

КОНТРОЛЬ ЗНАНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ДИНАМІЧНИХ ЕЛЕКТРОННИХ БІЛЕТІВ ПІД ЧАС ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ В УМОВАХ ПАНДЕМІЇ COVID-19

Аль-Аммори Алі, доктор технічних наук, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, ammourilion@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0375-6108

Червякова Т.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, cherti2015@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3672-9173

CONTROL OF KNOWLEDGE WITH THE USE OF DYNAMIC ELECTRONIC TICKETS DURING DISTANCE LEARNING IN A COVID-19 PANDEMIC

Al-Ammouri Ali, Doctor of Technical Sciences, National Transport University Kyiv, Ukraine, ammourilion@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0375-6108

Chervyakova T.I., Ph.D, National Transport University, Kyiv, Ukraine, cherti2015@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3672-9173

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Запровадження карантину змінило традиційний освітній процес, змусивши заклади вищої освіти пристосуватись до нової реальності шляхом запровадження дистанційного формату навчання з використанням різних веб-серверів, платформ, ресурсів та соціальних мереж. Віртуальне (цифрове) середовище навчання дає змогу не тільки забезпечити передавання змісту навчальних дисциплін, спілкування та взаємодію, але й здійснити оцінювання здобутих студентами знань і навичок [1].

Для підвищення ефективності контролю знань та умінь студентів у дистанційному навчанні можуть використовуватись різні види та методи педагогічного контролю. Попередній контроль знань (до початку навчання) дозволяє виявити початкові знання студентів, поточний – визначити рівень засвоєних знань (може проводитись після кожного заняття або після нових вивчених понять), тематичний – виявляє рівень засвоєння теми або розділу (проводиться після вивчення певної теми), підсумковий / семестровий – визначити засвоєння знань з предмета в цілому (проводиться в кінці семестру у формі іспиту), атестація здобувачів вищої освіти – комплексна перевірка знань здобувачів у формі атестаційного іспиту. При цьому можуть використовуватись тестовий метод контролю (проводиться в дистанційній системі курсу), письмовий (наприклад, написання есе, що відсилаються на перевірку через інтернет-технології) або усний з використання аудіо- та відеоконференцій.

Для створення екзаменаційних білетів особливо корисними є відкриті запитання за типом есе, які передбачають отримання розгорнутої письмової відповіді на запитання. На думку дослідників [2], це дозволить провести глибинну оцінку знань того, хто навчається.

Процедура проведення контрольних заходів у дистанційному режимі повинна передбачати ідентифікацію особи студента, контроль тривалості виконання завдань; варіативність формування завдань контрольних заходів з використанням алгоритмів випадкового вибору запитань [3, 4].

Проблему об'єктивності такого оцінювання рекомендують вирішувати за допомогою оцінювання знань усіх студентів групи одночасно в режимі реального часу або ж протягом онлайн-занять, які передбачають одночасну присутність студентів і викладача [1].

Організація іспитів онлайн стала перевіркою дисципліни, чіткості, ретельності роботи як викладача, так і студента.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми.

Проблемам та умовам організації та впровадження дистанційної форми навчання присвячені наукові роботи деяких вітчизняних та закордонних дослідників: Беккера Х., Бикова В. Ю. [5], Кухаренко В. М. [6], Морзе Н. В., Олійника В. В., Полат Є. С., Триуса Ю. В. [7], змішаного (дистанційно-аудиторного) навчання – Кухаренко В.М. [8], Сікора Я.Б. [9]. Проте процес організації контролю знань потребує удосконалення на засадах академічної доброчесності у віртуальному середовищі взаємодії студент-викладач.

Цілі статті. Метою роботи є розробка і програмна реалізація алгоритму динамічного формування пакету електронних екзаменаційних білетів, питання в яких випадковим чином

обираються з переліків питань відповідних розділів навчального курсу і не повторюються в різних білетах.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Перелік питань, за якими здійснюється, наприклад, підсумковий/семестровий контроль знань, формується по теоретичних розділах (темах) згідно з програмою навчальної дисципліни. На основі сформованого переліку складаються екзаменаційні білети. Кількість екзаменаційних білетів повинна перевищувати кількість студентів групи (не менше як на один), що проходять контроль знань та вмінь.

Перелік питань по навчальному курсу зберігається, зазвичай, як текстовий документ. В загальному випадку контроль знань може проводитись по m розділах навчального курсу, які вміщують по n питань в кожному.

Якщо екзаменаційні питання по розділах розглядати як одновимірні текстові масиви розмірністю n , то ідентифікувати питання можна за їх індексом k (номером елемента у масиві). Останнє значення індексу k визначає загальну кількість екзаменаційних питань, по яких проводиться контроль знань ($k = m \cdot n$).

Вихідні дані для формування екзаменаційних білетів можна представити в матричній формі (табл. 1).

Таблиця 1 – Ідентифікація екзаменаційних питань
Table 1 – Identification of examination questions

	Розділи навчального курсу				
Екзаменаційні питання	$j = 1$	$j = 2$	...	...	$j = m$
$i = 1$	$a_{(1-1) \cdot n + 1}$	$a_{(2-1) \cdot n + 1}$	...	...	$a_{(m-1) \cdot n + i}$
$i = 2$	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
$i = n$	a_n	a_{2n}			a_{mn}

В загальному випадку цілочислове значення випадкової величини можна одержати за формулою:

$$z = INT((k2 - k1 + 1) \cdot rnd(1)) + k1. \quad (1)$$

де $k1, k2$ – межі генерування випадкової величини, $k2 > k1$.

Сформувати довільний масив r із n різних випадкових цілих чисел зі значеннями в інтервалі $[k1, k2]$ за умови $n \leq (k2 - k1 + 1)$ можна наступним чином.

Першим елементом масиву r буде перше ж одержане випадковим чином значення. Далі вибір відповідних значень z і заповнення масиву здійснюється у двох циклах. У внутрішньому циклі буде виконуватись перевірка умови збігу одержаного випадкового числа z з елементами, які вже увійшли у масив r . Зовнішній цикл заповнює масив r відібраними значеннями випадкових чисел.

Для відстежування події збігу або не збігу значень z з елементами масиву r будемо використовувати величину F (індикатор події) зі значеннями:

$$F = \begin{cases} 1 & \text{— подія відбулася;} \\ 0 & \text{— подія не відбулася.} \end{cases}$$

Таким чином, величина z буде включатися в масив r як черговий елемент, коли $F = 0$.

Враховуючи викладене, можна запропонувати наступну укрупнену блок-схему алгоритму динамічного формування пакету екзаменаційних білетів, питання в яких випадковим чином обираються з переліків питань відповідних розділів навчального курсу і не повторюються в різних білетах (рис. 1).

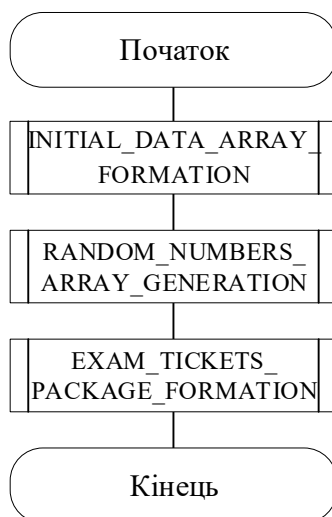


Рисунок 1 – Укрупнена блок-схема алгоритму динамічного формування пакету електронних екзаменаційних білетів із питань, що не повторюються
 Figure 1 – Enlarged block diagram of the algorithm for dynamic formation of a package of electronic examination tickets on non-recurring issues

Модуль INITIAL_DATA_ARRAY_FORMATION призначений для зчитування даних із файлу даних і формування масиву екзаменаційних питань a розмірністю $m \cdot n$.

Щоб сформувати банк даних із екзаменаційних питань по відповідним розділам навчального курсу, їх необхідно підготувати наступним чином. Кількість питань і порядок їх слідування мають відповідати вимогам табл. 1. Дані можна ввести в будь-якому текстовому редакторі, питання закодувати лапками і зберегти з розширенням *.txt.

На рис. 2 наведено приклад файлу даних, сформованого з екзаменаційних питань по двом розділам навчального курсу «Інформатика» (Розділ 1. Графічний редактор Paint; Розділ 2. Програма підготовки презентації PowerPoint). Файл послідовно містить по п'ять екзаменаційних питань по кожному теоретичному розділу.

```

"Paint.Питання 1"
"Paint.Питання 2"
"Paint.Питання 3"
"Paint.Питання 4"
"Paint.Питання 5"
"Power Point.Питання 6"
"Power Point.Питання 7"
"Power Point.Питання 8"
"Power Point.Питання 9"
"Power Point.Питання 10"
  
```

Рисунок 2 – Фрагмент файлу вихідних даних (перелік питань)
 Figure 2 – Fragment of the source data file (list of questions)

Модуль RANDOM_NUMBERS_ARRAY_GENERATION призначений для визначення порядку випадкового вибору питань з відповідних теоретичних розділів навчального курсу, які не повторюються в різних білетах (рис. 3).

Для формування екзаменаційних білетів із питань, які не повторюються і обираються випадковим чином з відповідних розділів навчального курсу, в циклі по $d = 1, m$ будемо змінювати межі генерування наступним чином: $k1 = (d - 1) \cdot n + 1$, $k2 = d \cdot n$. Порядок випадкового вибору питань з відповідних теоретичних розділів фіксуємо у масивах r і zz .

Дію запропонованого алгоритму проілюструємо на тестовому прикладі формування 16 екзаменаційних білетів із п'яти питань, що випадково обираються з відповідних теоретичних розділів навчального курсу і не повторюються в різних білетах (рис. 4).

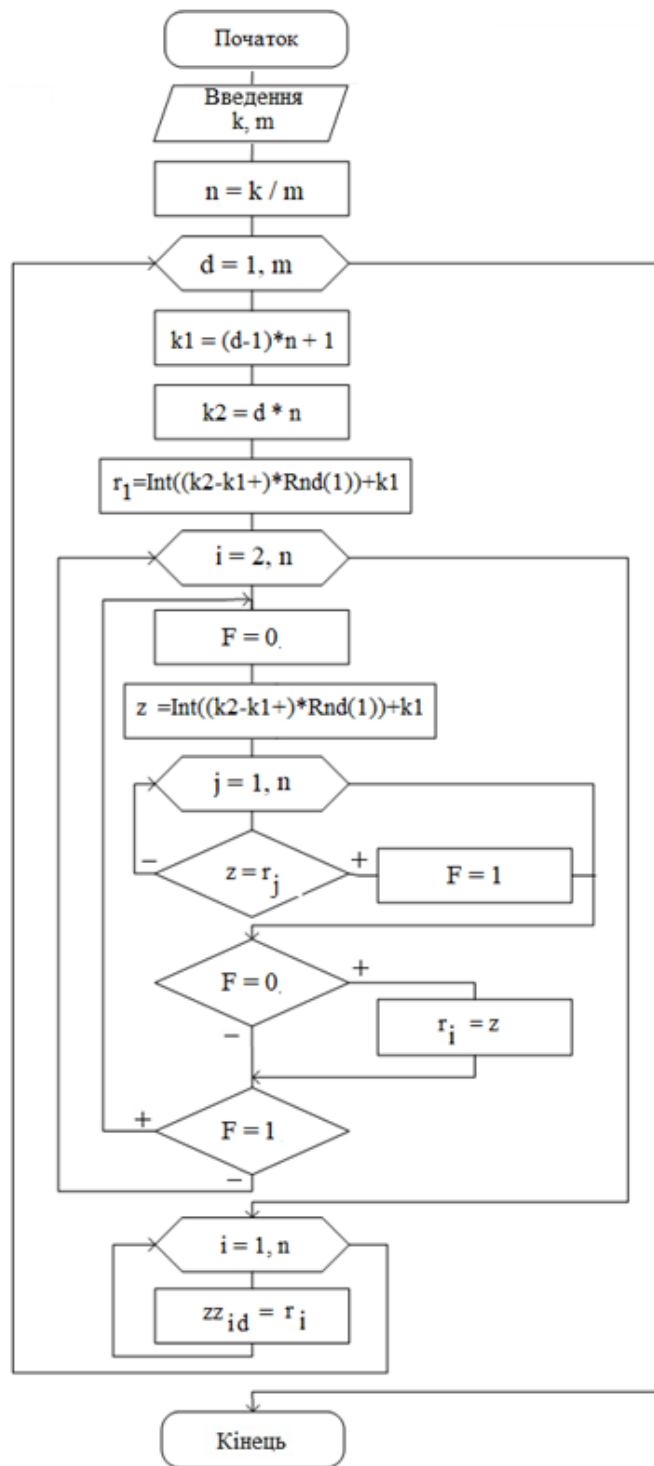


Рисунок 3 – Схема алгоритму визначення порядку випадкового вибору питань з відповідних теоретичних розділів навчального курсу, які не повторюються в різних білетах
 Figure 3 – Scheme of the algorithm for determining the order of random selection of questions from the relevant theoretical sections of the course, which are not repeated in different tickets

Так, до першого розділу належать питання з номерами у діапазоні 1-16, до другого – 17-32, до третього – 33-48, до четвертого – 49-64, до п'ятого – 65-80. Відповідно до рис. 4 екзаменаційний білет № 1 буде сформовано із питань, що ідентифікуються номерами 12, 19, 33, 57, 80; білет № 2 – 9, 27, 39, 50, 70; білет № 3 – 10, 23, 38, 61, 72; ... ; білет № 16 – 3, 32, 47, 60, 65.

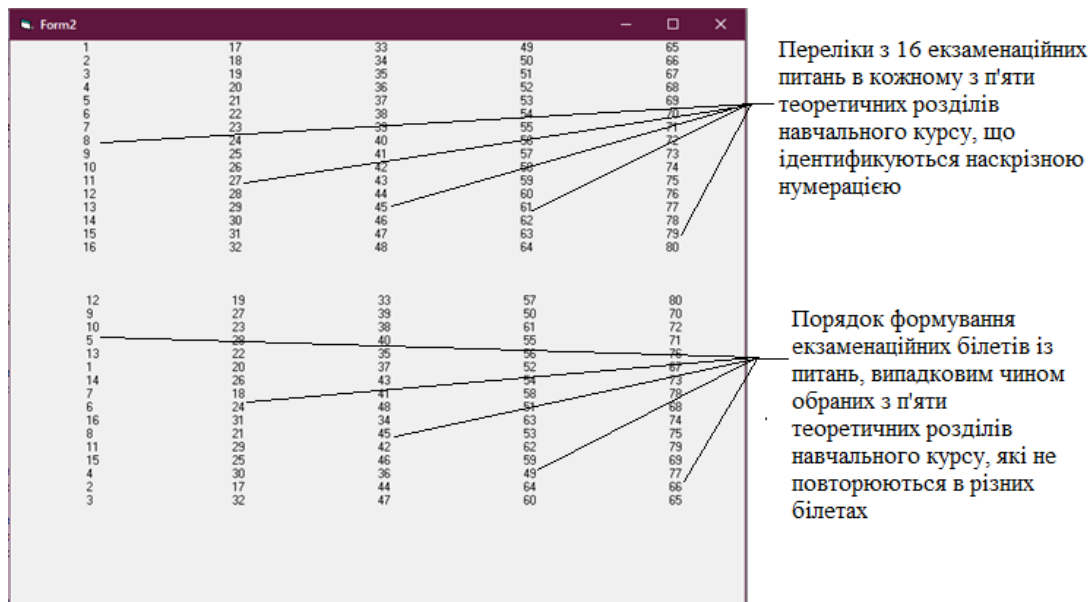


Рисунок 4 – Вихідні дані та порядок вибору экзаменаційних питань із п'яти теоретичних розділів навчального курсу, які не повторюються в різних білетах

Figure 4 – Initial data and the order of selection of examination questions from five theoretical sections of the course, which are not repeated in different tickets

Модуль EXAM_TICKETS_PACKAGE_FORMATION дозволяє сформувати пакет електронних экзаменаційних білетів із питань, які обираються із відповідних розділів навчального курсу згідно з порядком, визначеним на попередньому кроці у масивах r і zz .

Запропонований алгоритму динамічного формування пакету електронних экзаменаційних білетів із питань, які не повторюються і випадковим чином обираються з різних розділів навчального курсу, було реалізовано в об'єктно-орієнтованому середовищі VISUAL BASIC 6.

Стартове вікно програми Formation of examination tickets package наведено на рис. 5.

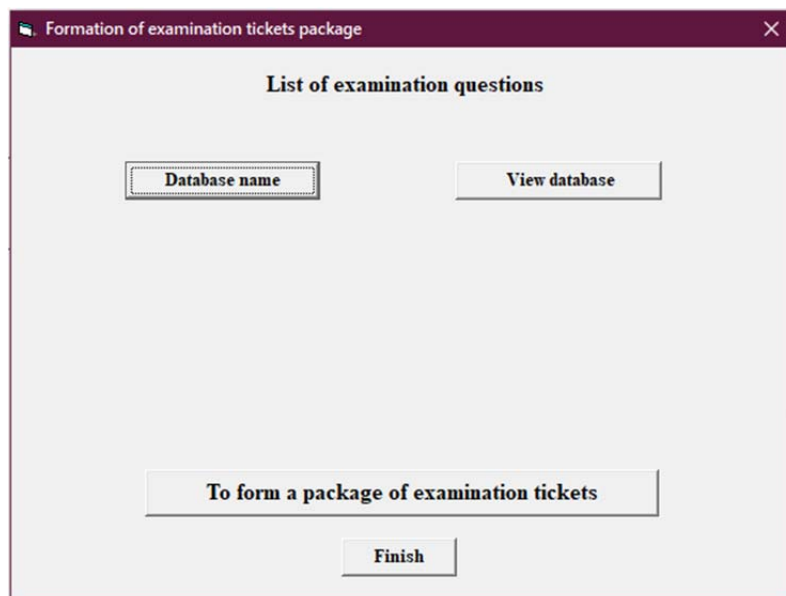
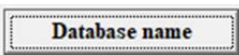


Рисунок 5 – Стартове вікно програми Formation of examination tickets package

Figure 5 – Start window of the program Formation of examination tickets package

Командні кнопки  і  відповідно дозволяють обрати потрібний файл даних у стандартному діалоговому вікні (рис. 6) і переглянути його вміст (загальний перелік экзаменаційних питань).

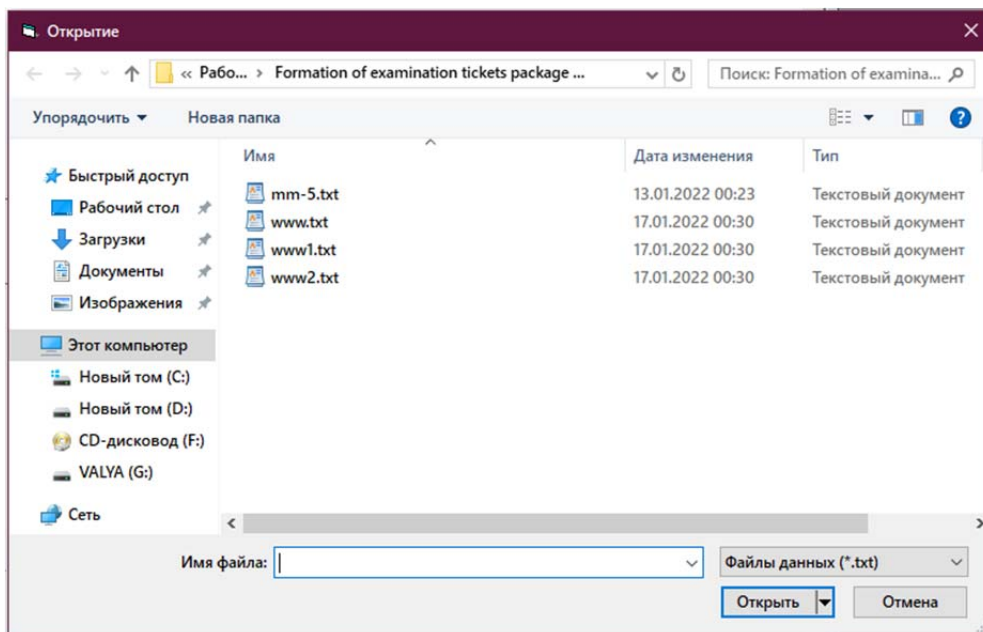


Рисунок 6 – Діалогове вікно відкриття файлу
Figure 6 – File open dialog box

У вікні також можна переглянути статистичні відомості щодо загальної кількості екзаменаційних питань (Total number of questions), а також вказати кількість теоретичних розділів, по яких будуть формуватися екзаменаційні білети (Number of course sections from which examination questions are formed) (рис. 7).

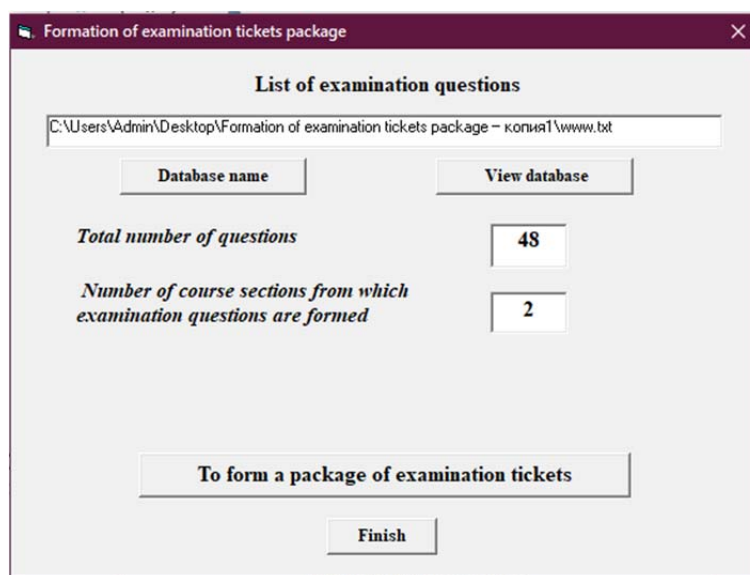
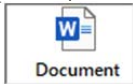


Рисунок 7 – Діалогове вікно введення вихідних даних
Figure 7 – Dialog box for input data

Після натискання кнопки **To form a package of examination tickets** буде сформовано пакет електронних екзаменаційних білетів (рис. 8).

Натиснувши на OLE-об'єкті , можна активізувати вікно додатку MS Word і скористатися його можливостями для форматування та друку білетів.

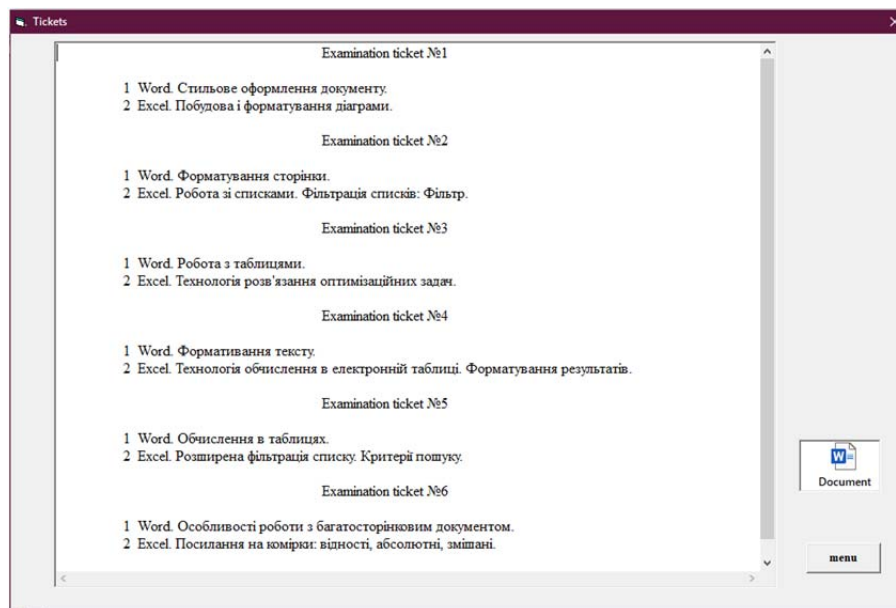


Рисунок 8 – Пакет електронних екзаменаційних білетів
Figure 8 – Package of electronic examination tickets

Запропонований алгоритм також може бути використано для вибору випадкового номеру екзаменаційного білету або залікового питання студентами групи під час проведення контрольних заходів в дистанційному форматі в реальному режимі часу (рис. 9).

