian].

9. Ministry of Infrastructure of Ukraine: ofits. Text Serednya zarobitna plata pratsivnyka za hruden′ 2021r. [The average salary of an employee for December 2021]. [Electronic resource]. – Access mode: https://index.minfin.com.ua/ua/labour/salary/average/. [in Ukrainian].

10. State Fiscal Service of Ukraine [Electronic resource]. – Access mode: http://sfs.gov.ua/nk/rozdil-v--podatok-na-dodanu-vartist/ .[in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Ширяєва С.В. Застосування елементів інтелектуальних транспортних систем у перевезеннях вантажів / С.В. Ширяєва, І.О. Дяченко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип.1 (51).

В статті розглянуто проблеми застосування елементів інтелектуальних транспортних систем у перевезеннях вантажів в транспортні підприємства України. Виконано розрахунки економічних показників від впровадження RFID-чіпів на прикладі існуючого автотранспортного підприємства «ЛОГІСТИК ЮЕЙ».

Об’єкт дослідження – процес перевезення вантажів.

Мета роботи – удосконалення процесу перевезень вантажів завдяки застосуванню елементів інтелектуальних транспортних систем.

Метод дослідження – аналітичний.

Для спрощення за стеженням та контролю за транспортними характеристиками вантажів пропонується впроваджувати в транспортні підприємства застосування RFID-технологій, а саме RFID-чіпи, що є досить економічним та ефективним інструментом у транспортній логістиці.

Наведено методику для розрахунку економічної вигоди від впровадження RFID-чіпів у транспортні компанії та доведено її ефективність у застосуванні на практиці.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ, RFID-ЧІПИ, ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ.

ABSTRACT

Shyriaieva S.V., Diachenko I.A. Application of elements of intelligent transport systems in cargo transportation. Visnyk National Transport University. Series « Technical sciences». Scientific and technical collection. Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (51).

The article considers the problems of application of elements of intelligent transport systems in cargo transportation to transport enterprises of Ukraine. Calculations of economic indicators from the introduction of RFID-chips on the example of the existing motor transport enterprise «LOGISTIC UA» are performed.

The object of research is the process of transportation of goods.

The purpose of the work is to improve the process of cargo transportation with the use of elements of intelligent transport systems.

The research method is the analytical.

To simplify the tracking and control of transport characteristics of goods, it is proposed to introduce the use of RFID technologies in transport companies, namely RFID chips, which is a very economical and effective tool in transport logistics.

The methodology for calculating the economic benefits from the introduction of RFID chips in transport companies is presented and its effectiveness in practice is proved.

KEY WORDS: INTELLECTUAL TRANSPORT SYSTEMS, RFID-CHIPS, CARGO TRANSPORTATION.

АВТОРИ:

Ширяєва Світлана Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортних технологій, e-mail: svitlana007@gmail.com, моб. тел.: +38(050)8855299, Україна, 01010, Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 432, orcid.org/0000-0001-9696-635X.

Дяченко Ірина Олексіївна, Національний транспортний університет, e-mail: makievskairina77@gmail.com, моб. тел.+38(096)9571646, Україна, 01010, Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 432, orcid.org/0000-0002-5404-3423.

AUTORS:

Shyriaieva Svitlana V., National Transport University, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Transport Technologies, e-mail: svitlana007@gmail.com, +38(050)8855299, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 432, orcid.org/0000-0001-9696-635X.

Diachenko Iryna A., National Transport University, e-mail: makievskairina77@gmail.com, +38(096)9571646, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 432, orcid.org/0000-0002-5404-3423.

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:

Melnychenko 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.