До визначення номеру питання

№	Прізвище, ім'я, по батькові	Номер питання
1	Абашкін Є.	29
2	Бакун К.	22
3	Волошин П.	24
4	Кирпа Ю.	12
5	Козелецька І.	13
6	Котькова В.	31
7	Кравцов Д.	1
8	Руда К.	33
9	Руренко І.	2
10	Сватуха Н.	17
11	Стукаленко А.	35
12	Хейлик Д.	32
13	Чепурна А.	15

Отримати питання

Рисунок 9 – Визначення випадкового номеру залікового питання під час проведення модульного контролю в групі KI-1-1м з дисципліни «Методи та засоби документування консолідованої інформації»

Figure 9 – Determination of the random number of the test question during the modular control in the group KI-1-1m in the discipline "Methods and tools for documenting consolidated information"

Висновки. Запровадження карантину змінило традиційний освітній процес на дистанційний формат навчання. Для підвищення ефективності контролю знань та умінь студентів у дистанційному навчанні використовуються різні види та методи педагогічного контролю. Для створення

екзаменаційних білетів доцільно використовувати відкриті запитання за типом есе, які передбачають отримання розгорнутої письмової відповіді на запитання і дозволяють об'єктивно оцінити знання усіх студентів групи одночасно в режимі реального часу або ж протягом онлайн-заняття на засадах доброчесності. Організація іспитів онлайн вимагає чіткості та ретельності роботи як викладача, так і студентів. Для проведення семестрових іспитів або атестації здобувачів вищої освіти в умовах дистанційного/змішаного формату навчання пропонується програмний продукт, який забезпечує динамічне формування пакету електронних екзаменаційних білетів із питань, які випадковим чином обираються з переліків питань відповідних розділів навчального курсу і не повторюються в різних білетах. Також запропонований алгоритм може бути використаний для вибору випадкового номеру екзаменаційного білету або залікового питання студентами групи під час проведення контрольних заходів в дистанційному форматі в реальному режимі часу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лопіна Н. Створення електронних екзаменаційних білетів засобами платформа дистанційного навчання MOODLE // Освітologічний дискус, 2020. № 3 (30). С. 156-184. [Електронний ресурс]. URL: <https://od.kubg.edu.ua/index.php/journal/issue/view/32>
2. Halkoaho, A., Matveinen, M., Leinonen, V., Luoto, K., & Keränen, T. (2013). Education of research ethics for clinical investigators with Moodle tool. BMC medical ethics, 14, 53. DOI: 10.1186/1472-6939-14-53.
3. Щодо проведення підсумкового оцінювання та організованого завершення 2019 – 2020 навчального року: Лист МОН України від 16.04.2020 №1/9-213. [Електронний ресурс]. URL: <https://mon.gov.ua/ua/npa/shodo-provedennya-pidsumkovogo-ocinyuvannya-ta-organizovanogo-zavershennya-2019-2020-navchalnogo-roku>
4. Щодо організації поточного, семестрового контролю та атестації здобувачів освіти із застосуванням дистанційних технологій: Лист МОН України від №1/9-249 від 14.05.2020. [Електронний ресурс]. URL: <https://mon.gov.ua/ua/npa/shodo-organizaciyi-potochnogo-semestrovogo-kontrolyu-ta-atestaciyi-zdobuvachiv-osviti-iz-zastosuvannyam-distancijnih-tehnologij>
5. Биков В.Ю., Лапінський В.В. Методологічні та методичні основи створення і використання електронних засобів навчального призначення // Комп'ютер у школі та сім'ї. – 2012. – № 2. – С. 3–6.
6. Кухаренко В. М. Теорії навчання на сучасному етапі розвитку дистанційного навчання // Теорія та методика електронного навчання. Кривий Ріг, 2012. – Вип. 3. – С. 153–161.
7. Триус Ю. В., Герасименко І. В., Франчук В. М. Система електронного ВНЗ на базі MOODLE: Методичний посібник // За ред. Ю. В. Триуса. – Черкаси, 2016. – 220 с.
8. Кухаренко В.М. Системний підхід до змішаного навчання. Інформаційні технології в освіті. Херсон, 2015. № 24. С. 53-67.
9. Сікора Я.Б. Реалізація змішаного навчання у вищому навчальному закладі. Науковий Вісник Ужгородського університету. Серія: «Педагогіка. Соціальна робота». 2016. ВИПУСК 2 (39). С. 236-239.

REFERENCES

1. Lopina N. Stvorennia elektronnykh ekzamenatsiinykh biletiv zasobamy platforma dystantsiinoho navchannia MOODLE [Creation of electronic examination tickets by means of the MOODLE distance learning platform] // Osvitohichnyi dyskus, 2020. № 3 (30). S. 156-184. URL: <https://od.kubg.edu.ua/index.php/journal/issue/view/32> [in Ukrainian].
2. Halkoaho, A., Matveinen, M., Leinonen, V., Luoto, K., & Keränen, T. (2013). Education of research ethics for clinical investigators with Moodle tool. BMC medical ethics, 14, 53. DOI: 10.1186/1472-6939-14-53.
3. Shchodo provedennia pidsumkovoho otsiniuvannia ta orhanizovanoho zavershennia 2019 – 2020 navchalnogo roku [Regarding the final assessment and organized completion of the 2019-2020 academic year]: Lyst MON Ukrainy vid 16.04.2020 №1/9-213. URL: <https://mon.gov.ua/ua/npa/shodo-provedennya-pidsumkovogo-ocinyuvannya-ta-organizovanogo-zavershennya-2019-2020-navchalnogo-roku> [in Ukrainian].
4. Shchodo orhanizatsii potochnoho, semestrovoho kontroliu ta atestatsii zdobuvachiv osvity iz zastosuvanniam dystantsiinykh tekhnolohii [Regarding the organization of current, semester control and certification of students with the use of distance technologies]: Lyst MON Ukrainy vid №1/9-249 vid 14.05.2020. URL: <https://mon.gov.ua/ua/npa/shodo-organizaciyi-potochnogo-semestrovogo-kontrolyu-ta-atestaciyi-zdobuvachiv-osviti-iz-zastosuvannyam-distancijnih-tehnologij> [in Ukrainian].

5. Bykov V.Iu., Lapinskyi V. V. Metodolohichni ta metodychni osnovy stvorennia i vykorystannia elektronnykh zasobiv navchalnoho pryznachennia [Methodological and methodical bases of creation and use of electronic means of educational purpose] // *Kompiuter u shkoli ta simi.* – 2012. – № 2. – S. 3–6. [in Ukrainian].
6. Kukharenko V. M. Teorii navchannia na suchasnomu etapi rozvytku dystantsiinoho navchannia [Learning theories at the present stage of development of distance learning] // *Teoriia ta metodyka elektronnoho navchannia.* – Kryvyi Rih, 2012. – Vyp. 3. – S. 153–161. [in Ukrainian].
7. Tryus Yu. V., Herasymenko I. V., Franchuk V. M. Systema elektronnoho VNZ na bazi MOODLE [System of electronic university on the basis of MOODLE]: Metodychnyi posibnyk // *Za red. Yu. V. Tryusa.* – Cherkasy, 2016. – 220 s. [in Ukrainian].
8. Kukharenko V.M. Systemnyi pidkhid do zmishanoho navchannia. Informatsiini tekhnolohii v osviti [System approach to blended learning. Information technologies in education.]. Kherson, 2015. № 24. S. 53-67. [in Ukrainian].
9. Sikora Ya.B. Realizatsiia zmishanoho navchannia u vyshchomu navchalnomu zakladi [Implementation of blended learning in higher education]. *Naukovyi Visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Seriia: «Pedagogika. Sotsialna robota».* 2016. VYPUSK 2 (39). S. 236-239. [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Аль-Амморі Алі. Контроль знань з використанням динамічних електронних білетів під час дистанційного навчання в умовах пандемії COVID-19 / Аль-Амморі Алі, Т.І. Червякова // *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки».* Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Стаття присвячена розробці та програмній реалізації алгоритму динамічного формування пакету електронних білетів, питання в яких випадковим чином обираються і не повторюються в різних білетах.

Об'єкт дослідження – процес контролю знань і вмінь під час дистанційного формату навчання.

Мета роботи – розробка і програмна реалізація алгоритму динамічного формування пакету електронних екзаменаційних білетів, питання в яких випадковим чином обираються з переліків питань відповідних розділів навчального курсу і не повторюються в різних білетах.

Методи дослідження – аналіз, синтез, узагальнення, систематизація, графічні.

В статті досліджено види та методи педагогічного контролю знань студентів в умовах запровадження дистанційного формату навчання в період карантину, спричиненого COVID-19. Для створення екзаменаційних білетів доцільно використовувати відкриті запитання за типом есе, які передбачають отримання розгорнутої письмової відповіді на запитання і дозволяють об'єктивно оцінити знання усіх студентів групи одночасно в режимі реального часу або ж протягом онлайн-заняття. Для проведення семестрових іспитів або атестації здобувачів вищої освіти в умовах дистанційного/змішаного формату навчання пропонується програмний продукт, який забезпечує динамічне формування пакету електронних екзаменаційних білетів із питань, які випадковим чином обираються із переліків питань по відповідним розділам навчального курсу і не повторюються в різних білетах. Також запропонований алгоритм може бути використаний для вибору випадкового номеру екзаменаційного білету або залікового питання студентами групи під час проведення контрольних заходів в дистанційному форматі в реальному режимі часу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДИСТАНЦІЙНЕ НАВЧАННЯ, ЗМІШАНЕ НАВЧАННЯ, КОНТРОЛЬНІ ЗАХОДИ ОЦІНКИ ЗНАНЬ, ЕЛЕКТРОННИЙ БІЛЕТ, ЕКЗАМЕНАЦІЙНІ ПИТАННЯ, АЛГОРИТМ, ПРОГРАМУВАННЯ, ПРОГРАМНИЙ ПРОДУКТ.

ABSTRACT

Al-Ammori Ali, T.I. Chervyakova. Control of knowledge with the use of dynamic electronic tickets during distance learning in a covid-19 pandemic. *Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences».* Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article is devoted to the development and software implementation of the algorithm of dynamic formation of the package of electronic tickets, questions in which are randomly selected and not repeated in different tickets.

The object of research is the process of control of knowledge and skills during distance learning.

The purpose of the work is the development and program implementation of the algorithm of dynamic formation of electronic examination tickets package, questions in which are randomly selected from the lists of questions of the relevant sections of the course and are not repeated in different tickets.

Methods of research – analysis, synthesis, generalization, systematization, graphic.

The article investigates the types and methods of pedagogical control of students' knowledge in the conditions of introduction of distance learning format in the period of quarantine caused by COVID-19. To create exam tickets, it is advisable to use open-ended essay questions, which require a detailed written answer and allow to assess objectively the knowledge of all students in the group simultaneously in real-time or during an online lesson. For semester exams or attestation of higher education students in distance / blended learning format, a software product is offered that provides the dynamic formation of a package of electronic examination tickets of questions that are randomly selected from the lists of questions in relevant sections of the course and not repeated in different tickets. Also, the proposed algorithm can be used for the selection of random examination tickets or test questions by students during control activities in a remote format in real-time.

KEY WORDS: DISTANCE LEARNING, MIXED LEARNING, KNOWLEDGE ASSESSMENT MEASURES, ELECTRONIC TICKET, EXAMINATION QUESTIONS, ALGORITHM, PROGRAMMING, SOFTWARE PRODUCT.

АВТОРИ

Аль-Амморі Алі, Національний транспортний університет, доктор технічних наук, завідувач кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, <https://orcid.org/0000-0002-0375-6108>), e-mail: ammourilion@ukr.net, тел.: +380983556786.

Червякова Тетяна Іванівна, Національний транспортний університет, кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, <https://orcid.org/0000-0002-3672-9173>, e-mail: cherti2015@gmail.com, тел.: +380674450896.

AUTHORS

Al-Ammori A. Head of the Department of Information Analysis and Information Security, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, <https://orcid.org/0000-0002-3672-9173>, e-mail: cherti2015@gmail.com, тел.: +380674450896.

Chervyakova 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, тел.: +380674450896.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Воркут Т.А., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортного права та логістики Національного транспортного університету, м. Київ, Україна.

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

REVIEWERS:

Vorkut T.A., PhD, Professor, Head of Department of Logistics and Transport Law, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Ivokhin E.V., PhD, Professor, Professor of the Department of Systems Analysis and Decision Theory, Faculty of Computer Science and Cybernetics, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine.

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИРОБНИЧОЇ СТРУКТУРИ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПІДПРИЄМСТВА

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

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

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

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

OPTIMIZATION OF PRODUCTION STRUCTURE OF A MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE

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

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

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

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

Постановка проблеми. Технічна експлуатація автомобілів (ТЕА) полягає в запровадженні системи заходів, спрямованих на забезпечення ефективного використання автомобілів шляхом визначення та забезпечення реалізації оптимальних процесів підтримування та поновлення втраченої роботоздатності рухомого складу, найкращих режимів роботи складових автомобілів, оптимальних умов зберігання транспортних засобів та матеріально-технічного постачання.

Задачі оптимальної організації ТЕА можуть бути вирішені як за рахунок власного виробництва, так і шляхом передачі цієї роботи субпідрядникам, або визначення оптимального співвідношення використання першого та другого способів. Залежно від прийнятого рішення формується організаційна структура підприємства.

Встановлення такого оптимального співвідношення між організацією власного виробництва та використанням субпідрядників залежно від розміру парку автомобілів та умов експлуатації в конкретному підприємстві є важливою задачею.

Аналіз відомих нам публікацій. Питанням підвищення ефективності використання виробничо-технічної бази (ВТБ) автотранспортних підприємств (АТП) присвячено багато робіт [1–8].

Але методики підвищення ефективності використання ВТБ зменшенням вартості її функціонування шляхом визначення оптимальної організації ТЕА як за рахунок організації власного виробництва, так і шляхом передачі цієї роботи субпідрядникам, або визначення оптимального співвідношення використання першого та другого способів, нам невідомі.

Метою даного дослідження є розробка критеріїв та методики оптимізації структури виробничої бази технічного обслуговування рухомого складу автотранспортного підприємства шляхом визначення оптимального співвідношення використання власних засобів та субпідрядників.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Проблеми організації оптимальної технічної експлуатації автомобілів мають насамперед цікавити власників та користувачів рухомого складу автомобільного транспорту незалежно від кількості автомобілів в експлуатації.

Цільовою функцією оптимізації ТЕА може бути мінімізація питомих витрат на експлуатацію парку автомобілів, які складаються з витрат на паливо-мастильні матеріали, запасні частини, витрат на зберігання, виконання технічного обслуговування та ремонтів автомобілів та втрат від їхніх простоїв через непридатність.

Особливістю функціонування підприємств автомобільного транспорту (ПАТ) на теперішній час в Україні є наявність підприємств різного розміру та форм власності, які використовують значну номенклатуру рухомого складу.

Роботи з технічного обслуговування та ремонту автомобілів можна класифікувати за такими ознаками, як місце втручання на автомобілі, мета роботи, складність і трудомісткість їхнього виконання.

За наведеними вище ознаками для виконання робіт з ТО та ремонту автомобілів можуть створюватись спеціалізовані виробничі одиниці (ВО). Такі ВО можуть бути складовою виробничо-технічної бази автотранспортного підприємства або бути незалежними в економічному та юридичному плані як підприємства, що продають послуги з ТО та ремонту. Зазвичай, підприємства з обслуговування та ремонту автомобілів (далі станції технічного обслуговування – СТО) складаються з сукупності ВО і можуть мати різний ступінь спеціалізації. Також, можуть самостійно існувати окремі спеціалізовані виробництва з виконання певних видів робіт, таких як, наприклад: миття автомобіля; швидка заміна мастил та експлуатаційних рідин; шиномонтаж; ремонт автоматичних коробок передач, капітальний ремонт окремих агрегатів, відновлення деталей тощо.

Для повноцінного функціонування автотранспортного підприємства мають бути вирішені питання забезпечення роботоздатності рухомого складу шляхом виконання всіх видів робіт з ТО та ремонту. Перед підприємством постає питання, як найліпше здійснювати виконання цих робіт: створювати власну виробничо-технічну базу чи використовувати послуги спеціалізованих виробничих одиниць, які наводились вище.

За наявності потреби у виконанні певних видів робіт з ТО та ремонту РС перед підприємством постає дилема, чи потрібно самому організувати виконання цього виду робіт або ж використовувати субпідрядників. Умовою вирішення питання раціональної організації технологічного процесу з економічної точки зору є наявність достатнього для організації власного виробництва обсягу робіт.

Принцип визначення межі доцільності (МД), до якої вигідно користуватись послугами підприємств субпідрядників і після якої стає економічно вигідним організовувати власне виконання даного виду робіт, показаний на рисунку 1.

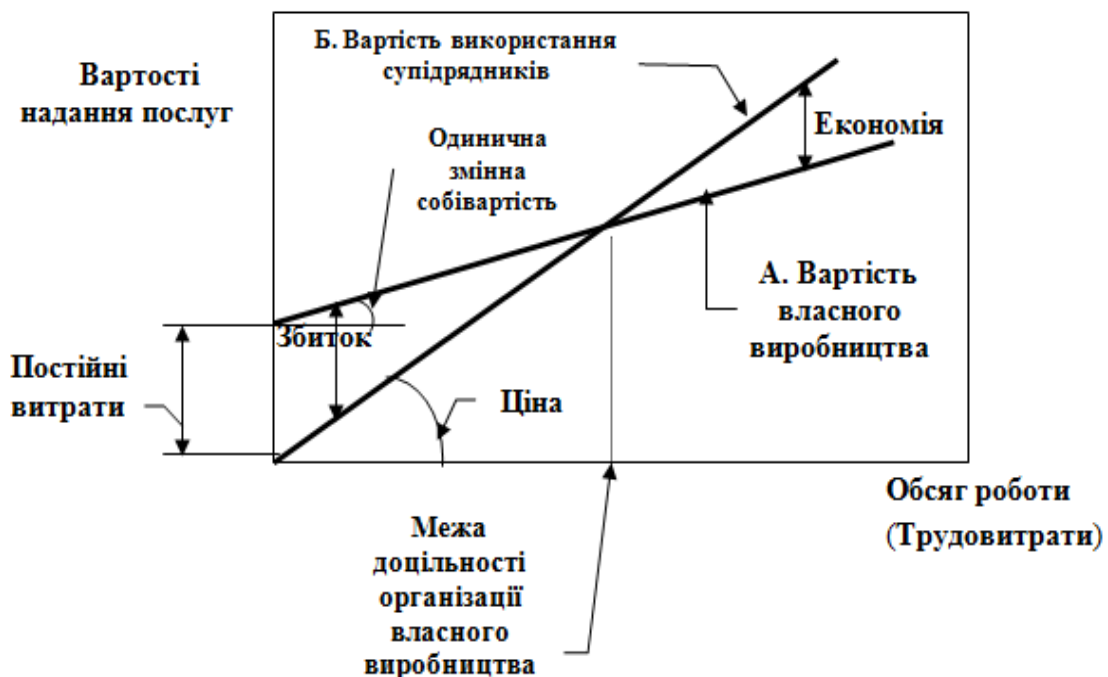


Рисунок 1 – Визначення обсягу діяльності з обслуговування автотранспортних засобів, за якого доцільна організація власного виробництва (межа доцільності МД)

Figure 1 – Determination of the scope of vehicle maintenance activities when own production organizing is advisable (limit of feasibility LF)

На цьому рисунку показані графіки зміни вартості використання послуг субпідрядників (пряма Б) та вартості виконання робіт на створеній спеціально для цього власній виробничо-технічній базі (пряма А) залежно від обсягу робіт. Із графіка видно, що починаючи з певного обсягу робіт (МД) підприємству є вигідним організовувати виконання даного виду діяльності в себе, а не звертатись до

послуг субпідрядників. Слід зауважити, що для такого розрахунку за оцінки вартості послуги сторонніх організацій необхідно враховувати транспортні витрати.

Також необхідно додати, що існування та розташування МД залежить від співвідношення ціни субпідрядників та змінної собівартості власного виробництва, а також різниці у продуктивності праці на цих підприємствах. МД існує за умови, якщо ціна субпідрядників вища за змінну собівартість власного виробництва за однакових витрат часу на виконання роботи. Чим вищою є різниця ціни та вартості та нижчою є постійна вартість власного виробництва, тим меншою буде межа доцільності власного виробництва.

Аналітично межа доцільності організації власного виробництва з усіх або окремих видів робіт з ТО та ремонту автомобілів в автотранспортному підприємстві може бути визначена так [1]:

$$T_{MD} = \frac{P_{осмВ}}{Ц^{прив} - ОЗС}, \quad (1)$$

де T_{MD} – трудовитрати (обсяг діяльності) на межі доцільності, нормо-годин;

$Ц^{прив}$ – вартість виконання робіт субпідрядником, грн/нормо-година;

$ОЗС$ – одинична змінна собівартість або змінна вартість одиниці продукції (грн/нормо-година);

$ПосмВ$ – постійні витрати (ПВ не залежать від обсягу діяльності підприємства в певних межах).

Кількість автомобілів, яку повинно мати підприємство на межі доцільності, складає:

$$A_{MD} = \frac{T_{MD}}{T_{сум,а}}, \quad (2)$$

де $T_{сум,а}$ – річна сумарна трудомісткість обслуговування одного автомобіля, люд.-год/рік.

Аналогічні вирази можна отримати для визначення доцільності самостійного виконання окремих видів робіт або обслуговування певних вузлів та агрегатів.

Більш наочно визначити оптимальність з точки зору вартості функціонування виробничої структури АТП можна прямим калькулюванням її діяльності й порівнянням вартості роботи різних варіантів структури.

Критерії оптимізації структури підприємства.

Загальною структурою підприємства є склад та взаємозв'язки виробничих, управлінських, адміністративних та допоміжних підрозділів підприємства, діяльність яких обумовлена досягненням певної мети існування підприємства.

Загальна структура характеризується взаємозв'язками та співвідношеннями між підрозділами за розмірами зайнятих площ, чисельністю працівників, вартістю обладнання та пропускнуою здатністю (потужністю).

Оптимізація структури підприємства автомобільного транспорту має полягати у виборі такої структури, яка забезпечує досягнення поставлених перед підприємством завдань. Це є максимізація прибутку в довготривалому періоді в комерційних підприємствах і досягнення максимального соціального ефекту з мінімальними витратами в суспільному транспорті. В обох випадках важливою складовою цільової функції є мінімізація витрат діяльності за умови досягнення поставлених цілей.

Розглянемо складові витрат функціонування підприємства автомобільного транспорту.

Склад та механізм розрахунку експлуатаційних витрат транспортних засобів (ТЗ) під час здійснення перевезень пасажирів на маршрутах загального користування в містах визначається на підставі вимог наступних документів:

- Положення (стандарт) бухгалтерського обліку 16 «Витрати» [9];
- «Методика розрахунку тарифів на послуги пасажирського автомобільного транспорту», затверджена Наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 17.11.2009 р. № 1175 [10].

Для забезпечення можливості порівняння операційних витрат підприємства визначаються питомі витрати на експлуатацію (ПВЕ) та їхні складові як відношення собівартості перевезень (СП) та її складових до виконаної транспортної роботи (ТР) у машино-кілометрах за певний період часу, в даному випадку за рік:

$$ПВЕ = \frac{СП}{ТР}, \text{ грн/км.} \quad (3)$$

Собівартість перевезень складається з економічно обґрунтованих витрат з операційної діяльності перевізника та фінансових витрат.

Операційна діяльність – основна діяльність підприємства, крім інвестиційної та фінансової діяльності.

Транспортна робота в даному дослідженні – кількість виконаних машино-кілометрів, автобусо-кілометрів за певний період часу.

Транспортні послуги – перевезення пасажирів та їхнього багажу автомобільним транспортом, а також надання інших послуг, пов'язаних з таким перевезенням.

Отже, критерієм оптимізації буде мінімізація частини собівартості одиниці транспортної роботи в грн/км, яка виконана рухомим складом АТП та пов'язана з витратами на необхідну підтримку транспортних засобів у справному стані, їхнє зберігання та матеріально-технічне забезпечення діяльності.

Розрахунок собівартості перевезень здійснюється на основі нормативного методу відповідно до запланованих на рік (на підставі фактичних) обсягів транспортної роботи, характерних для даного виду перевезень Перевізника в регіоні, з використанням економічно обґрунтованих витрат, визначених з урахуванням вимог законодавства, на підставі галузевих норм, ставок податків і зборів (обов'язкових платежів), прогнозованого індексу цін виробників промислової продукції у плановому періоді.

Витрати, об'єктивне нормування яких неможливе, плануються з урахуванням економічно обґрунтованих фактичних витрат Перевізника за попередній рік, прогнозного індексу цін виробників промислової продукції на запланований рік та на підставі планових кошторисів.

Під час планування витрат враховується прогнозований, на основі фактичного за попередній рік, загальний річний пробіг транспортних засобів Перевізника (з урахуванням нульового пробігу).

Метод нарахування амортизації основних засобів, інших необоротних матеріальних і нематеріальних активів Перевізник обирає самостійно відповідно до законодавства з урахуванням очікуваного способу отримання економічних вигід від його використання (Положення (стандарт) бухгалтерського обліку 7 «Основні засоби» [11]).

Під час розрахунку витрат загальний обсяг транспортної роботи обґрунтовується перевізником на підставі фактичних показників роботи.

До планових витрат операційної діяльності включаються:

- а) планова виробнича собівартість послуг;
- б) адміністративні витрати;
- в) витрати на збут послуг;
- г) інші витрати операційної діяльності.

До планової виробничої собівартості послуг відповідно до Положення (стандарту) бухгалтерського обліку 16 «Витрати» [9] включаються:

- а) прямі матеріальні витрати;
- б) прямі витрати на оплату праці;
- в) інші прямі витрати;
- г) змінні загальновиробничі та постійні розподілені загальновиробничі витрати.

До складу прямих матеріальних витрат включаються витрати, пов'язані з використанням:

а) палива, мастильних матеріалів, шин, акумуляторних батарей (включаючи транспортно-заготівельні витрати), інших матеріалів та складників, що використовуються безпосередньо для забезпечення виконання перевезень пасажирів і здійснення технологічних операцій у процесі підготовки транспортних засобів до експлуатації та є необхідними компонентами процесу надання послуг;

б) допоміжних матеріалів.

До складу прямих витрат на оплату праці включаються:

а) витрати з основної заробітної плати працівникам, діяльність яких безпосередньо пов'язана з процесом перевезення пасажирів (водії, кондуктори). Зазначені витрати визначаються виходячи з нормативної чисельності цих працівників та відпрацьованого ними часу, встановлених обґрунтованих тарифних ставок (окладів), відрядних розцінок та посадових окладів;

б) витрати з додаткової заробітної плати працівників (водії, кондуктори), встановлені відповідно до законодавства;

в) заохочувальні та компенсаційні виплати цим працівникам згідно із законодавством.

При аналізі розмір прямих витрат на оплату праці визначається за даними підприємства.

До складу інших прямих витрат включаються:

а) витрати на обов'язкові послуги, що надаються автостанціями Перевізнику за окремими договорами;

б) витрати на отримання ліцензій, дозволів, проведення державних технічних оглядів тощо, що необхідні для забезпечення виконання перевізної діяльності;

в) нарахування на витрати з оплати праці працівників (водії, кондуктори), а саме:

– витрати на оплату праці та відповідні нарахування на неї виробничому персоналу, що виконує ремонт і технічне обслуговування об'єктів міського електричного транспорту;

– суми єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування працівників, безпосередньо зайнятих здійсненням перевезень пасажирів;

г) витрати на амортизацію основних засобів та нематеріальних активів виробничого призначення. Сума амортизаційних відрахувань для розрахунку тарифу визначається з урахуванням руху основних засобів, інших необоротних матеріальних і нематеріальних активів виробничого призначення у планованому періоді. Розрахунок амортизації основних засобів, інших необоротних матеріальних і нематеріальних активів підприємств здійснюється згідно із законодавством;

д) витрати на всі види ремонту, технічний огляд і технічне обслуговування автомобільних транспортних засобів, які безпосередньо беруть участь у перевезеннях, для забезпечення їхнього технічного стану відповідно до вимог безпеки руху та інших експлуатаційних вимог, а також витрати на оплату праці (та відповідні нарахування на неї) працівників, які виконують ремонт і технічне обслуговування автомобільних транспортних засобів;

е) вартість запасних частин, купованих комплектувальних виробів, паливно-мастильних та інших матеріалів, що використовуються безпосередньо для забезпечення технологічного процесу перевезень пасажирів і на технологічні операції, пов'язані з підготовкою трамваїв та/або тролейбусів до експлуатації власними силами і є необхідною складовою для надання транспортних послуг;

ж) вартість ремонтних робіт і послуг, виконаних сторонніми підприємствами та організаціями;

и) вартість інструментів, наявних на автомобільних транспортних засобах, необхідних на випадок усунення технічних несправностей, що виникли під час роботи на маршруті;

к) витрати на медичний огляд водіїв Перевізника;

л) розрахунок витрат на технічне обслуговування і ремонт транспортних засобів, що включаються до інших прямих витрат виробничої собівартості послуг, може здійснюватися на підставі обґрунтованих фактичних витрат Перевізника на технічне обслуговування і ремонт транспортних засобів за попередній рік, прогнозу індексів цін на промислову продукцію (послуги) на запланований рік та на підставі планових кошторисів.

Розмір витрат розраховується з додержанням систем проведення ремонтів та технічного обслуговування об'єктів транспорту згідно з правилами експлуатації транспортного засобу, а також норм споживання електроенергії та інших енергетичних ресурсів, витрат матеріалів, середнього ресурсу роботи пневматичних шин, норм часу та розцінок з оплати праці, нормативів чисельності працівників підприємств, витрат на управління і обслуговування підприємств.

Враховуючи, що метою даної роботи є оптимізація виробничо-технічної бази АТП, що відповідає вимогам спеціальності «Автомобільний транспорт», при подальшому дослідженні будемо розраховувати та оптимізувати тільки складову собівартості перевезень, яка визначається витратами на технічне обслуговування і ремонт транспортних засобів, їхнє зберігання, створення та експлуатацію виробничо-технічної бази. Тобто будемо розглядати такі компоненти собівартості, які перераховані вище в пп. а, г, д, л.

До статті «Витрати на технічне обслуговування та ремонт рухомого складу» включаються витрати на щоденне обслуговування (ЩО), технічне обслуговування (ТО-1, ТО-2) та поточний ремонт рухомого складу (ПР).

Витрати на технічне обслуговування та ремонт складаються з таких елементів:

– витрати на оплату праці працівників, які здійснюють технічне обслуговування і поточний ремонт, з нарахуваннями на соціальні заходи;

– витрати на запасні частини, агрегати;

– витрати на паливо, матеріали та інші предмети праці, що використовуються для технічного обслуговування та ремонту;

– вартість ремонтних робіт, виконаних сторонніми підприємствами та організаціями;

– вартість інструментів, виданих на автомобілі для поповнення їхнього комплекту взамін непридатних;

– амортизація споруд та технологічного обладнання.

Витрати на стоянку.

Оплата стоянки залежить від способу організації зберігання автомобілів.

За невеликої кількості автомобілів можна використовувати приватні стоянки з подовною оплатою. Але такий спосіб не є економним. Нам здається, що більш вигідним є оренда під стоянку власного транспорту частини території інших суб'єктів господарювання.

Інші прямі витрати на організацію перевезень.

Можуть бути враховані прямі витрати на оплату праці осіб, які безпосередньо організують перевезення – заступник керівника з експлуатації, диспетчер, касир для збирання виручки в т.п. Ці витрати мають бути підраховані окремо.

Визначення нормативів розподілу накладних витрат.

На підставі ст. 8 Закону «Про бухгалтерський облік» підприємство самостійно розробляє систему і форму внутрішньогосподарського (управлінського) обліку. Управлінський облік переважно полягає в обліку й контролі за витратами підприємства. Процес визначення (обчислення) собівартості конкретного об'єкта затрат називається калькулюванням. Об'єктом затрат (одиноцею калькулювання) можуть бути: одиниця або партія продукції, робота, послуга, продуктова лінія, структурний підрозділ, вид діяльності підприємства, власне клієнт, будь-який інший предмет чи сегмент діяльності, який потребує вимірювання затрат.

Залежно від характеру участі в процесі виробництва продукції (надання послуг) витрати розподіляються на основні (прямі) та накладні (непрямі).

Основні (прямі) витрати пов'язані з безпосереднім виконанням технологічних операцій з виробництва продукції (робіт, послуг), а накладні (непрямі) – з управлінням та обслуговуванням діяльності підрозділу (бригади, цеху тощо), галузі чи господарства загалом.

До непрямих витрат належать витрати, пов'язані з випуском (наданням) одночасно кількох або всіх видів продукції (послуг) одного й того ж суб'єкта господарювання.

Ставкою розподілу накладних витрат буде відношення суми накладних витрат до бази їхнього розподілу (вартості основної робочої сили, машино-годин, людино-годин, кількості продукції, тощо). Якщо підприємство групує витрати за окремими видами робіт, то спочатку доцільно визначити питому вагу тих чи інших накладних витрат, яка припадає на кожен окремий вид робіт.

Важливим при цьому стане визначення прямих витрат і розрахунок нормативів непрямих витрат, включених у калькуляцію. Вказані нормативи розраховуються відносно якогось показника прямих витрат: основної заробітної плати виробничих робітників, вартості основних матеріалів, амортизації устаткування і т.д. Для підрозділів з ТОР найбільш зручною базою розрахунку нормативів непрямих витрат є основна заробітна плата виробничих робітників.

Розглянемо склад витрат і порядок калькулювання собівартості послуг з ТО та ремонту автомобілів для АТП.

До складу витрат включають:

1. Прямі витрати на ТО та ремонт:

1.1. Прямі витрати на послуги з ремонту автомобілів:

- вартість експлуатаційних і інших матеріалів, використаних при наданні послуг;
- вартість запасних частин;
- оплата праці слюсарів з ремонту автомобілів;
- інші прямі витрати (відрахування на соціальні заходи і т.д.);
- єдиний соціальний внесок (ЄСВ);
- амортизація або орендна плата за інфраструктуру та обладнання;
- оплата субпідрядників за виконання ТОР;
- інші прямі витрати.

1.2. Прямі витрати на організацію перевезень:

- оплата праці водіїв, диспетчерів, касира та інших осіб, причетних до організації перевезень;
- єдиний соціальний внесок (ЄСВ);
- амортизація рухомого складу або орендна плата;
- витрати на паливо та експлуатаційні матеріали;
- витрати на стоянку;
- інші прямі витрати на організацію перевезень.

2. Загальновиробничі витрати (виділяються тільки загальновиробничі витрати цеху з ремонту автомобілів):

- оплата праці майстрів дільниць;
- додаткова заробітна плата слюсарів з ремонту автомобілів (оплата відпусток, доплата за керівництво бригадою і т.д.);
- амортизація будівлі й устаткування цеху;
- витрати на утримання, експлуатацію і ремонт будівлі і устаткування цеху (вартість матеріалів, електроенергії, води, запасних частин, оплата роботи слюсарів з ремонту устаткування, відрахування на соціальні заходи і т.д.);
- інші витрати (відрахування на соціальні заходи, витрати на охорону праці і техніку безпеки, недостачі і втрати від псування матеріальних цінностей, оплата простоїв і т.д.).

Визначивши склад загальновиробничих витрат, їх необхідно розділити на постійні і змінні. Будемо вважати загальновиробничі витрати постійними в межах обсягу діяльності підприємства.

3. Загальноадміністративні витрати:

- оплата праці дирекції АТП з ЄСВ, у тому числі працівників бухгалтерії;
- амортизація вартості адміністративного корпусу, інших основних засобів (або орендна плата) і вартості нематеріальних активів загальногосподарського призначення;
- витрати на експлуатацію основних засобів загальногосподарського призначення;
- плата за розрахунково-касове обслуговування та інші послуги банку;
- фінансові витрати (відсотки за кредити);
- інші витрати загальногосподарського призначення.

АТП здійснює також інші операційні і фінансові витрати. Їхній склад визначається відповідно до П(С)БО-16. Приведений склад витрат має загальний характер, і кожне підприємство може його змінювати. Такі витрати включимо до адміністративних витрат.

Деякі складові витрат АТП розраховані вище.

При калькуляції собівартості робіт з ТОР розраховуються нормативи непрямих витрат (найчастіше на календарний рік). Спочатку визначається загальна сума прямих витрат, прийнятих як база такого розрахунку, і сума непрямих витрат (за видами), здійснених за певний звітний період. Потім для визначення нормативу відповідного виду витрат сума непрямих витрат окремого виду ділиться на загальну суму прямих витрат, прийнятих за базу розрахунку.

Але загальний алгоритм розрахунку нормативів непрямих витрат можна застосовувати не завжди. В АТП є витрати на підтримку РС в справному стані (на ТОР) і витрати на організацію перевезень. Визначення більшості нормативів непрямих витрат, виходячи з їхньої загальної суми, приведе до необґрунтованого збільшення витрат і, отже, завищення собівартості робіт. Це обумовлено тим, що велика частина непрямих витрат використовується для здійснення всіх видів діяльності АТП.

Наприклад, загальноадміністративні витрати пов'язані як із наданням послуг з ремонту автомобілів, так і з організацією перевезень. Тому з загальної суми адміністративних витрат краще виділити суму таких витрат, яка включатиметься до складу собівартості робіт з ТОР, а також суму адміністративних витрат, яка увійде до витрат на перевезення.

Сукупні прямі витрати на матеріали, оплату праці (основна заробітна плата виробничого персоналу) і непрямі накладні витрати, віднесені на продукт (непрямі витрати на допоміжні види діяльності), складають повну собівартість об'єкта калькулювання.

При складанні калькуляції будемо виходити з того, що:

- загальноадміністративні витрати включаються у собівартість ТОР у частці, пропорційній частці витрат на ТОР у загальних прямих витратах підприємства;
- загальновиробничі витрати підприємства розподіляються між ТОР і перевезеннями відповідно до частки кожного виду діяльності в загальній сумі фактичних витрат по підприємству. Складання калькуляції розглянемо на базі раніше отриманих результатів діяльності підприємства.

Для наочності застосування методики розглянемо приклад функціонування реального АТП ПП XXX.

Характеристика підприємства.

Рухомий склад АТП.

На теперішній момент підприємство має три одиниці рухомого складу. На перспективу планується придбати ще 8 автобусів для організації пасажирських перевезень. Передбачається придбання або оренда автобусів на вторинному ринку з міркувань мінімізації розміру інвестицій. Тому підприємство зацікавлене в розробці бізнес-плану такого розвитку. Суттєвою частиною цього

бізнес-плану є розрахунок різних варіантів організації виробничо-технічної бази для проведення технічного обслуговування та ремонту власного рухомого складу та економічної доцільності діяльності.

Перспективний рухомий склад підприємства наведений в таблиці 1.

Таблиця 1 – Перспективний рухомий склад підприємства ПП XXX

Table 1 – Promising rolling stock of the PE XXX enterprise

№	Марка рухомого складу (РС)	Кількість	Середньодобовий пробіг	Середній вік РС
1.	Богдан А-091	3	280	17
2.	Богдан А-09201/А-09202	4	280	14
3.	Богдан-А1452	1	280	12
4.	IVECO TurboDaily A35E10	1	260	19
5.	Mercedes Benz 609	1	200	15
6.	Mercedes Benz Sprinter 311 CDI	1	300	16

Перспективний рухомий склад підприємства показаний на рисунку 2.



Рисунок 2 – Перспективний рухомий склад підприємства ПП XXX

Figure 2 – Promising rolling stock of the PE XXX enterprise

У результаті технологічного розрахунку отримані наступні параметри виробничо-технічної бази підприємства:

- кількість одиниць рухомого складу – 11 автобусів;
- сукупний річний пробіг – 1020559 км;
- кількість ТО-2 на рік – 55;
- кількість ТО-1 на рік – 167,3;
- загальна трудомісткість ТОР – 13371 люд-год/рік;
- трудомісткість ТО-2 – 2544 люд-год;
- трудомісткість ТО-1 – 1925 люд-год;
- трудомісткість ПР – 7078 люд-год;
- трудомісткість діагностування – 588 люд-год;
- допоміжні роботи – 4011,3 люд-год;
- кількість універсальних постів – 4;
- кількість автослюсарів – 7;
- допоміжні робітники – 2;
- управлінський персонал – 6;
- водії – 22;
- площа виробничих приміщень постів – 741 м²;
- площа діляниць – 210 м²;

- загальна виробнича площа – 961,3 м²;
- площа стоянки – 550 м²;
- загальна площа підприємства – 3519 м².

Ці дані будуть використані у подальших розрахунках.

Складання калькуляції розглянемо на базі раніше отриманих результатів діяльності підприємства.

Результати розрахунку оформимо у вигляді таблиці 2.

Таблиця 2 – Визначення нормативів накладних витрат та калькулювання собівартості виробничої діяльності з ТОР в АТП

Table 2 – Determination of overhead costs standards and calculating the cost of maintenance and repair production activities at the MTE

Визначення нормативів накладних витрат та калькуляція собівартості виробничої діяльності АТП	Тис. грн
1	2
1. Прямі витрати на послуги з ТО та ПР	1435,511
1.1 Вартість матеріалів	0
1.2 Вартість запасних частин	0
1.3 Основна оплата праці автослюсарів	1176,648
1.4 Нарахування на зарплату (ЄСВ)	258,86
1.5 Оплата субпідрядників	0
2. Прямі витрати на перевезення	13972,273
2.1 Заробітна плата водіїв з ЄСВ	4428,653
2.2 Амортизація РС (або оренда)	4400
2.3 Витрати на паливо та експлуатаційні матеріали	5143,62
2.4 Знос шин	0
2.5 Витрати на стоянку	0
3. Загальновиробничі витрати (на роботу постів та дільниць з ТО та ПР автомобілів)	2189,05
3.1 Оплата праці майстрів дільниць та загальновиробничий персонал разом	420
3.2 Нарахування на зарплату (ЄСВ)	92,40
3.3 Амортизація загального та технологічного обладнання виробничої зони	112,24
3.4 Оренда технологічного обладнання	0
3.5 Оренда виробничих приміщень	1153
3.6 Витрати на утримання та експлуатацію будівель та обладнання	411,409
3.6.1 Електроенергія на технологічне обладнання	57,721
3.6.2 Електроенергія на освітлення	49,419
3.6.3 Вода холодна та гаряча	2,796
3.6.4 Опалення	295,701
3.6.5 Інші витрати (стиснуте повітря, інші)	5,772
4. Загальноадміністративні витрати	1621,389
4.1 Оплата праці директора та ІТП	864
4.2 Нарахування на зарплату (ЄСВ)	190,08
4.3 Орендна плата за приміщення	130
4.4 Орендна плата за землю 3519м ²	118,2
4.5 Орендна плата за площу стоянки	0
4.6 Витрати на утримання та експлуатацію основних засобів загальногосподарського значення	
4.6.1 Електроенергія на освітлення	3,701
4.6.2 Води холодна та гаряча	4,836
4.6.3 Опалення	17,772
4.6.4 Плата за фінансові послуги банків (кредит 20 % на придбання технологічного обладнання)	0
4.6.5 Інші загальногосподарські витрати	292,8

Закінчення таблиці 2
End of table 2

1	2
5. Норматив загальновиборничих витрат, п.3/п.1с	1,860
6. База розподілу для адміністративних витрат, п.1сde+п.2+п.3	17596,83
7. Частка витрат на ТОР у загальних витратах, (п.1сde +п.3)/п.6	0,206
8. Адміністративні витрати на ТОР, п.4 * п.7	333,97
9. Норматив адміністративних витрат на ТОР, п.8/п.1с	0,2838
10. Виробнича собівартість, п.1+п.3	3624,56
11. Адміністративні витрати на ТОР, п.1с * п.9	333,97
12. Загальна собівартість ТОР, тис. грн, п.10+п.11	3958,530
13. Кількість нормо-годин	13371
14. Собівартість нормо-години, грн, п.12/п.13	296,05
15. Сукупний річний пробіг рухомого складу АТП, км	1020559
16. Вартість ТОР на 1 км пробігу, грн/км, п.12/п.15	3,88

Показники діяльності з технічного обслуговування та поточного ремонту рухомого складу підприємства, наведені в пунктах 12, 14 та 16 таблиці 2, показують ефективність використання ресурсів АТП і можуть бути застосовані для порівняння різних стратегій організації виробничо-технічної бази підприємства.

Визначення оптимального складу власної структури підприємства.

Порівняння різних варіантів власної структури автотранспортного підприємства будемо робити за такими ознаками, як власність або оренда площ підприємства, обладнання та виробничого персоналу. Витрати на організацію перевезень у всіх варіантах однакові.

Варіант 1.

АТП орендує необхідну площу підприємства (варіант купівлі всієї ділянки землі не розглядається як такий, що вимагає великих інвестицій), має власну будівлю для адміністративних і виробничих приміщень, має власне технологічне обладнання та наймає весь штатний адміністративний, допоміжний та виробничий персонал. Розрахунок собівартостей організації ТОР за таких умов наведений вище в таблиці 2.

Визначено, що загальна собівартість ТОР дорівнює 3,9585 млн. грн на рік, собівартість нормо-години праці автослужаря 296 грн та питома вартість ТОР на кілометр пробігу становить 3,88 грн/км.

Методами, описаними в цій роботі, підрахована мінімальна кількість одиниць рухомого складу, менше за яку організація власного виробництва ТОР не є економічно доцільною. Ці розрахунки наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Визначення мінімально доцільної кількості одиниць РС, менше якої власне ТОР не є доцільним

Table 3 – Determination of the rolling stock units minimum appropriate number, below which own maintenance and repair production organizing is not appropriate

Сумарний пробіг автомобілів АТП, км	1020559
Сумарна трудомісткість робіт з ТОР, людино-годин	13371
Кількість автомобілів	11
Середні трудовитрати з ТОР на один автомобіль на рік, люд-год/авт.	1216
Середні трудовитрати з ТОР на 1000 км, люд-год/авт.	13
Постійні витрати	2523
Загально-виробничі витрати (на ТО та ПР автомобілів), тис. грн	2189
Адміністративні витрати на ТОР, тис. грн	334
Змінні витрати на одну нормо-годину (власна собівартість нормо-години), грн	107
Вартість нормо-години у субпідрядника, грн	400
Мінімальна трудомісткість ТОР на межі доцільності, люд.-год	8622
Мінімальна кількість автомобілів на межі доцільності	7
Витрати на субпідрядника, тис. грн	5348,4
Змінні витрати, тис. грн	1436
Витрати на власну роботу з ТОР, тис. грн	3958,530
Вигода (збиток), тис. грн	1389,9

Розрахунки показали, що мінімально доцільна кількість автобусів за умов роботи АТП дорівнює 7 одиниць. Порівняно з використанням послуг субпідрядників з вартістю нормо-години роботи автослюсаря 400 грн економія складе 1389,9 тис. грн за 11 одиниць рухомого складу.

Далі за такою ж методикою розраховувались інші варіанти структури.

Варіант 2.

АТП орендує тільки необхідні виробничі й адміністративні приміщення та технологічне обладнання. При цьому за умовами оренди, виходячи з того, що орендуються тільки частина існуючих виробничих приміщень та технологічного обладнання, яку неможливо відділити від загальної ВТБ орендодавця, плата за спожиті енергоресурси входить в орендну плату і окремо не обраховується.

При цьому варіанті підприємство має весь штатний адміністративний, допоміжний та виробничий персонал.

Варіант 3.

АТП орендує тільки необхідні адміністративні приміщення та стоянку. При цьому за умовами оренди, виходячи з того, що орендується тільки частина існуючих адміністративних приміщень, яку неможливо відділити від загальної площі приміщень орендодавця, плата за спожиті енергоресурси входить в орендну плату і окремо не обраховується. Для цього варіанту підприємство має тільки свій штатний адміністративний персонал.

Усі операції ТОР виконують субпідрядники з вартістю нормо-години, яка зазвичай значно перевищує власну собівартість нормо-години ТОР. Розрахунок проведемо для вартості нормо-години 400 грн.

Проведено порівняння різних варіантів 1, 2, 3 побудови власної структури підприємства за такими ознаками, як власність або оренда площ підприємства, обладнання та виробничого персоналу, наведені в таблиці 4. Витрати на організацію перевезень у всіх варіантах однакові.

Таблиця 4 – Порівняння різних варіантів виробничої структури АТП

Table 4 – Comparison of MTE production structure different options

Показник	Варіант1	Варіант2	Варіант3
Загальна собівартість ТОР, тис. грн	3958,530	3397,761	5720,404
Собівартість нормо-години, грн	296,05	254,11	427,82
Вартість ТОР на 1 км пробігу, грн/км	3,88	3,33	5,61

Висновки. З таблиці 4 видно, що найбільш оптимальною є структура підприємства за варіантом 2, за якої АТП орендує тільки необхідні виробничі й адміністративні приміщення та технологічне обладнання. При цьому за умовами оренди, виходячи з того, що орендуються тільки частина існуючих виробничих приміщень та технологічного обладнання, яку неможливо відділити від загальної ВТБ орендодавця, плата за спожиті енергоресурси входить в орендну плату і окремо не обраховується. Підприємство має весь свій штатний адміністративний, допоміжний та виробничий персонал.

За таких умов загальна собівартість технічного обслуговування та поточного ремонту (ТОР) рухомого складу АТП складе приблизно 3,4 млн. грн, собівартість нормо-години праці автослюсаря 254 грн, а вартість робіт з ТОР на 1 км пробігу 3,33 грн/км що є мінімальними значеннями серед усіх варіантів.

Перспективи подальшого дослідження. Подальші дослідження мають бути спрямовані на удосконалення методики та розрахунки конкретних варіантів структури підприємств для розуміння впливу різних параметрів на собівартість діяльності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Андрусенко С.І., Бугайчук О.С. Технології підвищення ефективності виробничо-технічної бази підприємств автомобільного транспорту: Навчальний посібник. – К.: Медінформ, 2017. – 212 с.
2. Положення про профілактичне обслуговування і ремонт рухомого складу автомобільного транспорту. – К.: Мінтранс України, 1994. – 36 с.
3. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. Затверджено Наказом Міністерства транспорту України від 30.03.1998 р. № 102. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 28 квітня 1998 р. за № 268/2708 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0268-98#Text>.

4. Правила експлуатації колісних транспортних засобів. Затверджено Наказом Міністерства інфраструктури України від 26.07.2013 р. № 550. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 22 серпня 2013 р. № 1453/23985 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1453-13#Text>.
5. Канарчук В.Є, Курніков І.П. Виробничі системи на транспорті: Підручник. – К.: Вища школа, 1997. – 359 с.
6. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія: Підручник. – К.: Вища школа, 2007. – 527 с.
7. Курніков І.П., Корольов М.К., Токаренко В.М. Технологічне проектування підприємств автомобільного транспорту: Навчальний посібник. – К.: Вища школа, 1993. – 191 с.
8. Технологічне проектування автотранспортних підприємств: Навчальний посібник / Андрусенко С.І., Бортницький П.І., Білецький В.О. та ін.; за ред. проф. С.І.Андрусенка. – К.: Каравела, 2009. – 368 с.
9. Положення (стандарт) бухгалтерського обліку 16 «Витрати» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://buhgalter911.com/normativnaya-baza/instr-plan-rah/standart-buhgalterskogo>.
10. Методика розрахунку тарифів на послуги пасажирського автомобільного транспорту; затверджено Наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 17.11.2009 р. № 1175. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 27 листопада 2009 р. № 1146/17162 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1146-09>.
11. Положення (стандарт) бухгалтерського обліку 7 «Основні засоби» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://buhgalter911.com/normativnaya-baza/instr-plan-rah/standart-buhgalterskogo>.

REFERENCES

1. Andrusenko, S.I., Buhaichuk, O.S. (2017). *Tekhnologhii padvyschennia efektyvnosti vyrobnycho-tehnicnoyi bazy pidpriemstv avtomobilnogo transportu* [Technologies for improving the efficiency of motor transport enterprises infrastructure]: *navchalnyi posibnyk* [educational manual]. Kyiv, Medinform, 2017. 212 p. [in Ukrainian].
2. Ministerstvo transportu Ukrayiny (1994). *Polozhennia pro profilaktychne obsluhovuvannia i remont rukhomoho skladu avtomobilnogo transportu* [Regulations on preventive maintenance and repair of motor transport rolling stock]. Kyiv, Ministry of Transport of Ukraine Publ., 1994, 36 p. [in Ukrainian].
3. Ministerstvo transportu Ukrayiny (1998). *Polozhennia pro tekhnichne obsluhovuvannia i remont dorozhnykh transportnykh zasobiv avtomobilnogo transportu* [Regulations on maintenance and repair of motor transport road vehicles]. *Zatverdzheno Nakazom vid 30.03.1998 r. No 102, zareiestrovano v Ministerstvi justyciyi Ukrayiny vid 28 kvitnia 1998 r. No 268/2708*. Kyiv, Ministry of Transport of Ukraine Publ., 1998 [Electronic resources]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0268-98#Text> [in Ukrainian].
4. Ministerstvo infrastruktury Ukrayiny (2013). *Pravyly ekspluatatsii kolisnykh transportnykh zasobiv* [Rules of wheeled vehicles operation]. *Zatverdzheno Nakazom vid 26.07.2013 r. No 550, zareiestrovano v Ministerstvi justyciyi Ukrayiny vid 22 serpnia 2013 r. No 1453/23985*. Kyiv, Ministry of Infrastructure of Ukraine Publ., 2013 [Electronic resources]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1453-13#Text> [in Ukrainian].
5. Kanarchuk, V.Ye., Kurnikov, I.P. (1997). *Vyrobnychi systemy na transporti* [Production systems for transport]: *pidruchnyk* [textbook]. Kyiv, Vyshcha shkola Publ., 1997. 359 p. [in Ukrainian].
6. Ludchenko, O.A. (2007). *Tekhnichna ekspluatatsiia i obsluhovuvannia avtomobiliv: Tekhnologhiia* [Technical operation and maintenance of automobiles: Technology]: *pidruchnyk* [textbook]. Kyiv, Vyshcha shkola Publ., 2007. 527 p. [in Ukrainian].
7. Kurnikov, I.P., Koroliov, M.K., Tokarenko, V.M. (1993). *Tekhnologichne proektuvannia pidpriemstv avtomobilnogo transportu* [Technological planning of motor transport enterprises]: *navchalnyi posibnyk* [educational manual]. Kyiv, Vyshcha shkola Publ., 1993. 191 p. [in Ukrainian].
8. Andrusenko, S.I., Bortnytskyi, P.I., Biletskyi, V.O. and others (2009). *Tekhnologichne proektuvannia avtotransportnykh pidpriemstv* [Technological planning of motor transport enterprises]: *navchalnyi posibnyk* [educational manual] / Release by prof. S.I.Andrusenko. Kyiv, Karavela Publ., 2009. 368 p. [in Ukrainian].
9. *Polozhennia (standart) bukhgalterskoho obliku 16 «Vytraty»* [Accounting standard (rules) 16 «Costs»], [Electronic resources]. Available at: <https://buhgalter911.com/normativnaya-baza/instr-plan-rah/standart-buhgalterskogo> [in Ukrainian].

10. *Ministerstvo transportu ta zviazku Ukrainy (2009). Metodyka rozrakhunku taryfiv na posluhy pasazhyrskoho avtomobilnoho transportu* [Tariffs methodology for passenger motor transport services], *zatverdzheno Nakazom vid 17.11.2009 r. No 1175, zareiestrovano v Ministerstvi justyciyi Ukrainy vid 27 lystopada 2009 r. No 1146/17162.* [Electronic resources]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1146-09> [in Ukrainian].

11. *Polozhennia (standart) bukhgalterskoho obliku 7 «Osnovni zasoby»* [Accounting standard (rules) 7 «Fixed assets»], [Electronic resources]. Available at: <https://buhgalter911.com/normativnaya-baza/instr-plan-rah/standart-buhgalterskogo> [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Андрусенко С.І. Оптимізація виробничої структури автотранспортного підприємства / С.І. Андрусенко, О.С. Бугайчук, В.Б. Будниченко, В.С. Подпіснєв // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

У статті викладена методика оптимізації структури виробничої бази технічного обслуговування рухомого складу автотранспортного підприємства.

Об'єкт дослідження – виробнича база технічного обслуговування рухомого складу автотранспортного підприємства.

Мета роботи – розробка методики оптимізації структури виробничої бази технічного обслуговування рухомого складу автотранспортного підприємства.

Методи дослідження – математичне моделювання процесів.

Розглянуті можливості оптимізації виробничої структури автотранспортного підприємства, яка полягає у визначенні такого співвідношення наявної власної виробничо-технічної бази (ВТБ) та використання субпідрядників при якому собівартість робіт з технічного обслуговування та ремонту (ТОР) рухомого складу (РС) в підприємстві є мінімальною.

Методика оптимізації передбачає аналіз особливостей технічного обслуговування та ремонту рухомого складу АТП, виконання технологічного розрахунку підприємства, визначення складу та вартості елементів виробничо-технічної бази, калькуляцію собівартості ТОР, визначення питомих витрати на ТОР на 1 км пробігу РС та собівартості нормо-години роботи автослюсаря при різних конфігураціях структури ВТБ.

Пропонується розрахунок декількох варіантів структури АТП, наприклад: 1 – власна ВТБ та персонал; 2 – орендована ВТБ та власний персонал; 3 – орендовані ВТБ та виробничий персонал, власний управлінський персонал.

Обирається найбільш оптимальний варіант, при якому загальна собівартість ТОР, вартість ТОР на 1 км пробігу та собівартість нормо-години слюсаря мають мінімальні значення.

Одержані результати можуть бути використані підприємством для перспективного планування своєї діяльності.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОТРАНСПОРТНЕ ПІДПРИЄМСТВО, РУХОМИЙ СКЛАД, ВИРОБНИЧО-ТЕХНІЧНА БАЗА, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК, ВАРТОСТІ, СОБІВАРТІСТЬ, ОПТИМАЛЬНА СТРУКТУРА.

ABSTRACT

Andrusenko S.I., Buhaichuk O.S., Budnychenko V.B., Podpisnov V.S. Optimization of production structure of a motor transport enterprise. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article describes the method of infrastructure optimizing for maintenance of rolling stock at a motor transport enterprise.

The object of research is the infrastructure for rolling stock maintenance at a motor transport enterprise.

The main objective of this work is to optimize the infrastructure for rolling stock maintenance at a motor transport enterprise.

Mathematical modeling of processes is a research method.

Possibilities of production structure optimizing for a motor transport enterprise are considered. It consists in ratio calculating of own infrastructure existing and the use of subcontractors when the rolling stock (RS) maintenance and repair (MR) cost in the enterprise is minimal.

The optimizing method involves the analysis of rolling stock maintenance and repair at the MTE, technical calculation of the enterprise, determining the infrastructure elements composition and cost of

maintenance calculating, determining the specific cost of maintenance per 1 km of vehicle mileage and mechanic's rock time in different configurations of infrastructure. It is proposed to calculate several options for the MTE structure, for example: 1 – own infrastructure and staff; 2 – leased infrastructure and its own staff; 3 – leased infrastructure and production staff, own management staff.

The most optimal option is chosen when the total cost of MR as well as the cost of MR per 1 km and the cost of mechanic's rock time are minimal.

The obtained results can be used by enterprises for long-term planning of their activity.

KEYWORDS: MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE, ROLLING STOCK, INFRASTRUCTURE, TECHNICAL CALCULATION, PRICES, COST, OPTIMAL STRUCTURE.

АВТОРИ:

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

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

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

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

AUTHORS:

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

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

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

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

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Клименко О.А., доктор технічних наук, доцент, Державне підприємство «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут», заступник директора з наукової роботи, Київ, Україна.

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Klymenko O.A., Doctor of Technical Science, Associate Professor, State Enterprise "State Road Transport Research Institute", Deputy Director for Research, Kyiv, Ukraine.

Sakhno V.P., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Head of the Department of Automobiles, Kyiv, Ukraine.

ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ ІЗ ЩЕБЕНЕВО-МАСТИКОВОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Баран С.А., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, baran_serg@ukr.net, orcid.org/0000-0002-3591-9880

Куцман О.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, kutsmans@ukr.net, orcid.org/0000-0002-6751-6592

Гринчак І.І., Національний транспортний університет, Київ, Україна, ilonaborovyk@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8382-3824

FORECASTING THE DURABILITY OF ROAD COVERING MADE OF STONE-MASTIC ASPHALT CONCRETE

Baran S.A., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, baran_serg@ukr.net, orcid.org/0000-0002-3591-9880

Kutsmans O.M., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, kutsmans@ukr.net, orcid.org/0000-0002-6751-6592

Hrynychak I.I., National Transport University, Kyiv, Ukraine, ilonaborovyk@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8382-3824

Постановка проблеми. На даний час в Україні як і в усьому світі найпоширенішим покриттям доріг та вулиць є асфальтобетонне, завдяки своїм перевагам, що проявляються під час будівництва, експлуатації і ремонту. Асфальтобетон відноситься до універсальних композитів з досить широкою можливістю направленою регулювання властивостей. Такі покриття за даними Б.С. Радовського [1] складають близько 95% від загальної протяжності доріг з твердим покриттями капітального типу.

Над створенням асфальтобетонного покриття підвищеної довговічності останні десятиліття працювали вчені багатьох країн отримавши ряд передових розробок. До таких розробок відноситься щебенево-мастиковий асфальтобетон (далі ЩМА) – один із сучасних прогресивних різновидів асфальтобетону, що найкраще відповідає вимогам до матеріалів покриття автомобільних доріг і вулиць з важким та інтенсивним рухом. Однак щебенево-мастикове асфальтобетонне покриття нерідко передчасно руйнується, що погіршує безпеку руху і призводить до значних витрат на ремонт. Це пояснюється відносно невеликим досвідом його застосування у вітчизняній практиці, що потребує (з більш детальним урахуванням кліматичних умов України) удосконалення методики розрахунку конструкцій дорожнього одягу, проектування складу щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші і контролю якості її виготовлення та застосування. Руйнування проявляються різною мірою в залежності від багатьох факторів (рецептурно-технологічні параметри, навантаження, час його дії, температура, та ін.). Тому актуальним питанням є прогнозування довговічності дорожнього покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону на стадії проектування конструкції дорожнього одягу з урахуванням комплексу найбільш вагомих факторів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню довговічності асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу присвячено значний перелік робіт багатьох відомих вчених. Було встановлено основні чинники та виявлено закономірності впливу складу асфальтобетону та властивостей компонентів, а також параметрів конструкції дорожнього одягу, що впливають на довговічність покриття. У цих дослідженнях, опираючись на основні положення механіки твердого деформованого тіла, розроблено математичні моделі напружено-деформованого стану дорожніх одягів як багатошарового на півпростору, інженерні методики розрахунків, а також критерії граничного стану.

Щебенево-мастикові асфальтобетонні суміші були розроблені в Німеччині у 60-і роки прошлого століття, ґрунтуючись на результатах ключових досліджень Ж. Зіхнера і опирались, головним чином, на емпіричні підходи [3-4].

Щебенево-мастиковий асфальтобетон – характеризується підвищеною зносостійкістю, наявністю міцного щебеневого каркасу дозволяє влаштовувати з нього шари покриття меншої товщини без зниження загального модуля пружності і, як правило, із збільшеним терміном служби покриття та поліпшеними експлуатаційними показниками.

Як свідчать літературні дані [2-4] щебенево-мастикові асфальтобетонні суміші набули великої популярності, що є наслідком їх високих експлуатаційних характеристик та надійності. Основними перевагами ЩМА є: шорстка текстура поверхні, що забезпечує достатнє зчеплення колеса з покриттям; висока зсувостійкість при високій літній температурі; висока зносостійкість покриття; тріщиностійкість при впливі коливань температури і транспортних навантажень за рахунок кращих деформативних і міцності властивостей; стійкість до старіння, морозостійкість, водостійкість, зниження ймовірності аквапланування та зменшення шуму. Щебенево-мастикове асфальтобетонне покриття нежорсткого дорожнього одягу влаштовують при необхідності стійкості покриття до виникнення пластичної колії із-за високих транспортних навантажень, а також при необхідності влаштування дорожніх покриттів з ЩМАС з різними специфікаціями по шарах для забезпечення різних функціональних і структурних умов руху транспорту по смугах руху.

В Україні за останні роки також проводились дослідження, направлені на підвищення технологічності та довговічності ЩМА, захищено ряд дисертаційних робіт, здійснюється моніторинг на державному рівні (ДерждорНДІ) за станом застосування нових матеріалів і технологій у тому числі і використання ЩМА.

Під час експлуатації на покриття впливає ряд несприятливих факторів, що діють як окремо так і спільно, їх умовно ділять на дві групи:

- циклічні тимчасові та довготривалі навантаження від транспорту, що викликають складний несприятливий напружено-деформований стан покриття;
- вплив факторів зумовлених атмосферними явищами (коливання температури, атмосферні опади, перемінне заморожування-відтавання води в порах і ушкоджених місцях, вплив агресивних середовищ в результаті потрапляння на покриття соляних розчинів, паливо-мастильних матеріалів та ін.).

На довговічність асфальтобетонного покриття значно суттєвий вплив чинить транспортне навантаження, про що свідчить аналіз експериментальних досліджень в роботах [5-7].

В ряді робіт відмічається вихід з ладу покриття із ЩМА на дорогах України що проявляється наступними видами руйнувань і деформацій поперечні і поздовжні тріщини, сітка тріщин, напливи, зсуви, хвилі, що зумовлені різними причинами [8-12].

Сучасні підходи до проектування дорожнього покриття ґрунтуються на двох основних складових. Спочатку виконується конструювання тобто вибираються різновиди матеріалів шарів та раціональне їх розміщення таким чином, щоб найкраще використати механічні і теплофізичні властивості матеріалів і забезпечити довговічність, технологічність та економічність як конструкції всього дорожнього одягу так і покриття [13]. На основі цього намічають декілька варіантів конструкцій для розрахунку. Після конструювання виконується розрахунок розроблених варіантів конструкцій асфальтобетонного покриття на міцність від дії транспорту [13]. з наступним вибором найбільш раціонального варіанту для даного об'єкту будівництва на основі техніко-економічного обґрунтування. Задача розрахунку полягає у визначенні товщини шарів дорожнього одягу у варіантах, намічених при конструюванні, або у виборі матеріалів з відповідними деформаційними характеристиками і характеристиками міцності шарів при заданих товщинах.

Розрахунок дорожнього одягу на міцність за існуючим нормативом заснований на наступних передумовах: а) напружено-деформований стан дорожнього одягу під дією навантаження описується рішеннями лінійної теорії пружності для шаруватого півпростору з урахуванням умов сполучення шарів на контактах; сили інерції через їх малість у розрахунку не враховуються (задача квазістатична); б) граничний стан дорожнього одягу характеризується показниками, які залежать від властивостей матеріалу кожного шару дорожнього одягу і ґрунту земляного полотна, а також від їхнього розміщення й умов роботи в конструкції.

Відповідно до [13, 14] розрахунок дорожніх одягів виконується за трьома критеріями граничного стану - пружному прогині дорожнього одягу під навантаженням, опорі згину монолітних шарів і опорі зсуву ґрунтів і шарів з мало зв'язних матеріалів.

Розробкою основ теорії розрахунку дорожнього одягу, та розв'язанням задач теорії пружності з визначення напружень і деформацій займалися Б.І. Коган, А.М. Кривіський, А.К. Приварніков, Ю.А. Шевляков, А.К. Біруля, В.Є. Вереженко, В.Г. Піскунов, О.О. Рассказов, Б.С. Радовський, В.В. Плевако, В.Й. Заворицький, А.Г. Булавко, К.С. Теренський та ін. В основу методів визначенні напружено-деформованого стану покладені розрахункові схеми пружного ізотропного шаруватого напівпростору. Також слід відмітити, що в останні роки у багатьох дослідженнях значна увага приділена застосуванню методу скінченних елементів з використанням сучасних програмних комплексів. У сучасних дослідженнях приділяють велику увагу врахуванню термо-реологічних

властивостей асфальтобетону, що дозволяє точніше прогнозувати довговічність покриття, прогнозувати колійність та ін. [5, 6, 15, 17].

Аналіз особливостей поведінки дорожнього одягу та врахування в'язких властивостей матеріалів займалися такі вчені: А.А. Іноземцев, М.Б. Корсунський, В.В. Мозговий, О.Т. Батраков, С.І. Міхович, М.І. Волков, Л.Б. Гезенцвей, В.О. Золотарьов, А.В. Руденський, О.М. Богуславський, Г.К. Сюньї, А.О. Салль, та ін. досліджено зміну міцнісних і деформаційних властивостей характеристик матеріалу в залежності від температури на довговічність та на характер напружено-деформованого стану від зміни температури. У роботі [18] Б.С. Радовським отримано аналітичні рішення для розв'язку змішаної задачі теорії пружності і дискретного розподілення напружень, визначено напруження і деформації тришарової комбінованої конструкції в умовах плоскої задачі та в умовах вісесиметричної просторової задачі, вивчено вплив швидкості руху автомобіля на напруження в ґрунті земляного полотна, отримана залежність для визначення горизонтальних нормальних розтягуючих напружень і-го шару багатошарового в'язко-пружного напівпростору. В подальших дослідженнях Б.С. Радовського А.С. Супруна В.В. Мозгового та інших дослідників [16, 19, 20] була показана можливість застосування методу квазіпружної апроксимації, що дозволяє використовувати відомі рішення теорії пружності, наприклад, точне рішення А.К. Приварникова для шаруватого пружного напівпростору. У квазіпружному методі в'язкопружне рішення виходить із пружного рішення заміною всіх пружних характеристик матеріалу відповідними функціями релаксації і функціями повзучості. При цьому доцільно користуватися взаємозв'язком між функцією повзучості і релаксації, отриманим як на основі точного рішення. Ґрунтуючись на математичних аспектах цього методу, а також на результатах, отриманих Шепері при його застосуванні, можна вважати, що в більшості випадків точність методу цілком задовольняє звичайним інженерним вимогам. Тому в різних дослідженнях застосовувались використання точного рішення теорії пружності для багатошарового напівпростору отриманого проф. А.К. Приварниковим. Так в деяких дослідженнях [11] використовуючи даний метод, було досліджено напружено-деформований стан багатошарового напівпростору, були знайдені і апроксимовані функції для визначення горизонтальних нормальних розтягуючих напружень на підшві та на поверхні асфальтобетонного шару.

На основі проведених досліджень був створений потужний розрахунковий апарат, що дає можливість розраховувати напружено-деформований стан шаруватих систем, до яких відноситься і дорожній одяг. Однак незважаючи на широкомасштабні дослідження в даному напрямку до цього часу не розроблено, як методу, так і жодного нормативного документу стосовно розрахунку щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу з урахуванням комплексної дії впливових факторів.

Мета роботи – розроблення концепції прогнозування довговічності дорожнього покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону з урахуванням комплексної дії вагомих факторів.

Викладення основного матеріалу досліджень.

У дослідженнях прийнята робоча гіпотеза, яка полягає у наступному.

Довговічність покриття із ЩМА визначається, головним чином, його стійкістю до порушення суцільності у результаті негативної спільної дії найбільш впливових факторів: транспортне навантаження, усадка покриття від зниження температури при її коливанні, усадка покриття від «старіння» бітумного в'язучого (окислення, полімеризація, поліконденсація, випаровування та інфільтрація легких фракцій в'язучого в мікропори і макротріщини мінерального матеріалу), водоморозні впливи, розшарування асфальтобетонної суміші при порушенні рецептурно-технологічних параметрів, недостатнє зчеплення з нижнім шаром. При цьому допускається, що стійкість до розшарування асфальтобетонної суміші буде забезпечена при дотриманні вимог до рецептурно-технологічних параметрів чинних нормативних документів. Стійкість ЩМА до пластичних деформацій буде забезпечена дотриманням вимог чинних нормативних документів.

Прийнято, що найбільш вагомими факторами, які впливають на довговічність покриття із ЩМА, є горизонтальні нормальні розтягуючі напруження від дії транспорту, розтягуючі напруження від температурної усадки у результаті циклічних понижень температури та від усадки «старіння» бітумного в'язучого, пошкодження структурних зв'язків від водо-морозних впливів.

При цьому поставлену задачу вирішували в детермінованій постановці використовуючи феноменологічний підхід, щебенево-мастиковий асфальтобетон розглядали як ізотропний квазіоднорідний матеріал. Запропоновано критерій граничного стану покриття із ЩМА з урахуванням термо-реологічних властивостей ЩМА, використовуючи положення кінетичної теорії міцності твердих тіл і базуючись на принципах Пальгрейна-Майнера та Бейлі про суперпозицію

пошкоджень структури матеріалу протягом строку експлуатації як суму пошкодженостей структури при негативній спільній дії найбільш впливових факторів

$$M = M_{Tp} + M_{yT} + M_{yC} + M_{BMP3} \leq 1, \quad (1)$$

де M_{Tp} – міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від дії транспорту;

M_{yT} – міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від температурної усадки;

M_{yC} – міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від усадки «старіння» бітумного в'язучого;

M_{BMP3} – міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від водо-морозних впливів.

У даному випадку під пошкодженістю ЩМА, згідно існуючих загальних положень, приймається формальне кінетичне поняття незворотних розривів структурних зв'язків у матеріалі за часом при визначеному характері впливу факторів і оцінюється відносним параметром, який називають мірою пошкодженості, що за фізичною суттю є мірою вичерпування довговічності.

Дослідження довговічності ЩМА покриття проводили з урахуванням дії найбільш впливових факторів, що спричиняють появу розтягуючих напружень та їх розтріскування, а саме: горизонтальні нормальні напруження при дії транспортного навантаження та коливанні температури.

На щебеневі-мастикові асфальтобетонні покриття діє колісне навантаження, яке викликає поверхневі розтягуючі напруження, які разом з температурними напруженнями створюють загальний напружений стан.

Визначення напружень в шаруватому в'язкопружному напівпросторі при русі транспортних засобів для оцінки тріщиностійкості ЩМА є одним з основних факторів для оцінки його довговічності. Одним із перших, хто повністю вирішив задачу визначення тензора напружень шаруватого в'язкопружного напівпростору, був проф. Б.С. Радовський. Він розглянув задачу визначення напружень і переміщень в нежорсткому дорожньому одязі, як у шаруватому в'язкопружному безінерційному напівпросторі з довільним кінцевим числом ізотропних та однорідних шарів [18, 21].

В результаті були отримані залежності для визначення горизонтальних нормальних розтягуючих напружень i -го шару багатошарового в'язкопружного безінерційного напівпростору. Однак використання отриманих аналітичних залежностей для визначення розтягуючих нормальних напружень є досить проблематичним, зважаючи на велику громіздкість формули, і виключає можливість широкого використання її для інженерних розрахунків. Тому було запропоновано використання квазіпружного методу апроксимації при застосуванні точного рішення пружного напівпростору. В цьому випадку в'язкопружне рішення виходить із пружного рішення заміною всіх пружних характеристик матеріалу відповідними функціями релаксації та функціями повзучості. При цьому доцільно користуватися взаємозв'язком між функцією повзучості та релаксації, отриманим на основі точного рішення.

Ґрунтуючись на математичних аспектах цього методу, а також на результатах, отриманих Шепері і Сімсом при його застосуванні, можна вважати, що у більшості випадків точність методу цілком задовольняє інженерним вимогам.

У виразі (1) міру вичерпування довговічності покриття із ЩМА від дії транспорту (з урахуванням загальновідомого підходу при циклічній дії напружень) визначалася за виразом 2.

$$M_{Tp} = \sum_{i=1}^m \left(\frac{\sum N_p(t, \sigma_n)}{[N_p(\sigma_n)]} + 2 \cdot \frac{\sum N_p(t, \sigma_n)}{[N_p(\sigma_n)]} \right), \quad (2)$$

де $\sum N_p(t, \sigma)$ – сумарна інтенсивність прикладання розрахункового навантаження в i -тий період року, на момент часу експлуатації t при дії відповідно розтягуючого горизонтального нормального напруження при згині у нижній частині покриття σ_n та розтягуючого горизонтального нормального напруження при згині у верхній частині покриття σ_n ;

$[N_p(t, \sigma)]$ – гранично допустима кількість прикладання розрахункового навантаження, що може витримати асфальтобетонне покриття в i -тий період року при дії відповідно розтягуючого горизонтального нормального напруження при згині у нижній частині покриття σ_n та розтягуючого

горизонтального нормального напруження при згині у верхній частині покриття σ_n (встановлюються на основі експериментальних даних);

m – кількість характерних i -тих періодів року з близькими кліматичними умовами.

При виборі розрахункової схеми роботи щебенево-мастикового асфальтобетонного шару нежорсткого дорожнього одягу з точки зору його тріщиностійкості виходили з найбільш несприятливих для нього умов появи горизонтальних нормальних розтягуючих температурних напружень при зміні температури та від впливу дії транспортних напружень і клявішного ефекту, які виникають у верхній і нижній частині шару.

Також, брали до уваги дані багатьох дослідників про те, що основною причиною утворення температурних тріщин в асфальтобетонному покритті є напруження від дії транспорту та температурні розтягуючі напруження, що виникають в результаті невірного скорочення розмірів покриття при його охолодженні.

Розтягуючі горизонтальні нормальні напруження при згині у нижній частині покриття σ_n та розтягуючі горизонтальні нормальні напруження при згині у верхній частині покриття σ_n визначаються на основі аналітичних розрахунків з урахуванням схеми роботи щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття при дії транспортного навантаження згідно рисунку 1.

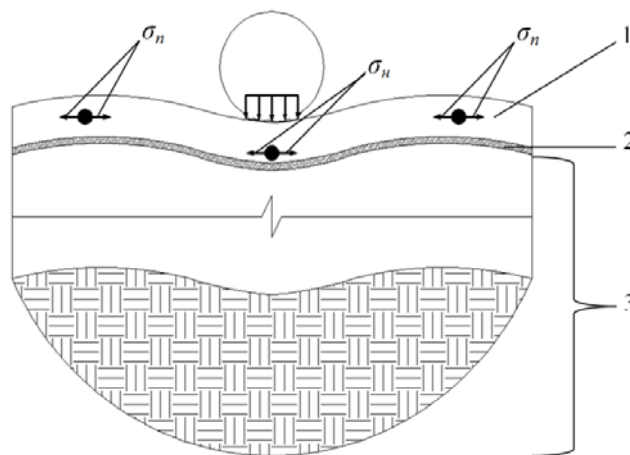


Рисунок 1 – Схема роботи щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття при дії транспортного навантаження: 1 – щебенево-мастикове асфальтобетонне покриття; 2 – прошарок, що з'єднує щебенево-мастикове асфальтобетонне покриття з нижніми шарами; 3 – нижні шари конструкції дорожнього одягу та ґрунт земляного полотна

Figure 1 – Scheme of operation of stone-mastic asphalt concrete coating under the action of traffic load: 1 – stone-mastic asphalt concrete coating; 2 – a layer connecting the stone-mastic asphalt concrete coating with the lower layers; 3 – the lower layers of the road surface structure and subgrade soil

Міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від температурної усадки (M_{yT}) може бути визначена за аналітичними залежностями Радовського-Мозгового, що базуються на застосуванні критерію Бейлі, модифікованої функції довговічності Бартенєва [16]:

$$M_{yT} = \int_0^t \frac{dt}{t^* (\sigma_T(t), T(t))}, \quad (3)$$

де t – момент часу експлуатації покриття;

$t^* (\sigma_T(t), T(t))$ – функція довговічності ЩМА;

$\sigma_T(t)$ – тепературні напруження;

$T(t)$ – температура покриття.

При визначенні температурних напружень були використані основні положення теорії термо-в'язко-пружності на базі вихідних співвідношень Больцмана-Вольтера, що зв'язують між собою напруження, деформацію, час і температуру на основі методології, розробленої в НТУ [16, 21]:

$$\sigma_T(t) = \int_0^t R(\xi(t) - \xi(\tau)) d\varepsilon_T(\tau), \quad (4)$$

$$\xi(t) = \int_0^t [a_T(T(t), Q)]^{-1} dt, \quad (5)$$

де: $\varepsilon_T(t) = (\varepsilon_T^1(t) + \varepsilon_T^2(t) + \varepsilon_y^1(t) + \varepsilon_y^2(t))$ – відносна деформація; R – функція релаксації; t – момент часу, для якого визначається напруження; τ – момент часу, що передує t ; ξ – час, наведений на підставі температурно-часової аналогії (ТВА) до тієї температури Q , при якій експериментально встановлюються параметри функції релаксації $R(t)$; a_T – функція ТВА; ε_T^1 – нереалізована температурна деформація покриття; ε_T^2 – деформація покриття, викликана температурними змінами довжини плит тріщинувато-блочної основи; ε_y^1 – нереалізована деформація покриття при його тривалій незворотній усадці; ε_y^2 – деформація покриття, викликана тривалою незворотною усадкою плит тріщинувато-блочної основи.

Асфальтобетонне покриття розглядалось як горизонтальний суцільний шар товщиною h , розташований на квазісуцільній основі, а матеріал покриття володіє в'язкопружними властивостями і є термореологічно простим тілом.

Визначальний зв'язок між поздовжніми напруженнями σ_T і деформаціями ε_T покриття як в'язкопружного термореологічно простого матеріалу описувався відомим в теорії термов'язкопружності [16, 21] інтегральним співвідношенням Больцмана-Вольтера:

$$\sigma_T(t) = \int_0^t R(\xi(t) - \xi(\tau)) d\varepsilon_T(\tau), \quad (6)$$

де R – функція релаксації; t – момент часу, для якого визначається напруження; τ – момент часу, що передує t ; $\xi(t)$ і $\xi(\tau)$ – наведений час відповідно для моментів t і τ , яке відповідно до принципу температурно-часової аналогії визначається виразом:

$$\xi(t) = \int_0^t \frac{dt}{a_T(T(t), Q)}, \quad \xi(\tau) = \int_0^\tau \frac{d\tau}{a_T(T(\tau), Q)}, \quad (7)$$

де $a(T, Q)$ – функція температурно-часового зсуву, що показує у скільки разів "прискорюється" хід часу для деформування при постійній базовій температурі Q в порівнянні з деформацією при постійній температурі T (якщо $Q > T$).

Завдання полягає у визначенні поздовжнього горизонтального нормального напруження $\sigma_T(t)$ в покритті в будь-який момент часу при різних закономірностях зміни його температури $T(t)$ з властивостями матеріалу покриття, що характеризується функцією релаксації $R(t)$.

Відповідно до закону температурного деформування зміни середньої по товщині покриття температури T від її початкового значення $T(\tau = 0)$ до значення $T(\tau)$ в певний момент τ відповідає нереалізована відносна деформація:

$$\varepsilon_T(\tau) = \alpha [T(\tau = 0) - T(\tau)], \quad (8)$$

що відповідає напруженню, яке визначається рівністю (6). Після диференціювання обох частин рівності (8) по τ і підстановки результатів в (6) можна записати для довільної безперервної закономірності температури $T(t)$ вираз для температурного напруження в момент t :

$$\sigma_T(t) = -\alpha \int_0^t R(\xi(t) - \xi(\tau)) \frac{dT(\tau)}{d\tau} d\tau, \quad (9)$$

причому розтягуюче напруження вважаємо позитивним.

На прикладі лінійної зміни температури в часі при її зниженні зі швидкістю K після перетворень вираз для температурних напружень при поданні $R(t)$ в формі модифікованого степеневому закону матиме вигляд:

$$\sigma_T = -\alpha H K t - \alpha K (B - H) \int_0^t \frac{d\tau}{[1 + \psi(t) - \psi(\tau)]^m}, \quad (10)$$

$$\text{де:} \quad \psi(t) = \frac{1}{pKr} e^{p(T_0 - Q + Kt)}, \quad \psi(\tau) = \frac{1}{pKr} e^{p(T_0 - Q + K\tau)};$$

У цих формулах: r , m , B і H – параметри функції релаксації в формі модифікованого степеневому закону, причому останні два з них мають сенс відповідно миттєвого і тривалого модулів пружності.

При дослідженні довговічності асфальтобетонного покриття одним із впливових факторів ряд дослідників вважають негативний вплив від усадки «старіння» бітумного в'язучого. Так Літлфілд [22], вивчаючи температурні деформації асфальтобетонів при циклічному охолодженні – нагріванні виявив значну їх усадку, яку він пояснив випаровуванням легких фракцій з бітуму. Ю. Є. Нікольський також показав [23], що при циклічній зміні температури в асфальтобетоні проявляються залишкові деформації. Накопичення залишкових деформацій при низьких температурах Ю.Н. Нікольський і А.М. Большухін [24] пояснюють доущільненням асфальтобетону при охолодженні.

Усадка в асфальтобетонах, пов'язана з формуванням у бітумах надмолекулярних структур, викликає в покриттях, які не мають можливості вільно переміщатися, усадочні напруження. Так, при випробуванні в установці «УОНДА-1420» заземленого по кінцях зразка асфальтобетону на бітумі марки БНД 60/90 при його термоциклюванні в інтервалі температур від 5 до -20 °С було виявлено виникнення зростаючих усадочних напружень [29, 31].

Міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від усадки «старіння» бітумного в'язучого (M_{yc}) виразу (1) встановлюється за наступною розробленою методикою.

Напруження від усадки «старіння» бітумного в'язучого (M_{yc}) на момент часу експлуатації покриття t визначалися за виразом 11:

$$\sigma_{yc}(t) = \int_0^t R(t' - \tau') d\varepsilon_{yc}(t), \quad (11)$$

де $R(t' - \tau')$ – функція релаксації ЩМА;

(t', τ') – відповідно приведений (згідно з принципом температурно-часової аналогії) час спостереження та час, який передувє моменту спостереження;

$\varepsilon_{yc}(t)$ – відносна деформація ЩМА від усадки «старіння» бітумного в'язучого у часі, що встановлюється на основі експериментальних даних.

Лабораторні дослідження, проведені в БашНДІ НП [25, 26] дозволили встановити математичну залежність для розрахунку лінійної усадки асфальтобетону, яку запропоновано інтерпретувати у вигляді:

$$\varepsilon_{yc}(t) = \kappa \log_2(t+1) - 0,003 (t - 9)^3 + 0,0243, \quad (12)$$

де $\varepsilon_{yc}(t)$ – лінійна усадка асфальтобетону, %;

t – число циклів охолодження – нагрівання;

κ – коефіцієнт, що залежить від температурного інтервалу (встановлюється експериментально).

З урахуванням виразу (3) та зміни у часі температури покриття $T(t)$ визначається міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від усадки «старіння» бітумного в'язучого:

$$M_{VC} = \int_0^t \frac{dt}{t^*(\sigma_{vc}(t), T(t))}, \quad (13)$$

де $t^*(\sigma_{vc}(t), T(t))$ – функція довговічності ЩМА.

Міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від водоморозних впливів M_{BMP3} виразу (1) визначається за розробленою методикою, суть якої полягає у наступному.

На основі експериментально встановленої залежності міцності на розтяг ЩМА від кількості циклів водоморозних впливів $R_p = f(N_{BMP3})$ згідно з принципом лінійного підсумовування міри вичерпування довговічності значення $M(N_{BMP3})$ встановлюється за наступною залежністю:

$$M(N_{BMP3}) = 1 - M(\sigma(t)), \quad (14)$$

де $M(\sigma(t))$ – міра вичерпування довговічності ЩМА в експерименті при встановленні $R_p = f(N_{BMP3})$ для заданого режиму зміни розтягуючих напружень $\sigma(t)$.

Висновки.

Дослідженню довговічності асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу присвячено значний перелік робіт багатьох відомих вчених які встановили основні чинники та виявлено закономірності впливу складу асфальтобетону та властивостей компонентів, а також параметрів конструкції дорожнього одягу, що впливають на довговічність покриття. У цих дослідженнях, опираючись на основні положення механіки твердого деформівного тіла, розроблено математичні моделі напружено-деформованого стану дорожніх одягів як багатошарового напівпростору, інженерні методики розрахунків, а також критерії граничного стану. У сучасних дослідженнях приділяють велику увагу врахуванню термо-реологічних властивостей асфальтобетону, що дозволяє точніше прогнозувати довговічність покриття.

Застосування ЩМА у вітчизняній практиці досить часто характеризується не достатньою довговічністю.

Існуючий вітчизняний нормативний метод проектування дорожніх одягів не достатньо повно враховує спільну дію транспортних засобів та коливання температури, а також дію інших впливових факторів на довговічність покриття.

Прийнята робоча гіпотеза: довговічність покриття із ЩМА визначається, головним чином, його стійкістю до порушення суцільності у результаті негативної спільної дії найбільш впливових факторів: транспортне навантаження, усадка покриття від зниження температури при її коливанні, усадка покриття від «старіння» бітумного в'язучого, водо-морозні впливи, розшарування асфальтобетонної суміші при порушенні рецептурно-технологічних параметрів, недостатнє зчеплення з нижнім шаром. Стійкість ЩМА до пластичних деформацій буде забезпечена дотриманням вимог чинних нормативних документів.

Розроблено критерій граничного стану покриття із ЩМА, який враховує термо-реологічні властивості ЩМА, із застосуванням положення кінетичної теорії міцності твердих тіл і базується на принципах Пальгрейна-Майнера та Бейлі про суперпозицію пошкоджень структури матеріалу протягом строку експлуатації при негативній спільній дії найбільш впливових факторів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Радовский Б.С. Проектирование состава асфальтобетонных смесей в США по методу Суперпейв // Дорожная техника. – 2007. – С. 28-41.
2. Ш. Шульц Технология щебеночно-мастичного асфальта, CFF GmbH & Co/ KG.
3. Юрген Хученройтер, Томас Вернер Щебеночно-мастичный асфальтобетон: основные понятия, структура, состав, свойства, опыт применения. Автомобильные дороги, №4, 2002, С. 40-42.
4. Krzystov Blazejowski. SMA. Teoria I praktyka. 2007.]

5. Онищенко А.М. Теоретичні основи розрахунку асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах та методи підвищення колієстійкості: Дис. докт. техн. наук: 05.22.11 – К., 2017.– 434 с.
6. Густелєв О. О. Підвищення довговічності нежорсткого дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті –Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. // дис... канд. техн. наук : 05.22.11 / Густелєв Олександр Олександрович., Нац. транспортний ун-т.– Київ :, 2019.– 199 с.
7. Кузло М.Т., Бондар В.М., Підвищення стійкості щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття до дії транспортних засобів на ухилах доріг і вулиць // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2019.
8. Баран С.А., Мозговий В.В., Ольховий Б.Ю. Підвищення однорідності щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. Київ. 2016. Вип. 96. С.33-42.
9. Гуляєв В.І., Мозговий В.В., Гайдачук В.В., Густелєв О.О., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В., Шлюнь Н.В. Термопружний стан багатошарових дорожніх покриттів // Монографія – К. : НТУ, 2018. – 252 с.
10. Радовский Б.С. Теоретические основы конструирования и расчета нежестких дорожных одежд на воздействие подвижных нагрузок.-Дис. докт. техн. наук.-Киев, 1983.- 552 с.
11. Бесараб О.М. Підвищення тріщиностійкості асфальтобетонних шарів з врахуванням часу дії навантаження: Дис. канд. техн. наук: 05.22.11 - К., 2003 – 142 с.
12. Печеный Б.Г. Долговечность битумных и битумо-минеральных покрытий.-М.: Стройиздат, 1981.-123 с.
13. Курс лекцій з навчальної дисципліни “Основи механіки земляного полотна і дорожнього одягу” за ред Б.С. Радовського, 1994.
14. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування.
15. Баран С.А., Шевчук Л.В., Ващіліна О.В., Лебедева І.В. Скінченно-елементний моніторинг напружено-деформованого стану дорожнього покриття з розшаруванням // Вісник КНУ ім. Т.Г. Шевченка. Серія: фіз.-мат. науки. Київ. 2018. № 2. С. 57 – 63.
16. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий: Дис. ... докт. техн. наук: 05.22.11 – К., 1996.– 406 с.
17. Гаркуша, М. В. Удосконалення методу оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії // дис... канд. техн. наук : 05.22.11 / Микола Васильович Гаркуша, Нац. транспортний ун-т.– Київ :, 2019.– 209 с.
18. Радовский Б.С. Напряженное состояние нежестких дорожных одежд с промежуточными слоями из слабосвязанных зернистых материалов // Ленинград, 1966. - 251с.
19. Супрун А. С. Расчет напряжений, перемещений и деформаций нежестких дорожных одежд при движении многоосных многоколесных транспортных средств: Дис. канд. техн. наук: 05.22.03. – К. – 1983. – С. 318.
20. Радовский Б.С. Проблемы механики дорожно-строительных материалов и дорожных одежд. – К.: ООО «ПолиграфКонсалтинг», 2003. – 240 с.
21. Радовский Б.С. Теоретические основы конструирования и расчета нежестких дорожных одежд на воздействие подвижных нагрузок.-Дис. докт. техн. наук.-Киев, 1983.- 552 с.,
22. Littlefield. Warmdehneverhalten von Asphaltbeton in Utah.— Bitum., Teer., Asph., Pech. und verw. St., 1974, № 4, 25.
23. Никольский Ю. Е. Исследование трещиностойчивости асфальтобетонов при низких температурах. Труды/Союздор- НИИ. М., 1969, вып. 29.
24. Большухин А. М. Основные итоги исследования холодных асфальтобетонных смесей, укладываемых при низких температурах. Труды/УралНИИАКХ, Свердловск, 1958, вып.
25. Установка для определения внутренних напряжений и температур растрескивания материалов Б. Г. Печеный, В. В. Масленников, С. П. Андрущенко, В. П. Лосев.— Заводская лаборатория, 1979, т. 45, № 2.
26. Печеный Б. Г., Вахитов Р. Р. Дилатометрия битумоминеральных систем, — В кн.: Исследование остаточный продуктов нефтепереработки. М., 1977.

REFERENCES

1. Radovskiy B.S. Proektirovanie sostava asfaltobetonnykh smesey v SShA po metodu Superpeyv // Dorozhnyaya tekhnika. – 2007. – S. 28-41.
2. Sh. Shults Tekhnologiya schebenochno-mastichnogo asfalta, CFF GmbH & Co/ KG.
3. Yurgen Huchenroyter, Tomas Verner Schebenochno-mastichnyi asfaltobeton: osnovnyie ponyatiya, struktura, sostav, svoystva, opyt primeneniya. Avtomobilnyie dorogi, #4, 2002, S. 40-42.
4. Krzystov Blazejowski. SMA. Teoria I praktyka. 2007.]
5. Onyshchenko A.M. Teoretychni osnovy rozrakhunku asfaltobetonnoho pokryttia na avtodorozhnikh mostakh ta metody pidvyshchennia koliistosti: Dys. dokt. tekhn. nauk: 05.22.11 – K., 2017.– 434 s.
6. Hustieliev O. O. Pidvyshchennia dovhovichnosti nezhorstkoho dorozhnoho odiahu z poperechnymy trishchynamy v asfaltobetonnomu pokrytti –Kvalifikatsiina naukova pratsia na pravakh rukopysu. // dys... kand. tekhn. nauk : 05.22.11 / Hustieliev Oleksandr Oleksandrovych., Nats. transportnyi un-t.– Kyiv :, 2019.– 199 s.
7. Kuzlo M.T., Bondar V.M., Pidvyshchennia stiikosti shchebenevo-mastykovoho asfaltobetonnoho pokryttia do dii transportnykh zasobiv na ukhylakh dorih i vulyts // Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. 2019.
8. Baran S.A., Mozghovyi V.V., Olkhovyi B.Iu. Pidvyshchennia odnoridnosti shchebenevo-mastykovo asfaltobetonnoi sumishi // Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo: nauk.-tekhn. zbirnyk. Kyiv. 2016. Vyp. 96. S.33-42.
9. Huliaiev V.I., Mozghovyi V.V., Haidachuk V.V., Hustieliev O.O., Zaiets Yu.O., Shevchuk L.V., Shliun N.V. Termopruznyi stan bahatosharovykh dorozhnikh pokryttiv // Monohrafiia – K. : NTU, 2018. – 252 s.
10. Radovskiy B.S. Teoreticheskie osnovy konstruirovaniya i rascheta nezhestkiy dorozhnykh odezhd na vozdystvie podvizhnykh nagruzok.-Dis. dokt. tehn. nauk.-Kiev, 1983.- 552 s.
11. Besarab O.M. Pidvyshchennia trishchynostiikosti asfaltobetonnykh shariv z vrakhuvanniam chasu dii navantazhennia: Dys. kand. tekhn. nauk: 05.22.11 - K., 2003 – 142 s.
12. Pechenyiy B.G. Dolgovechnost bitumnykh i bitumo-mineralnykh pokrytityi.-M.: Stroyizdat, 1981.- 123 s.
13. Kurs lektsii z navchalnoi dystsypliny “Osnovy mekhaniky zemliano polotna i dorozhnoho odiahu” za red B.S. Radovskoho, 1994.
14. HBN V.2.3-37641918-559:2019 Avtomobilni dorohy. Dorozhni odiah nezhorstkyi. Proektuvannia.
15. Baran S.A., Shevchuk L.V., Vashchilina O.V., Lebedieva I.V. Skinchenno-elementnyi monitorynh napruzhenno-deformovanoho stanu dorozhnoho pokryttia z rozsharuvanniam // Visnyk KNU im. T.H. Shevchenka. Seriya: fiz.-mat. nauky. Kyiv. 2018. № 2. S. 57 – 63.16. Mozgovoy V.V. Nauchnyie osnovy obespecheniya temperaturnoy treschinostoykosti asfaltobetonnykh pokrytityi: Dis. ... dokt. tehn. nauk: 05.22.11 – K., 1996.– 406 s.
16. Harkusha, M. V. Udoskonalennia metodu otsinky stiikosti pokryttia nezhorstkoho dorozhnoho odiahu do utvorennia kolii // dys... kand. tekhn. nauk : 05.22.11 / Mykola Vasylovych Harkusha, Nats. transportnyi un-t.– Kyiv :, 2019.– 209 s.
17. Radovskiy B.S. Napryazhennoe sostoyanie nezhestkiy dorozhnykh odezhd s promezhutochnymi sloymi iz slabosvyazannykh zernistykh materialov // Leningrad, 1966. - 251s.
18. Suprun A. S. Raschet napryazheniy, peremescheniy i deformatsiy nezhestkiy dorozhnykh odezhd pri dvizhenii mnogoosnykh mnogokolesnykh transportnykh sredstv: Dis. kand. tehn. nauk: 05.22.03. – K. – 1983. – S. 318.
19. Radovskiy B.S. Problemy mekhaniki dorozhno-stroitelnykh materialov i dorozhnykh odezhd. – K.: OOO «PoligrafKonsalting», 2003. – 240 s.
20. Radovskiy B.S. Teoreticheskie osnovy konstruirovaniya i rascheta nezhestkiy dorozhnykh odezhd na vozdystvie podvizhnykh nagruzok.-Dis. dokt. tehn. nauk.-Kiev, 1983.- 552 s.,
21. Littlefield. Warmdehneverhalten von Asphaltbeton in Utah.— Bitum., Teer., Asph., Pech. und verw. St., 1974, № 4, 25.
22. Nikolskiy Yu. E. Issledovanie treschinoustoychivosti asfaltobetonov pri nizkikh temperaturah. Trudyi/Soyuzdor- NII. M., 1969, vyip. 29.
23. Bolshuhin A. M. Osnovnyie itogi issledovaniya holodnykh asfaltobetonnykh smesey, ukladyvaemykh pri nizkikh temperaturah. Grudyi/UralNIIAKH, Sverdlovsk, 1958, vyip.

24. Ustanovka dlya opredeleniya vnutrennih napryazhenii i temperatur rastreskivaniya materialov B. G. Pechenyiy, V. V. Maslennikov, S. P. Andryushenko, V. P. Losev.— Zavodskaya laboratoriya, 1979, t. 45, # 2.

25. Pechenyiy B. G., Vahitov R. R. Dilatometriya bitumomine- ralnyih sistem, — V kn.: Issledovanie ostatochniy produktov neftepererabotki. M., 1977.

РЕФЕРАТ

Баран С.А. Прогнозування довговічності дорожнього покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону / С.А. Баран, О.М. Куцман, І.І. Гринчак // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

В статті запропоновано критерій граничного стану покриття із ЩМА, який враховує термо-реологічні властивості ЩМА, із застосуванням положення кінетичної теорії міцності твердих тіл і базується на принципах Пальгрейна-Майнера та Бейлі про суперпозицію пошкоджень структури матеріалу протягом строку експлуатації при негативній спільній дії найбільш впливових факторів.

Об'єкт дослідження – дорожнє покриття нежорсткого дорожнього одягу із щебенево-мастикового асфальтобетону.

Мета роботи – встановити аналітичні залежності для прогнозування порушення суцільності щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття з урахуванням дії факторів, що на нього впливають.

Метод дослідження – експериментально-аналітичні.

На довговічність дорожнього покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону найбільше впливають фактори, що спричиняють появу розтягуючих напружень та його розтріскування, а саме: горизонтальні нормальні напруження при дії транспортного навантаження та коливанні температури, крім того на щебенево-мастикове асфальтобетонне покриття діє колісне навантаження, яке викликає поверхневі розтягуючі напруження, які разом з температурними напруженнями створюють загальний напружений стан. Існуючий вітчизняний нормативний метод проектування дорожніх одягів не достатньо повно враховує спільну дію транспортних засобів та коливання температури, а також дію інших впливових факторів на довговічність покриття.

Відповідно до прийнятої робочої гіпотези: довговічність покриття із ЩМА визначається, головним чином, його стійкістю до порушення суцільності у результаті негативної спільної дії найбільш впливових факторів: транспортне навантаження, усадка покриття від зниження температури при її коливанні, усадка покриття від «старіння» бітумного в'язучого, водо-морозні впливи, розшарування асфальтобетонної суміші при порушенні рецептурно-технологічних параметрів, недостатнє зчеплення з нижнім шаром. Стійкість ЩМА до пластичних деформацій буде забезпечена дотриманням вимог чинних нормативних документів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АСФАЛЬТОБЕТОН ЩЕБЕНЕВО-МАСТИКОВИЙ, ДОВГОВІЧНІСТЬ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ, КРИТЕРІЙ ГРАНИЧНОГО СТАНУ ПОКРИТТЯ, ТЕРМОРЕОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.

ABSTRACT

Baran S.A., Kutsman O.M., Hrynychak I.I. Forecasting the durability of road covering made of stone-mastic asphalt concrete. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv. National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The paper proposes a criterion for the limit state of a coating made of stone-mastic asphalt concrete, which takes into account the thermo-rheological properties of stone-mastic asphalt concrete, with the application of the provisions of the kinetic theory of the strength of solid bodies and is based on the principles of Palgrain-Miner and Bailey about the superposition of damage to the structure of the material during the service life under the negative joint action of the most influential factors .

Object of the study – a non-rigid road surface made of stone-mastic asphalt concrete.

Purpose of the study– to establish analytical dependencies for predicting the integrity violation of the stone – mastic asphalt concrete covering, taking into account the effects of the factors affecting it.

Method of the study – experimental and analytical.

The durability of a road surface made of stone -mastic asphalt concrete is most affected by the factors that cause the appearance of tensile stresses and its cracking, namely: horizontal normal stresses under the action of traffic load and temperature fluctuations, in addition, the stone-mastic asphalt concrete surface is affected by wheel load, which causes surface tensile stresses, which together with temperature stresses create a general stress state. The existing national regulatory method of road surface design does not fully take into

account the joint action of vehicles and temperature fluctuations, as well as the effect of other influencing factors on the durability of the pavement.

According to the accepted working hypothesis: the durability of the coating made of the stone-mastic asphalt concrete is determined mainly by its resistance to breaking integrity as a result of the negative joint action of the most influential factors: transport load, shrinkage of the coating from a decrease in temperature during its fluctuation, shrinkage of the coating from the "aging" of the bitumen in caustic, water and frost effects, delamination of the asphalt concrete mixture in case of violation of recipe and technological parameters, insufficient adhesion to the lower layer. The resistance of the stone-mastic asphalt concrete to plastic deformations will be ensured by compliance with the requirements of current regulatory documents.

KEY WORDS: STONE-MASTIC ASPHALT CONCRETE, ROAD SURVEY DURABILITY, CRITERION OF THE LIMIT STATE OF THE SURVEY, THERMOREOLOGICAL CHARACTERISTICS.

АВТОРИ:

Баран Сергій Анатолійович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: baran_serg@ukr.net, тел. +380978806451, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, orcid.org/0000-0002-3591-9880

Куцман Олександр Михайлович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: kutsmans@ukr.net, тел. +380672960871, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, orcid.org/0000-0002-6751-6592

Гринчак Ілона Іллівна, Національний транспортний університет, асистент кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, e-mail: ilonaborovyk@ukr.net, тел. +380672960871, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, orcid.org/0000-0002-8382-3824

AUTHOR:

Baran Serhii.A., Ph.D., National Transport University, Associate Professor Department of Road Building Materials and Chemistry, e-mail: baran_serg@ukr.net, tel. +380978806451, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str, 1, orcid.org/0000-0002-3591-9880

Kutsman Oleksandr.M., Ph.D., National Transport University, Associate Professor Department of Road Building Materials and Chemistry, e-mail: kutsmans@ukr.net, tel. +380672960871, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str, 1, orcid.org/0000-0002-6751-6592

Hrynychak I.I., National Transport University, Assistant Department of Road Building Materials and Chemistry, e-mail: ilonaborovyk@ukr.net, tel. +380969786226, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str, 1, orcid.org/0000-0002-8382-3824

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Бубела А.В., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, в.о. декана факультету транспортного будівництва, Київ, Україна.

Дюжилова Н.О., кандидат технічних наук, Державна інспекція архітектури та містобудування України, заступник Голови, Київ, Україна.

REVIEWER:

Slavinska O.S., Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, Acting Dean of the Faculty Transport Construction, Kyiv, Ukraine.

Diuzhylova N.O., Ph.D., Darzhavna Inspektsiia Arkitektury ta Mistobuduvannia Ukrayiny, Deputy Head, Kyiv, Ukraine.

ЕВОЛЮЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ЗА РОЗВИТКОМ РОЗУМНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

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

EVOLUTION OF INTELLECTUAL TRANSPORT SYSTEMS ON THE DEVELOPMENT OF SMART TECHNOLOGIES

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 in Engineering, National Transport University, Kyiv, Ukraine, olenakomisarenko@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7436-6473

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

Постановка проблеми.

Статистика поточних офіційних звітів на всіх ієрархічних рівнях полієргатичних виробничих організацій (ПЕВО), включаючи державні, міжнародні та резолюції ООН, свідчить, що незважаючи на різноманітні значні зусилля та кошторисні витрати ресурсів для покращення життя та безпеки транспортних сполучень корінних достовірних фактів стосовно задоволення інтелектуального агенту системи не відбувається. Відомий також факт, що існують окремі водії, пілоти, оператори ВТЗ, які багато разів були на межі аварійних подій. Але за тривалий час роботи (40-50 років за кермом) вони ніколи не були у переліку каліцтва людини та пошкодження машини у чисельних ДТП, зафіксованих офіційними документами [1, 2]. Такий практичний досвід у межах техногенної діяльності означає, що одночасно й паралельно відбуваються події, які суперечить природній безпеці людини та стану ВТЗ. Частіше надзвичайні, екстремальні, різноманітні впливи конкретного довкілля ВПС у даному місті порушували функціональну стійкість діяльності біо-еко-соціальних представників ноосфери. Значна кількість осіб за кермом ВТЗ влучали в зону НОН й мали всі наслідки катастрофічних, аварійних подій. Лише поки ще незначна кількість досвідчених, навчених тривалою працею за кермом, осіб за кожним рейсом, на різноманітних маршрутах, у небажаних погодних умовах життя встигали за трансверсальними траєкторіями гарантувати собі, пасажирам, вантажу стан БОН. Тому такий корисний приклад за допомогою сучасних засобів ЦІТТ треба зафіксувати у пам'яті особливо роботів зі штучним інтелектом для інтелектуальних транспортних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальний висновок зі швидкозростаючими обсягами закордонних та вітчизняних джерел (вказемо лише [3-18]) дозволяє стверджувати про доцільність кооперації, узгодження та інтеграції зусиль: науковців, освітян, конструкторів, проєктантів, чисельних ІАС та всіх інших без обмежень учасників еволюційного розвитку інтелектуального агенту системи за потреб ноосфери. Україна, як член ООН, проголосила курс на європейську інтеграцію та зобов'язалася здійснити реформи для цифровізації інформаційно-телекомунікаційних технологій (ЦІТТ). Провідні світові держави розглядають дану діяльність за головним пріоритетом у задачах глобальної національної безпеки. Майже всі види діяльності існуючих полієргатичних виробничих організацій у межах означених повноважень й розділів функцій за рангами повномасштабного управління у різних галузях кожної держави вирішують поточні, специфічні задачі. Найбільші успіхи відомі з використанням прогресивних комп'ютерів, гібридних комплексів та підсистем у межах Інтернет [1-5].

Тому актуальність подальшого підвищення ефективності засобів ЦІТТ та особливо бортових інформаційно-керуючих комплексів (БІКК), що інтегрують роботи AIR – управлінці оперативними real-time процесами під час транспортної роботи ВТЗ за потреб інтелектуального агента системи стимулює прискорення публікації конкретних частин досліджень. Потік публікацій буде зростати до

появи коректних переваг – ери глобальної інтелектуалізації систем ноосфери з інноваційними властивостями на пріоритетних напрямках безпеки життя без відмов, банкрутств, аварій, катастроф з учасниками транспортних сполучень у середовищах: космос, атмосфера, водні поверхні та глибини, наземні та підземні коридори спеціальних ТПК з робочими обмеженими зонами виробництва.

Обґрунтування проблеми. Інтелектуалізація суспільних знань зачіпає всі сфери єдиного інформаційного простору (ЄІП) ноосфери на базі smart-взаємозалежностей. Гостра потреба в дослідженнях впливу цифровізації (бінаризації з системами числення (0,1) для описів у цифровій пам'яті AIR) зачіпає: правові, організаційні, кадрові, бізнес, управлінський менеджмент та інші (за даною темою допоміжні); види взаємовідношень, які реально впливають на робочі функції інтелектуального агенту системи; результуючу ефективність держави, полієргатичної виробничої організації, конкретного інтелектуального агенту системи, що бере участь у транспортній технології.

Нагальна вимога до засобів формування, зберігання, застосування саме визначальної для прийняття техніко-технологічних рішень і подальших оперативних прискорених реалізацій (можливо групою AIR) сило-енергетичними засобами (ефекторами) стимулює подолання обчислювальних обмежень за наявною пам'яттю процесорами та засобами обробки Big Data [1-4, 9, 16].

Таким чином, першочерговими стають питання описів просторово-часової ситуативної обізнаності (Space Time Situational Awareness – STSA). Сутність, особливість та специфіка (СОС) фіксуємої обізнаності для людини – особи, що приймає рішення (IAS – ОПР) та для корисного робота smart AIR полягає в одночасному двоїстому описі. Для всіх необхідних робіт в одночасному кодуванні різноманітних знань, досвіду, вмінь, що вже накопичені у базах знань (БЗ) та базах даних (БД) на різноманітних серверах, у вигляді smart Space Time Situational Awareness – STSA кожному потрібне, як оперативна когнітивна карта: завдань і обмежень; цілей БОН та ознак НОН; доцільно у даній ситуації діяти згідно з регламентом – чи краще змінити стани та ухилитися від загроз наближення НОН. Але потрібний прискорений, раціональний smart вибір (за всіх раціонально існуючих ризиків вимог та обмежень) не може з'явитися, якщо явно відсутні достовірні функції Space Time Situational Awareness – STSA для AIR. Нагадаємо факти, що краще людини (наприклад, гросмейстера – чемпіона) роботи вже грають у шахи з обмеженнями у часі.

Мета та задачі дослідження. Подолати відомі проблеми чисельного моделювання взаємозалежностей між гетерогенними об'єктами складних динамічних систем (СДС) для сучасного етапу еволюційного розвитку інтелектуальних транспортних систем. Доцільно прискорити швидкість робіт, що зараз реально обмежена у наслідок різкого зростання Big Data та обчислювальної здатності потрібних процесів ЦІТТ для задоволення інноваційних вимог суспільства. Визначити переваги символічних кодових знань, вмінь та практичного досвіду застосування бінаризованих понять, що існують в умовах ризиків та невизначеності факторів незалежного нестационарного середовища Всесвіту. Формалізувати оперативну прискорену можливість отримувати гарантовані раціональні описи, як діяти зараз роботам AIR без зайвих витрат записів та наявних ресурсів, що також обмежені. Описати формалізовану сутність багатокритеріального й одночасно раціонального пошуку ланцюгів енергоресурсно ефективних техніко-технологічних рішень. Визначити реально гарантоване застосування понять функцій Space Time Situational Awareness – STSA лише за кожною конкретною темою цільового завдання для БІКК ВТЗ інтелектуальних транспортних систем. Довести новий науково-методичний апарат (НМА) для аналітичного конструктивного й оперативного синтезу з застосуванням AIR техніко-технологічних рішень у процесах нелінійної динаміки взаємодії на робочих просторах ТПК.

Об'єкт дослідження – процеси нелінійної динаміки в екстремальних режимах перехідних процесів переключення від попередніх дій просторово-часового континуума на нові smart-раціональні процедури реалізації цільових завдань для покращення стану інтелектуальних транспортних систем.

Предмет дослідження – моделі, методи та нові засоби науково-методичного апарату з функціями Space Time Situational Awareness – STSA для математичного символічного моделювання – доказу дій у синтезованих коригуваннях техніко-технологічних рішень для зменшення витрат коштовних ресурсів на ефективне врахування ризиків та загроз нестационарного оточуючого довкілля ВПС. Архітектура ЦІТТ, що забезпечує AIR оперативно природно працювати зі структурами Space Time Situational Awareness – STSA за принципами прояву самоорганізації та синхронізації форм (зовнішніх від середовища та внутрішніх активованих агентів СДС) сил та моментів енергетичної взаємодії у перехідних процесах зміни станів у просторі та часі спільного режиму надійного функціонування за даними цілями. Гармонічна повнота системних принципів (економічності, екологічності, енергоефективності, ергатичної надійності) прискорено діяти у критичних ситуаціях за

означеними складовими теми, об'єкту і предмету дослідження, що сформульовані як завдання для розвитку, інтелектуальних транспортних систем.

Методи досліджень. Аналіз умов, коли на принципах самоорганізації у єдиному інформаційному просторі з відображенням сенсорних відчуттів AIR як структур конфігурацій відбуваються природні взаємодії об'єктів СДС та факторів ВПС у межах цілого ТПК.

Синтез інноваційних структурних станів лише з активізацією внутрішніх конструктивних компонентів AIR. Оцінювання прогностичних варіантів витрат ресурсів та наслідкових корисних потенціалів згідно з обґрунтованими типами обмежень граничних рухів та раціональності перехідних поточних оперативних змін для прийняття рішень автоматичного балансування у пікових режимах споживання кошторисного енергетичного ресурсу. Прогнозування можливих сценаріїв згідно з обраними структурно-функціональними формами організації життєдіяльності на принципах smart-взаємозалежностей у межах інтелектуальних транспортних систем майбутнього.

Основні результати дослідження. Сучасні та майбутні найбільш актуальні транспортні природні комплекси (ТПК) визначаються ускладненнями нелінійної взаємодії елементів складної динамічної системи (СДС) [5] та факторами незалежного впливу нестационарного зовнішнього навколишнього оточуючого середовища (ЗНОС) необмеженого Всесвіту.

Початковий етап цифровізації знань AIR за потреб інтелектуальних транспортних систем. Умови енергоресурсної ефективності ТПК та більш масштабних мереж з різноманітними фрагментами єдиної цілісної системи, що розвивається, обмежені багатьма критеріями: глобальними стратегічними на тривалі терміни (30-40-50 років) експлуатації у ЗНОС ВПС; макротактичними для комплексних ефектів у споживачах продуктів, що постачаються; локально мікро- чи нано-операційними процесами взаємодії у реальних фактичних конструктивних елементах СДС, що реагують на зовнішні, загрозливі, збурення протягом кожної доби означеного режиму транспортування продуктів у межах ТПК за потреб масових споживачів.

Перший етап символізації базових понять. Означені три категорії поточних умов за призначенням ТПК за чотирма суттєвими підсистемами цілісної повної єдиної Е системи прийняття конкретного техніко-технологічного рішення можна класифікувати у вигляді кортежів:

$E = \langle E1, E2, E3, E4 \rangle$, де E – узагальнена повна ефективність, що законна, достатньо обґрунтована й прийнята для гарантування функціональної стійкості, живучості, надійності, еволюційної привабливості за реальних першочергових переваг;

$E1$ – економічність (глобальні, макроекономічні, ринкові, конкурентоспроможні) показники критеріїв ефективності набувають першочерговість у бізнесі та транспортних технологіях;

$E2$ – екологічні критерії показників на всіх ієрархічних рівнях природи без руйнування всіх істот зараз вже обов'язкові для захисту життя біорізноманіття;

$E3$ – енергетичні критерії показників обов'язкових переваг застосованих ресурсоефективних видів енергії забезпечують привабливе гарантування (нормативних, перехідних, екстремальних але без відмов, аварій, катастроф) замовлень для режимів транспортування;

$E4$ – ергатичні (людина-машина взаємодії – НМІ) закони, правила, регламенти, а також суспільні показники, що обов'язкові при розподілах функцій кожного ТПК між обслуговуючим та споживаючим (товар-продукт) персоналом та складовими будівельної механіки за потреб інтелектуальних транспортних систем.

Сутність, особливість та специфіка кожного кортежу E_i , $\forall i = \overline{1,4}$ на екранах смартфонів, де відображають у вигляді зображень базових споруд для машин, механізмів та засобів ЦІТТ. Таким чином, масове розповсюдження смартфонів забезпечує регламентні умови напружено-деформованого стану (НДС) для всіх взаємодіючих матеріалів (твердих тіл, речовин, рідини) у межах нелінійної динаміки та реальних коливань наприклад, закріплених трубопроводів, під впливами факторів ЗНОС-ВПС. Реальна масовість та всепроникнення смартфонів до дитячих, шкільних та вищих навчальних заходів держав обумовлює побудову інноваційної перспективності smart-транспортної технології кожного майбутнього кроку еволюції інтелектуальних транспортних систем.

Ресурсоефективність техніко-технологічних рішень існує, лише коли вони обумовлені реальними фактами та практично апробованим досвідом застосування наукових методичних апаратів (НМА), що зафіксовані як наукові математичні закони символічного моделювання динаміки об'єктів області оригіналів складних динамічних систем [4-7, 11, 17-19].

Визначальний принцип класичної механіки фіксує у попередньо означеному ПЧК відносність просторів Галілея та достовірність рівнянь Ньютона наступним чином: перетворення Галілея інваріанти у сенсі незмінності сутності при переході від однієї інерційної системи відліку до іншої з

різними осями координат. Можливі інші форми характеристики принципу відносності Галілея. Наприклад, для прискорених дій у критичних ситуаціях за smart-реченнями:

- 1) усі інерційні системи відліку рівноправні, однаково точні;
- 2) усі механічні явища в різних інерційних системах відліку існують однаково без зміни сутності;
- 3) шляхом еталонних іспитів, випробувань, тестування не існують можливості довести однозначність механічного природного стану “чи покоїться дана обрана людиною система відліку чи вона навпаки рухається прямолінійно й рівномірно”, але відносно конкретно чого, якого особливого полюса;
- 4) усі закони природи й механіки однаково відображають сутність, особливість, специфіку властивостей явища руху в будь-якій формі тому, що в інерційних системах відліку просторово-часові взаємозалежності континуума, як повного, цілісного існуючого описуються однаково мовою математичної фізики.

Таблиця 1 – Класифікація техніко-технологічних рішень
Table 1 – Classification of technical and technological solutions

Ранг пріоритету	Е1 Сфера економіки ТПК	Е2 Сфера екології ТПК	Е3 Сфера енергетики ТПК	Е4 Ергатична (НМІ) сфера ТПК
1	Тривалість будівництва. Вартість інвестицій, капіталовкладення	Норми забруднень ґрунту, водних ресурсів, атмосфери, біорізноманіття	Еволюційне накопичення НДС. Розвиток тріщин, напрацювання на відмови	Стратегія й тактика програмного тривалого розвитку
2	Min-max діапазони: прибуткова ціна продукту на ринку. Собівартість експлуатації, види податків	Ступені захисту споруд, машин і механізмів, фундаментів закріплення труб	Продукти нафто речовини, паливо, теплоносії, хімічні сполуки, енергія коливань	Річні плани-звіти Інфраструктурні будови, робочі міста та зони
3	Фактори відомих локальних RISKS. Інтенсивність відмов обраного матеріалу, аварій, катастроф, гарантована надійність	Норми захисту від впливу викидів на оточуючу екологію, людей, тварин, птахів, біоорганізмів	Різноманіття процесів й моменти взаємодій на механічні зміни коливань, лінійні площини, об'ємні та хвильові взаємодії	Оперативно-диспетчерське управління добовими (24 год) перехідними (5-10-15) режимами
4	Кількість персоналу вахт керування, ремонтних бригад, аварійних служб	Витрати на обізнаність, навчання, тренаж, періодичність	Показники амплітуди: частотні, фазові, поляризаційні	Показники ймовірності $p+q=1$ Життєздатність функціональна стійкість

Розумно й доцільно, наприклад, за поняттями теорії множин і кортежу модельні зображення застосовувати у вигляді опису (S, P, R), де трійка поєднає у цілісному повному явищі: S – об'єкти, що складають споруди, об'єкти та стан СДС; P – властивості, що присутні кожному елементу, компоненту чи складовій частці ергатичної складної динамічної системи; R – відношення, що фіксують просторово-часові зміни, варіації, еволюційні перетворення між складовими частками СДС, що обумовлюють відповідні реакції у означеному ПЧК, як наслідок взаємодії на причинні фактори впливу ВПС.

Таким чином, сили парної F чи F^1 взаємодії двох матеріальних математичних точок (саме це є ідеалізація, абстракція, наукова згода) інваріанти (не фізичних, а лише описових) відносно математичних перетворень Галілея у вигляді істинності та правди тотожності $F = F'$, де F та F' – сили в інерційних S та S' системах відліку. За принципом точності опису СОС явища взаємодії поняття сили F чи F' означає опис розмірностей у формалізмах запропонованого кодування. Для [8, 10, 17-19] інших понять єдності у ПЧК форм взаємовідношень у зафіксованому SPR об'єкті задачної СДС доцільно застосовувати приклади відомих символічних формул $F = ma$, де m = маса; a прискорення $= \frac{dv}{dt} = \frac{d^2r}{dt^2} = a' = \frac{dv'}{dt} = \frac{d^2r'}{dt^2}$.

Символьні описи за правилами алгебри для операцій у галузі модельних зображень забезпечують процедури перетворень P, S, d з [6-11] з однорідними індексами. Скорочені символічні описи понять, наприклад, $E = mc^2$ це енергія або момент сили, доцільно обумовлюють прикладання до маси m на контактній L відстані сили F чи F' . Конкретне різноманіття, одноразово будь-яка механічна сила залежить математично лише від різниць координат r та r' радіусів векторів точки M у системах S та S' відліку вимірювань, а також різниць швидкості ΔV_{12} . Таким чином для однакової пари (1-2) точок в будь-яких інерційних S та S' системах відліку, які пов'язані між собою згідно постулату абсолютності $t' = t$ часу перетвореннями Галілея маємо символічні описи $\vec{r}' = \vec{r} - \vec{v}t$. За потреб декомпозиції за евклідовим трикутником можливі знання проєкцій $x' = x - v_x t, y' = y - v_y t, z' = z - v_z t, v = v' + c, v = \frac{dr}{dt}, v' = \frac{dr'}{dt}, c = cost$. Поняття швидкість руху системи S' відносно обратної S системи спрощують кінематичні характеристики умовного абсолютного, переносного й відносного руху в різних умовах відліку. В нерухомій абсолютній $A \xi, \beta, \zeta$ системі параметризуємо проєкції функціями часу $\xi = \xi(t), \beta = \beta(t), \zeta = \zeta(t)$, як складні динамічні природні явища гетерогенного цілісного прояву.

Для відносного руху аналогічно $O(x, y, z)$ маємо функції $x = x(t), y = y(t), z = z(t)$.

Нехай маємо схематично зображену розрахункову конструктивну схему (РКС) для взаємовідношень у S та S' системах умовного для G тіла, що має M точку. Тоді у тривимірному евклідовому просторі, що має власні точки (x, y, z) з описом дійсних чисел, можливо використовувати різні системи відліку, а також криволінійні координати. Аналітичний зв'язок між прямокутними декартовими координатами $O(x, y, z)$ конкретної точки (x, y, z) та криволінійними координатами символічні поняття фіксують, наприклад, x^1, x^2, x^3 , де верхні індекси лише позначають збереження черги у порядку опису (x, y, z) для тотожних відображень. Символи, що ліворуч та праворуч, різні, але вже для різних застосувань інформаційних образів визначень $(x, y, z) \equiv (x^1, x^2, x^3)$ тотожності поняття об'єкта оригіналу. Таким чином, можливі наступні формули $x^1 = x^1(x, y, z), x^2 = x^2(x, y, z), x^3 = x^3(x, y, z)$, де таким чином означені функції характеризують повний образ (заданий) об'єм області V простору. Тому ці функції однозначні, неперервно диференційний та якобіан $\frac{\partial(x^1, x^2, x^3)}{\partial(x, y, z)} \neq 0$ дозволяє продовжувати аналітичні перетворення, для процедур аналізу й синтезу, з необхідного повернення у область оригіналів.

Другий етап логічних істин. Відомий вислів «абстрактної істини немає – істина завжди конкретна» належить до фундаментальних основ теорії (логіки) та практики (процесів дії) парадигмального науково-технічного простору. Він завжди тривалим часом еволюціонує разом з потребами споживання послуг, товарів, продуктів суспільств ноосфери [1-3]. Кожне окреме речення стосовно інфраструктурних фрагментів ТПК містить відповідні фіксовані змінні. Символи за певним висловом дії функції також фіксують форми логічного предиката сенсу. Символьні (лінгвістичні x, y, z вказівки) – це змінні (позиції, відстаней, прискорень, сил-моментів, потужностей – енергій) у межах n -лінійного предикату. В описі вони дійсно фіксують узагальнену сутність (сенса, подібність) певного визначеного об'єкта складної динамічної системи (СДС). Конкретна назва, ідентифікатор, паспорт визначеного об'єкта ТПК, наприклад S , дозволяє однозначно розширювати детальний його опис за кваліфікаційними, $S P R$ реченнями. Таким чином, множинні складові $si \in S, \forall i = \overline{1, n}$ елементів ТПК мають власні, існуючі природно, $P_{ij} \subset P_i, \forall j = \overline{1, m}$ (property) властивості, а також конкретні, міжгрупові, $R_{ijk} \subset R_{ij}, \forall k = \overline{1, l}$ (releation) відношення. Саме така трійця за формою логічного підпорядкування ефективна за найменшої кількості знаків через узагальнені $\{S P R\}$ символи (у математичному сенсі логіки збереження, закріплення). Запропоновані поняття та описи гарантують інваріантність декомпозицій сутності, особливості та специфіки (СОС) детальних часток СДС з назвою фрагмент ТПК. Науковий зміст понять парадигмальних відношень над висловлюваннями стосовно конкретів ТПК математично фіксується завдяки наступних операцій [5-7, 11]: кон'юнкція,

диз'юнкція, імплікація, заперечення. На базі цих базових операцій логіки можливі інші додатки, як похідні від зазначених раніше процедур. Так імплікація, як бінарна операція над висловлюваннями А і С, породжує нове висловлювання у формі опису $A \rightarrow C$, де стрілка $\rightarrow$ це знак її (implicato) дії. Повна множина можливих парадигмальних сполучень позначимо як висловлювання <<якщо А, тоді С>> у таблиці.

Таблиця 2 – Множина можливих парадигмальних сполучень
Table 2 – Many possible paradigmatic combinations

№	Пара компонентних даних		Результат
	А перший антецедент antecedens	С другий консеквент consequent	$A \rightarrow C$ імплікація implicato
1	1i	1i	1i
2	1i	0x	0x
3	0x	1i	1i
4	0x	0x	1i

Аналіз таблиці гарантує однозначність узагальнення інтерпретованого висновку. Існує хибна друга імплікація (символ x та 0) конкретного речення тоді і тільки тоді, коли А дійсно за фактами життя істинне (символ І та 1), а в той час С суперечливо хибне. Науковий принцип двоїстості широко застосований у проєктивній геометрії. Наприклад для площин з пучками двоїстими є наступні А та С твердження.

А: дві різні точки M_1 та $M_2 \neq M_1$ інцидентні тільки одній $M_{1,2}$ прямій. С: дві різні прямі M_{ij} та M_{kl} інцидентні тільки одній $(M_0 \subset M_{ij}) \cap (M_0 \subset M_{kl})$ спільній M_0 точці околу полюса.

Трійця незалежних речень (1, 3, 4) стосовно можливих ситуацій фіксує істинність табличної чотиримісної фіксації повного конфігураційного простору одного компонента. Відомо, що рух m компонент у R^n мірному просторі однозначно є описом руху однієї узагальненої точки в R^{mn} просторі [3, 18] дослідження доцільних дій за потреб інтелектуальних транспортних систем.

Практика реальних подій дуже часто свідчить, що при переходах від однієї системи відліку до другої іншої з інакшою точкою бачення, можливі зміни фіксації та опису СОС, оцінок, $(i \rightarrow x)$, $(x \rightarrow i)$, в залежності від практики груп перетворень координатних осей розрахункової конструктивної схеми (РКС) навантаження об'єктів ТПК. Наприклад, є абсолютна $A(\zeta, \eta, \xi)$ (сферично-географічно у геліо-геопросторі відношень руху) система відліку. Для опису конкретної визначальної точки М рухомого тіла G ТПК у певному локальному просторі також реально застосовуємо відносну декартову прямокутну $O(x, y, z)$ ортогональну систему відліку. Обидві різні системи відліку потрібні для координації керованих рухів об'єкта за цілями місії [12, 16-19].

У процесах наступних науково-технічних досліджень нелінійної динаміки символічні описи функціонування реальних фрагментів ТПК завершують перший етап цифровізації. Тоді інтелектуальна транспортна система спроможна на другому етапі застосовувати чисельні знання попереднього досвіду [6, 11, 18, 19]. Базовими є математичні поняття та моделі, наприклад простори типу (n_a^b, m_c^d, r_e^f) для фіксації конкретної конфігурації R^{mn} множинах подій. Сутність, особливості та специфіка рухів у просторі вказаного типу знання. Опис доцільної множинної потужності складається з n точок, як вузлів можливого пучка віртуальних динамічних змін та переміщень. Між існуючими n точками можливі m прямих за принципами парних конструктивних відношень однозначності ситуаційної взаємодії. Групи точок та прямих разом можуть утворювати g площин або граней багатокутників за конкретним гетерогенним проявом конфігурації складових компонент СДС. Відомо, наприклад, (теорема Дезарга), конфігурація Дезарга з 10 точок ($n=m$) та 10 прямих за наступних умов трійці. Через кожен Дезарга точку проходять три прямі. На кожній прямій лежить три точки ($k=e$) й у той же час однаково число K прямих через кожену точку. На кожній прямій лежить однакове число (e) точок. Таке правило фіксує існування індексованої цілісної однозначно площині або G грані. Символьне визначення фіксує таку описану 2D плоску конфігурацію. Комбінаторна оцінка $C_{10}^3 = \frac{10!}{3!7!} = 120$ можливих наборів варіантів.

Для об'ємних подій згідно з К.Рейне відомий конфігураційний простір, який можна відображати на моделі куба. Дійсно, простий куб має 8 вузлових точок, відповідно 12 прямих ребер, 6 граней площин у 3D просторі. За теоремою Ейлера $(B+G)-P=(8+6)-12=\text{const}=2$ така топологія

інваріантна до масштабів відстаней. Конфігурація К.Рейне доповнює класичний звичайний куб до 12 точок з 12 площинами. Уявні додаткові компоненти 6 (шістки) створюються наступним чином. Беруть наявні 8 вершин куба, доповнюють його точковим центром симетрії та ще трьома нескінченно далекими точками i, j, k , які належать умовно паралельним ребрам реперного куба. Отримуємо $n=8+1+3=12$ власних і невластих точок. За таким принципом беруть 6 базових граней куба й додаткові 6 площини, що проходять через діагоналі протилежних ребер. В цьому випадку перетинаються $G=3+3=6$ площин. Причому в кожній площині лежатиме по 6 точок. Символьне позначення кодом 12_6 фіксує таку 3D конфігурацію. Комбінаторна оцінка точно надає число $C_{12}^6 = \frac{12!}{6!6!} = 924$ наборів варіантів. Зрозуміло, що реальний природний прояв елементарних типових конфігурацій чи 10_3 на 2D площині, чи 12_6 у 3D-об'ємі простору можуть на принципах подібності структурних відношень утворювати необмежену (для практики сучасних ресурсів техніки і технологій інтелектуального агента системи) множину. Фізичний зміст складності об'єктів, речей, угруповань у незалежному Всесвіті визнають за стандартами міжнародної метрології. Наприклад, для лінійного просторового розміру 1 м поняття відстані, довжини, шляху. Це базове фундаментальне поняття охоплює діапазон від $1,6 \times 10^{-35}$ м (розмірна одиниця довжина Планка) до $46,25 \times 10^{60}$ м довжин Планка для оцінки розміру $7,4 \times 10^{26}$ м можливого оцінювання потужності організації Всесвіту.

Саме граничні умови на метричні розміри об'єкта й предметів досліджень визначають точне обмежене значення обчислювальної складності задач інтелектуальних транспортних систем. Для обґрунтування раціональної ресурсоефективності результуючих техніко-технологічних рішень (ТТР) гостро потрібні знання [9] відповідних багатовимірних цільових еволюційних алгоритмів (МОЕА – multi-objective evolutionary algorithm) роботів та в цілому інтелектуальних транспортних систем.

Третій етап цифровізації для математичного символного моделювання є наступні поняття теорії множин і топології.

Якщо (X, d) певний метричний простір на множині X , де метрика d на X породжує топологію, то можливо мати відкриту частку, як об'єднання (скінченне чи майже нескінченне) понять за сенсом відкритих метричних сфер-шарів $B(x, r) = \{y \in X : d(x, y) < r\}$, $\forall x \in X, r > 0$. Радіус r відносно центра $x_0 \in X$ опорного реперу. Замкнена множина визначається як доповнення відкритої множини. Метрична топологія на (X, d) це множина всіх відкритих X множин. Поняття метрика відображає зв'язок з мірою (не обов'язково з відстанню). Важливіші властивості метризації пов'язані з поняттями: транзитивність, функція, значення кількісне (цифра) або якісне (символьне кваліфікаційне оціночне). Замкнений метричний інтервал між x та y – це множина $R(x, y) = \{z \in X : d(x, y) = d(x, z) + d(z, y)\}$.

Граф сусідства з множинами вузлів X , де x, y позначаємо як ребро, якщо $|x, y| = \{x, y\}$, що відображає умови відсутності третьої точки $z \in x$, для якої виконувалася б тотожність $d(x, y) = d(x, z) + d(z, y)$ тобто в межах сусідства не має зайвого Z . Модулярний метричний простір з властивостями для трьох різних точок $x, y, z \in X$, якщо існує $u \in |x, y| \cap |y, z| \cap |z, x|$.

Метричний чотирикутник для $x, y, z, u \in X$ чотирьох різних точок. Якщо $x, z \in |x, z|$ та $y, u \in |y, u|$, тоді тотожність $d(x, y) = d(x, u) + d(u, y)$ та $d(x, z) = d(x, u) + d(u, z)$.

Більш детально описи [12-19] понять: «Безпечна дальність бачення горизонту до загрози», «Відстань гальмування чи лише маневрування ВТЗ», «Лег пройденної відстані», «Фронт наступних завдань у обмежений час» буде досліджено у окремій публікації.

Четвертий етап випробувань, доведення та сертифікації smart-складових компонентів та в цілому початок експлуатації серійних фрагментів AIR для інтелектуальних транспортних систем.

На попередніх трьох етапах, включаючи початковий, базові поняття та теоретичні напрацювання за парадигмальним НМА різноманітних сенсорів безпеки практично інтегровано формують нову якість експлуатації AIR та фрагментів еволюційного розвитку інтелектуальних транспортних систем. Фундаментальна роль понять полягала у визначенні та обґрунтуванні основ STSA в умовах ризиків та невизначеності реального прояву гетерогенних факторів ВПС. Навпаки, на четвертому суто практичному конструктивному етапі увага повинна бути спрямована на технологічні аспекти розподілу функцій на межі НМІ та в середині підструктур AIR на рівнях API. Застосування програмованих ситуативно інтерфейсів взаємодії.

Усі існуючі вимоги конкуренції між аналогами, прототипами та серійними класами, видами, типами різноманітних роботів для інтелектуальних транспортних систем найбільше зміщуються у нову еру smart-телекомунікації без зростання витрат ресурсів у сферах різноманітного корисного застосування. На цьому етапі інтеграція гетерогенних на семи рівнях організації smart-процесів та визначальних перетворень потребує новий глобалізований рівень обізнаності всіх учасників

раціональної взаємодії інтелектуальних транспортних систем. Вимоги теорії до підвищення якості та реальної метрологічної точності, швидкості, прискорення за лінійних, поверхневих та об'ємних змін у реально єдиному інформаційному просторі зміщуються у квантову сферу бінаризації та кодових понять. Навпаки, у ринкових глобальних умовах бізнес буде вимагати подальшого мінімуму витрат на досягнення максимальної раціональної користі.

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 кожної символічноозначеної пари понять можливі майбутні реальні події суспільних поліергатичних виробничих організацій. Формалізовано умови одночасного прояву локальних майбутніх ризиків і впливів факторів динаміки природного середовища без форс-мажорних обставин у сфері оригінального обмеженого просторово-часового континуума. Моделювання в цілому відображає єдиний технологічний природний комплекс, а також доводить, де, коли та як існує практика реалізації прогностичних 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 у межах інтелектуальних транспортних систем.

Зафіксовано наукову двоїстість у штучній специфічній сфері алгебраїчних систем ефективного моделювання інтелектуальних транспортних систем. Запропоновано на основі однозначних кодів цифрових інформаційних технологій вирішувати задачі практики інтелектуальних транспортних систем завдяки перетворень математичних зображень різноманітних гетерогенних об'єктів ПЧК згідно з доказовою апробованою теорією. Описано нову будову двоконтурної множини взаємодії між запропонованими програмно-апаратними комплексами ПАК_i, з'єднаними мережами Internet. Визначено механізми застосування наявних традиційних ЦІТТ та мовних ресурсів ІАС.

Запропоновано адекватно відображати результати синтезу інноваційних структурних композицій на аксіологічній основі алгебраїчних символічних зображень скінченного рангу. З метою швидких перетворень застосовувати алгебраїчну символізацію описів законів дії smart-роботів. Для точного відображення еволюції розумних технологій доцільна ситуаційна обізнаність ефективності попередньо накопичених властивостей кодованих структурних груп фрагментів, що самоорганізовані за мінімаксними критеріями індукованих інтелектуальних агентів цілісної інтелектуальної транспортної системи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні /http://ww.mns.gov.ua/content/annual_report_2013/html [Електронний ресурс]. Режим доступу :URL :<http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/175-2002%D0%BF/page>. (Заголовок з екрану).
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 15 лютого 2002 р., №175 «Про затвердження Методики оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру» [Електронний ресурс]. Режим доступу :URL :<http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/175-2002%D0%BF/page>. (Заголовок з екрану).
3. Huligen F., Soslyn C. Cybernetics and Second – Order Cybernetics // in: R.A.Meyers (ed), Encyclopedia of Physical Science and technology. Vol. 4 (3 rd ed.), Academic Press, New York, 2001. pp155-170 / <http://pespmcl.vub.ac.be/Papers/cybemetics-EPST.pdf>.
4. Баранов Г.Л. Телекомунікаційні технології на транспорті / Г.Л. Баранов, П.Р. Левковець. – К.: НТУ, 2007. – 448 с.
5. Баранов Г.Л. Структурное моделирование сложных динамических систем / Г.Л. Баранов, А.В. Макаров – К.: Наукова думка, 1986. – 272 с.
6. Баранов Г.Л. Комплексна адаптація швидкості руху високо маневрених транспортних засобів у нестационарному середовищі / Г.Л. Баранов, І.В. Тихонов, В.Р. Косенко, О.М. Прохоренко // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. – К.: НПУ, 2014. – Вип. 1. – С. 158-165.
7. Баранов Г.Л. Алгебраїзація предикативних понять для моделювання динаміки руху об'єктів водного транспорту / Г.Л. Баранов, І.В. Тихонов, О.М. Прохоренко // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2015. – № 6(40). – С.78-88.
8. Вагущенко Л.Л. Судовые навигационно-информационные системы. – Одесса, ЛАТСГАР, 2004. – 302 с.

9. Международный стандарт IEK/B031010-2009 – RiskManagement – Risk Assessment Techniques (IDT).
10. Шурыгин В.А. Основы конструктивного математического анализа / В.А. Шурыгин. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 328 с.
11. Баранов Г.Л. Комплексна інтеграція інформаційних процесів інтелектуальних транспортних систем для якісного гарантування безпечного руху у нестаціонарному середовищі / Г.Л. Баранов, І.В. Тихонов, Р.А. Габрук, В.Р. Косенко, О.М. Прохоренко // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. – К.:НТУ, 2015. Вип. 3. – С. 85-95.
12. Безпечність машин. Безпечні відстані для запобігання можливості досягнення небезпечних зон руками: ДСТУ EN 294-2001 – ДСТУ EN 294-2001. – [Чинний від 2002-03-01]. – К.: Мінекономрозвитку України, 2002. – 41 с.
13. Безпечність машин. Безпечні відстані для запобігання можливості досягнення небезпечних зон ногами: ДСТУ EN 811-2003 – ДСТУ EN 811-2003. – [Чинний від 2004-06-01]. – К.: Мінекономрозвитку України, 2004. – 25 с.
14. Безпечність машин. Мінімальні проміжки, щоб уникнути здавлювання частин людського тіла: ДСТУ EN 349-200 – ДСТУ EN 342-2002. – [Чинний від 2003-03-01]. – К.: Мінекономрозвитку України, 2003. – 32 с.
15. Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость Технические требования. Методы испытаний: ГОСТ Р 52302-2004. – (Национальный стандарт РФ). – [Введен в действие 2004-30-12]. – М.: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2004. – 56 с.
16. ДСТУ ISO 9001: Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2008, IDT). – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 18 с.
17. Костюченко Н.В. Эксплуатационные свойства мобильных агрегатов / Н.В. Костюченко, А.М. Плаксина. – Астана: КАТУ им. С. Сейфуллина, 2010. – 204 с.
18. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин / [Н.П.Артемов, А.Т. Лебедев и др.]; под. ред. М.А. Подригало. – Х.: Изд-во «Міськдрук», 2012. – 220с.
19. Поджаренко В.О., Василевський О.М., Кучеренко В.Ю. Опрацювання результатів вимірювання на основі концепції невизначеності. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 128 с.

REFERENCES

1. Natsionalna dopovid pro stan tekhnohennoi ta pryrodnoi bezpeky v Ukraini /http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2013/html [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu :URL :<http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/175-2002%D0%BF/page>. (Zaholovok z ekranu). [National report on the state of man-made and natural security in Ukraine /http://www.mns.gov.ua/content/annual_report_2013/html [Electronic resource]. Access mode: URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/175-2002%D0%BF/page>. (Title from the screen)].
2. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 15 liutoho 2002 r., №175 «Pro zatverdzhennia Metodyky otsinky zbytkiv vid naslidkiv nadzvychainykh sytuatsii tekhnohennoho i pryrodnoho kharakteru» [Elektronnyi resurs].Rezhym dostupu :URL :<http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/175-2002%D0%BF/page>. (Zaholovok z ekranu). [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of February 15, 2002, №175 "On approval of the Methodology for assessing losses from the consequences of emergencies of man-made and natural nature" [Electronic resource]. Access mode: URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/175-2002%D0%BF/page>. (Title from the screen)].
3. Huligen F., Soslyn C. Cybernetics and Second – Order Cybernetics // in: R.A.Meyers (ed), Encyclopedia of Physical Science and technology. Vol. 4 (3 rd ed.), Academic Press, New York, 2001. ppl55-170 / <http://pespmcl.vub.ac.be/Papers/cybemetics-EPST.pdf>.
4. Baranov H.L. Telekomunikatsiini tekhnolohii na transporti / H.L. Baranov, P.R. Levkovets. – K.: NTU, 2007. – 448 s. [Baranov G.L. Telecommunication technologies in transport / G.L. Баранов, P.R. Levkovets. – K.: HTU, 2007. – 448 p.].
5. Baranov H.L. Strukturnoe modelirovaniye slozhnykh dynamicheskikh system / H.L. Baranov, A.V. Makarov – K.: Naukova dumka, 1986. – 272 s. [Baranov G.L. Structural modeling of complex dynamic systems / G.L. Баранов, A.V. Makarov – K.: Scientific Opinion, 1986. – 272 p.].
6. Baranov H.L. Kompleksna adaptatsiia shvydkosti rukhu vysoko manevrenykh transportnykh zasobiv u nestatsionarnomu seredovyschi / H.L. Baranov, I.V. Tykhonov, V.R. Kosenko, O.M. Prokhorenko // Informatsiini protsesy, tekhnolohii ta systemy na transporti. – K.: NPU, 2014. – Vyp. 1. – S. 158-165. [Baranov G.L. Complex adaptation of the speed of highly maneuverable vehicles in a non-

- stationary environment / G.L. Баранов, I.V. Tykhonov, V.R. Kosenko, O.M. Prokhorenko // Information processes, technologies and systems in transport. – K.: НПУ, 2014. – Вип. 1. – P. 158-165].
7. Baranov H.L. Alhebraizatsiia predykatyvykh poniat dlia modeliuvannia dynamiky rukhu obiektiv vodnoho transportu / H.L. Baranov, I.V. Tykhonov, O.M. Prokhorenko // Naukovi zapysky Ukrainskoho naukovo-doslidnoho instytutu zviazku. – 2015. – № 6(40). – S.78-88. [Baranov G.L. Algebraization of predicative concepts for modeling the dynamics of water transport objects / H.L. Baranov, I.V. Tykhonov, O.M. Prokhorenko // Scientific Notes of the Ukrainian Research Institute of Communications. – 2015. – № 6 (40). – P.78-88].
8. Vahushchenko L.L. Sudovye navyhatsyonno-ynformatsyonnye systemy. – Odessa, LATSHAR, 2004. – 302 s. [Vagushchenko L.L. Ship navigation and information systems. – Odessa, LATSGAR, 2004. – 302 p].
9. Mezhdunarodnyi standart IEK/B031010-2009 – RiskManagement – Risk Assessment Techniques (IDT). [International Standard IEK / B031010-2009 – RiskManagement – Risk Assessment Techniques (IDT)].
10. Shuryhyn B.A. Osnovy konstruktyvnoho matematycheskoho analiza / V.A. Shuryhyn. – M.: Edytoryal URSS, 2004. – 328 s. [Shurygin B.A. Fundamentals of constructive mathematical analysis / V.A. Shurygin. – M.: Edytoryal URSS, 2004. – 328 p.].
11. Baranov H.L. Kompleksna intehtatsiia informatsiinykh protsesiv intelektualnykh transportnykh system dlia yakisnoho harantuvannia bezpechnoho rukhu u nestatsionarnomu seredovyschi / H.L. Baranov, I.V. Tykhonov, R.A. Habruk, V.R. Kosenko, O.M. Prokhorenko // Informatsiini protsesy, tekhnologii ta systemy na transporti. – K.:NTU, 2015. Vyp. 3. – S. 85-95. [Baranov G.L. Complex integration of information processes of intelligent transport systems for quality guarantee of safe traffic in a non-stationary environment / G.L. Baranov, I.V. Tykhonov, R.A. Habruk, V.R. Kosenko, O.M. Prokhorenko // Information processes, technologies and systems in transport. – K.: НТУ, 2015. Вип. 3. – P. 85-95].
12. Bezpechnist mashyn. Bezpechni vidstani dlia zapobihannia mozhlyvosti dosiahnennia nebezpechnykh zon rukamy: DSTU EN 294-2001 – DSTU EN 294-2001. – [Chynnyi vid 2002-03-01]. – K.: Minekonomrozvytku Ukrainy, 2002. – 41 s. [Safety of machines. Safe distances to prevent the possibility of reaching dangerous areas by hand: DSTU EN 294-2001 - DSTU EN 294-2001. – [Effective from 2002-03-01]. – Kyiv: Ministry of Economic Development of Ukraine, 2002. – 41 p.].
13. Bezpechnist mashyn. Bezpechni vidstani dlia zapobihannia mozhlyvosti dosiahnennia nebezpechnykh zon nohamy: DSTU EN 811-2003 – DSTU EN 811-2003. – [Chynnyi vid 2004-06-01]. – K.: Minekonomrozvytku Ukrainy, 2004. – 25 s. [Safety of machines. Safe distances to prevent the possibility of reaching dangerous areas with your feet: DSTU EN 811-2003 - DSTU EN 811-2003. - [Effective from 2004-06-01]. – Kyiv: Ministry of Economic Development of Ukraine, 2004. – 25 p.].
14. Bezpechnist mashyn. Minimalni promizhky, shchob unyknyty zdavliuvannia chastyn liudskoho tila: DSTU EN 349-200 – DSTU EN 342-2002. – [Chynnyi vid 2003-03-01]. – K.: Minekonomrozvytku Ukrainy, 2003. – 32 s. [Safety of machines. Minimum intervals to avoid squeezing parts of the human body: DSTU EN 349-200 – DSTU EN 342-2002. – [Effective from 2003-03-01]. – Kyiv: Ministry of Economic Development of Ukraine, 2003. – 32 p.].
15. Avtotransportnye sredstva. Upravliaemost y ustoichyvost Tekhnicheskyye trebovaniya. Metody ispytaniy: HOST R 52302-2004. – (Natsionalnyi standart RF). – [Vveden v deistviye 2004-30-12]. – M.: Federalnoe ahentstvo po tekhnicheskomu rehulyrovaniyu y metrolohiy, 2004. – 56 s. [Vehicles. Manageability and stability Technical requirements. Test methods: GOST R 52302-2004. – (National standard of the Russian Federation). – [Entered into force 2004-30-12]. – Moscow: Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, 2004. – 56 p.].
16. DSTU ISO 9001: Systemy upravlinnia yakistiu. Vymohy (ISO 9001:2008, IDT). – K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2009. – 18 s. [DSTU ISO 9001: Quality management systems. Requirements (ISO 9001: 2008, IDT). – K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2009. - 18 p.].
17. Kostiuchenkov N.V. Ekspluatatsyonnye svoystva mobilnykh ahrehatov / N.V. Kostiuchenkov, A.M. Plaksyna. – Astana: KATU ym. S. Seifullina, 2010. – 204 s. [Kostyuchenkov N.V. Operational properties of mobile units / N.V. Kostyuchenkov, A.M. Plaksina. – Astana: KATU im. S. Seifullina, 2010. – 204 p.].
18. Metod partsyalnykh uskorenyi y eho prylozheniya v dynamyke mobylnykh mashyn / [N.P.Artemov, A.T. Lebedev i dr.]; pod. red. M.A. Podryhalo. – X.: Yzd-vo «Miskdruk», 2012. – 220 s. [The method of partial accelerations and its applications in the dynamics of mobile machines / [N.P. Artemov, A.T. Lebedev et al.]; under. ed. M.A. Burped. – X.: Publishing house "Miskdruk", 2012. – 220 p.].

19. Podzharenko V.O., Vasylevskyi O.M., Kucherenko V.Iu. Opratsiuvannia rezultativ vymiriuvannia na osnovi kontseptsii nevyznachenosti. Navchalnyi posibnyk. – Vinnytsia: VNTU, 2008. – 128 s. [Podzharenko V.O., Vasilevsky O.M., Kucherenko V.Y. Processing of measurement results based on the concept of uncertainty. Tutorial. – Vinnytsia: VNTU, 2008. – 128 p.].

РЕФЕРАТ

Баранов Г.Л. Еволюція інтелектуальних транспортних систем за розвитком розумних технологій / Г.Л. Баранов, О.С. Комісаренко, О.К. Войденко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Проблеми з безпеки руху неперервно зростаючої кількості високошвидкісних транспортних засобів еволюційно-поетапно обумовлюють розвиток розумних smart-технологій для побудови нових відношень в інтелектуальних транспортних системах наступних поколінь життєвих циклів ноосфери. Запропоновано застосовувати цілісне категоріально-функторне поняття «науково-методичний апарат» для розвитку за чотирма етапами теорії та практики функціонування бортових інформаційно-керуючих комплексів різноманітних інтелектуальних транспортних систем. Означено три категорії поточних умов за призначенням техногенно-природних комплексів за чотирма суттєвими підсистемами цілісної повної єдиної системи на кожному ситуаційному кроці для прийняття конкретного техніко-технологічного рішення за багатоцільових потреб різноманітних розподілених інтелектуальних агентів. Визначено, що вони взаємодіють на базі нових символічних відображень завдяки цифровим інформаційно-телекомунікаційним технологіям та Інтернет. Доведено, що символічна ситуативна обізнаність формальних описів типових станів, рішень, актів реалізації та фактів раціональної ефективності визначає точно, стисло, повно сутність, особливість, специфічних аксіологічних основ парадигмальної множинності математичної організації алгебраїчного структурного моделювання складних динамічних систем. Надано приклади фіксації символічних описів як необхідних та достатніх умов алгебраїчної подібності кожної означеної пари понять в області зображень для можливих майбутніх реальних подій у сферах взаємовідношень різних суспільних полієргатичних виробничих організацій. Формалізовано умови трансверсальних траєкторій ВТЗ для однокрокового прояву локальних загроз, ризиків, впливів факторів динаміки явищ природного середовища без форс-мажорних обставин у сфері оригінального локального просторово-часового континуума.

Зафіксовано наукову двоїстість символічної ситуаційної обізнаності у штучній сфері алгебраїзації та алгоритмізації засобів для роботів зі штучним інтелектом за регламентами транспортної системи та цифрової інформаційної технології. Запропоновано на основі однозначних зразків кодів єдиного інформаційного простору інтелектуального управління оперативно вирішувати проблемні задачі практики функціонування інтелектуальних транспортних систем. Описано доцільність багатокритеріальної ієрархічної взаємодії smart-учасників суспільних потоків, що за потреб real-time з'єднані Інтернет.

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

ABSTRACT

Baranov G.L., Komisarenko O.S., Voidenko O.K. Evolution of intellectual transport systems on the development of smart technologies. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The problems of traffic safety of the ever-increasing number of high-speed vehicles are evolutionarily gradually leading to the development of intelligent smart technologies to build new relationships in intelligent transport systems of the next generations of life cycles of the noosphere. It is proposed to apply the integral categorical-functor concept "scientific and methodical apparatus" for the development of the four stages of theory and practice of the onboard information and control systems of various intelligent transport systems. Three categories of current conditions for the purpose of man-made natural complexes for four essential subsystems of a complete complete unified system at each situational step to make a specific technical and technological decision for many targeted needs of various distributed intellectual agents. It is determined that they interact on the basis of new symbolic representations due to digital information and telecommunication technologies and the Internet. It is proved that symbolic situational awareness of formal descriptions of typical states, decisions, acts of realization and facts of rational efficiency determines precisely, concisely, completely the essence, feature, specific axiological bases of paradigmatic plurality of mathematical organization of algebraic structural modeling of complex dynamical systems. Examples of

fixing symbolic descriptions as necessary and sufficient conditions for algebraic similarity of each specified pair of concepts in the field of images for possible future real events in the spheres of relations of different social fields of ergatic production organizations are given. The conditions of transverse trajectories of VTZ for one-step manifestation of local threats, risks, influences of factors of dynamics of the phenomena of the natural environment without force majeure in the sphere of the original local space-time continuum are formalized.

The scientific duality of symbolic situational awareness in the artificial sphere of algebraization and algorithmization of means for robots with artificial intelligence according to the regulations of the transport system and digital information technology is recorded. It is offered to solve problem problems of practice of functioning of intelligent transport systems on the basis of unambiguous samples of codes of the uniform information space of intellectual management. The expediency of multi-criteria hierarchical interaction of smart participants of social flows, which are connected to the Internet for real-time needs, is described.

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, e-mail: baranovgl2018@gmail.com, тел. +380442807066, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 347а, <https://orcid.org/0000-0003-2494-8771>.

Комісаренко Олена Сергіївна, кандидат технічних наук, 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>.

Войденко Олексій 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 G.L., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Professor of the Department of Information Systems and Technologies, e-mail: baranovgl2018@gmail.com, tel. +380442807066, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko Str, 1, of. 347a, <https://orcid.org/0000-0003-2494-8771>.

Komisarenko O.S., PhD in Engineering, National Transport University, Assistant Lecturer of the Department of Information Systems and Technologies, e-mail: olenakomisarenko@ukr.net, tel. +380974638845, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko Str, 1, of. 347a, <https://orcid.org/0000-0002-7436-6473>.

Voydenko O.K., National Transport University, Postgraduate Student of the Department of Information Systems and Technologies, e-mail: mrjerichoo@gmail.com, tel. +380937451998, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovich-Pavlenko Str, 1, of. 347a, <https://orcid.org/0000-0003-0818-6172>.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Прокудін Г.С., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач 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, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Prokudin H.S., Doctor of Engineering Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of International Road Transportation and Customs Control, Kyiv, Ukraine.

Pisarchuk O.O., Doctor of Technical Sciences, Professor, Laureate of the State Prize of Ukraine in the field of science and technology. Professor, Department of Avionics, Educational and Scientific Institute of Aeronavigation, Electronics and Telecommunications, NAU, Kyiv, Ukraine.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ

Безверхий О.І., доктор фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, o_bezver@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0834-6335

Куценко О.І., Національний транспортний університет, Київ, Україна, alexkutsenko95@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0047-4874

FEATURES OF MOBILE APPLICATIONS FOR THE TRANSPORT INDUSTRY

Bezverhiy O.I., Doctor of physical and mathematical Science, National transport university, Kyiv, Ukraine, o_bezver@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0834-6335

Kutsenko O.I., National transport university, Kyiv, Ukraine, alexkutsenko95@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0047-4874

Вступ

В 1983 р. з появою першого мобільного пристрою з додатками Psion Organiser II технологія розробки мобільних додатків поширилась на всі сфери діяльності сучасного суспільства. Сьогодні мобільні додатки є невід'ємним помічником у повсякденному житті людини, наприклад, викликати таксі або провести банківську операцію, забронювати або купити квитки на потяг або літак, переглянути карту місцевості та прокласти маршрут з точки а в точку б, переглянути карту заправок та купити бензин, замовити вантажні перевезення можна за допомогою декількох кліків у смартфоні.

Додатки для транспорту мають такі функції: продаж квитків, планування подорожей, відстеження транспортного засобу, карти, платіжні інтеграції тощо. Транспортні додатки можна поділити на 2 великі групи: додатки загального призначення для громадського транспорту та додатки транспортних постачальників.

Додатки транспортних постачальників – це програми розроблені для певних транспортних агентств. На додаток до інформації про маршрут і розклад для планування поїздки, такі програми дозволяють купувати квитки онлайн (пасажир зазвичай повинен активувати віджет квитків, щоб скористатися цією функцією). інтегрований із системами бронювання квитків. Ці компанії займаються інвентаризацією місць, оскільки кожен квиток видається на конкретну поїздку.

Додатки загального призначення для громадського транспорту. Ці додатки для міської навігації зазвичай підтримують десятки чи сотні міст по всьому світу та надають інформацію про варіанти поїздки на роботу різними транспортними агентствами, включаючи компанії, що пропонують велопрокат та прокат автомобілів. Moovit, Transit та Citymapper є одними з найпопулярніших додатків цього типу. Додаток Moovit – найважчий тут: він зорієнтує понад 200 мільйонів людей у понад 2500 містах у понад 80 країнах.

1. Аналіз основних додатків

З настанням того, що було названо епою цифрового транспорту, нещодавнє дослідження Deloitte повідомляє про появу мобільних додатків у транспортній і логістичній індустрії. Від зростання платформ продажу квитків та авіабілетів до мобільних кур'єрських і транспортних систем, мобільні додатки надають можливість бізнесу та споживачам у всьому секторі – так багато, тому багато підприємств у його галузях будуються на основі мобільних транспортних додатків.

Технології в основному використовуються для надання пасажирам швидких, зручних і доступних послуг, а також допомагають власникам бізнесу підвищити швидкість роботи, продуктивність, ефективність і економію витрат на заторах. Такі функції, як планування маршрутів, відстеження в реальному часі, онлайн-бронювання та онлайн-платежі, не тільки змінили загальний досвід користувачів, але й значно покращили нинішню транспортну інфраструктуру з точки зору швидкості доставки та обслуговування, а також оптимізації даних.

Додатки можна поділити на наступні типи: оптимізація та планування маршруту, онлайн бронювання та відстеження, інформація про паркування, управління транспортом і автопарком, канал зв'язку, оптимізація розкладу транспортування/доставки.

Оптимізація та планування маршруту

Мобільні додатки, створені для оптимізації маршрутів, оснащені інструментами для звітів про трафік та навігації, допомагають користувачам вибрати найкращий доступний маршрут, який найбільше відповідає їхнім уподобанням на дорогу, поточній ситуації на дорогах, а також політикам контролю заторів. Оптимізація та планування маршрутів. Мобільні додатки, створені для оптимізації маршруту, оснащені інструментами для звітів про затори та навігацією, допомагають користувачам вибрати найкращий доступний маршрут, який найбільше відповідає їхнім уподобанням на дорогу, поточній ситуації на дорогах, а також правилам контролю заторів.

Онлайн бронювання та відстеження

Призначені для онлайн-бронювання транзитних або кур'єрських послуг, платформи онлайн-бронювання та відстеження покращують роботу клієнтів за допомогою таких функцій, як відстеження в реальному часі, сповіщення, онлайн-платежі, огляди та зворотний зв'язок тощо.

Інформація про паркування

Додатки з інформацією про паркування надають дані про найближчі доступні місця в режимі реального часу, що полегшує паркування водіям, які подорожують містом або місцевістю.

Управління транспортом і автопарком

Мобільні додатки для керування транспортом разом із відстеженням GPS, моніторингом розкладу, призначенням завдань та відстеженням платежів допомагають власникам компаній із пошуку поїздок і логістики відстежувати водіїв і функції, які їм призначені. Управління транспортом і автопарком

Канал зв'язку

Мобільні додатки на транспорті також використовуються для з'єднання різних зацікавлених сторін у галузі один з одним. Пасажири та водії, водії та компанії, а також пасажери та підприємства можуть спілкуватися за допомогою чатів та дзвінків у режимі реального часу. Оптимізація розкладу транспортування/доставки

Мобільні додатки для логістики використовуються для підвищення ефективності бізнесу за рахунок скорочення тривалості перевезень та оптимізації маршрутів подорожі.

Серед жорсткої конкуренції між тисячами додатків, по всьому світу, які демонструють технологічні досягнення для мобільних додатків можна виділити найкращі. Від програм для пошуку поїздок до систем вантажних перевезень, доступних через смартфони, наступні моделі платформ демонструють зразкову продуктивність, експоненційне зростання та винятковий прийом споживачів.

Перевезення

У сегменті цифрового перевезення пасажирів три програми та постачальники отримали велику підтримку, а також значний статус на ринку.

Uber

Серед найкращих світових постачальників у своєму масштабі, Uber було завантажено понад 500 мільйонів разів з моменту створення в Google Play Store і понад 2 мільйони разів у App Store лише в липні. За даними Forbes, 9-річний бізнес зміг отримати та утримати свої поточні позиції на ринку, реалізувавши зручну безготівкову транспортну систему, заброньовану онлайн. У поєднанні з наборами інструментів безпеки в додатку, послугами аеропорту та безперервними функціями сповіщення, технології Uber залишаються найбільшими чинниками домінування компанії в своїй галузі.

Маючи середній рейтинг 4,7 зірки в App Store і 3,9 зірки в Google Play Uber обслуговує понад 600 аеропортів і понад 700 міст по всьому світу, Uber продовжує витримувати і навіть використовувати швидкі зміни на ринку.

Lyft

Lyft стає помітним завдяки своїм пропозиціям спільного використання поїздок. Крім того, відомий своїм легкою навігаційним, прозорим і компактним інтерфейсом, який дозволяє двоетапний процес бронювання поїздок, обмінюватись місцезнаходженням і точними розрахунками вартості проїзду, мобільний додаток уже може похвалитися 10 мільйонами завантажень лише в магазині Google Play.

На момент написання статті понад 655 користувачів уже присвоїли програмі п'ятизірковий рейтинг у магазині App Store. Як видно з оглядів користувачів, що Lyft обіцяє безперервні та справжні інновації, впроваджені через його флагманські функції, громадська підтримка та очікування залишаються високими для цього підприємства, що розвивається.

Moovit

Цей універсальний додаток для навігації громадським транспортом у 99 країнах і 45 мовами, названий Google мобільним додатком №1, набирає популярності в бізнес-центрах Англії, США, Італії, Австралії та навіть Азії.

Moovit, яким користуються понад 720 мільйонів користувачів, надає інформацію в режимі реального часу про оновлені розклади автобусів і поїздів, карти громадського транспорту та прибуття ліній. Завдяки навігації в режимі реального часу, сповіщенням про вихід на роботу та майбутнім потягам, Moovit також був названий Google Play та App Store одним із найкращих додатків року у 2016 та 2017 роках відповідно.

Логістика

Технології мобільних додатків також запропонували та надали галузям логістики можливості для трансформації та безпрецедентне зростання.

U-Haul

Гігант логістики з 1945 року, U-Haul глибоко й успішно проник на ринок цифрової логістики за допомогою свого мобільного додатка в серпні 2017 року. Пропагуючи цілодобовий сервіс, що дозволяє користувачам забирати, оплачувати й знаходити вантажівки, а також перевіряти та перевіряти доступ Технологія моніторингу умов переміщення, мобільний додаток U-Haul є найбільшою технологічною ініціативою для компанії, яка займається переїздом клієнтів з кінця 90-х.

На відміну від інших платформ, що самостійно рухаються, додаток створено для максимального використання наявних функцій популярних смартфонів за допомогою однієї платформи. Завдяки мобільним передачі даних, камері телефону та GPS, бронювання вантажівок, підписання контракту, оплата рахунків і навіть 30-секундна перевірка відправлення стали можливими та компактними для користувачів платформи найму вантажівок U-Haul. Станом на 2020 рік було зафіксовано понад мільйон завантажень на платформах Android та iOS, що свідчить про успіх програми в задоволенні клієнтів та сприянні бізнес-операціям протягом 3 років.

Fed-Ex

Fed-Ex, найвища рейтингова мобільна платформа свого розміру для iOS, була завантажена на понад 10 мільйонів облікових записів як у Google Play, так і в Apple App Store. Зміцнюючи позицію компанії в логістичному бізнесі, мобільний додаток у повній мірі використовує сучасні технології, покращуючи досвід клієнтів.

Додаток FedEx Mobile, популярний глобальною торговою маркою, дозволяє користувачам легко відстежувати статус відправлення, керувати посилками, швидко розраховувати тарифи, знаходити місця отримання або видачі, сканувати штрих-коди та переглядати винагороди. Аналітично дуже високий середній рейтинг 4,8 в App Store і конкурентний рейтинг 4,0 в Play Store свідчить про те, що Fed-Ex рухається в правильному напрямку зі своїми ініціативами.

2. Огляд найпопулярніших фреймворків для розробки мобільних додатків

Сучасні рамки розробки мобільних додатків забезпечують кілька вбудованих переваг, як-от швидкість, ефективність та атмосферу без помилок. Фреймворк використовує готові елементи, включаючи компілятори, інструменти налагодження та набір інструментів, для відображення програми на цільовому пристрої за допомогою коду компанії.

Використання досвіду авторитетної компанії з розробки мобільних додатків може допомогти фірмі створювати мобільні додатки, які працюють швидко, реагують і забезпечують чудову взаємодію з користувачами. Використання платформ для розробки мобільних додатків пришвидшує та спрощує процедуру створення програми.

Android, iOS, а також Windows Phone – це лише деякі з доступних мобільних платформ. Мобільні програми бувають різних форм і розмірів. Ми не говоримо про конкретні області додатків, як-от покупки чи ігри. Однак з точки зору того, як програми працюють на смартфоні, мобільні програми можна розділити на три категорії.

Веб-програма – це програмне забезпечення, яке зберігається на віддаленому сервері та поширюється через Інтернет за допомогою інтерфейсу браузера. Популярними є електронні листи, розпродажі в Інтернеті, сайти аукціонів, веб-журнали, програми для обміну миттєвими повідомленнями та інші веб-програми.

Гібридні програми – це поєднання нативних і веб-додатків. До цієї категорії належать програми, розроблені за допомогою Apache Cordova, Flutter, Xamarin, React Native, Sencha Touch та інших.

Вони створені для підтримки веб- та нативних технологій на кількох платформах. Крім того, ці програми легше та швидше розробляються. Це передбачає використання єдиної кодової бази, яка працює в кількох мобільних операційних системах.

Незважаючи на такі переваги, гібридні програми демонструють нижчу продуктивність. Часто програми не мають однакового вигляду в різних мобільних операційних системах.

Нативні програми – це найякісніші програми з точки зору як естетики, так і функціональності.

Вони розроблені для певних операційних систем, таких як Android, iOS та Windows. Програми використовують такі функції пристрою, як оперативна пам'ять, камера, GPS тощо.

Однак розробка нативних додатків коштує дорожче. Крім того, досягти найвищого рівня залучення клієнтів може бути важко через різноманітність доступних платформ і пристроїв.

Коли головними цілями є фінансові обмеження та велика кількість клієнтів, фірма з розробки додатків може вибрати гібридні або кросплатформні технології розробки додатків.



Рисунок 1 – Логотип React Native

Figure 1 – logo React Native

React Native, створений і підтримуваний Facebook, є доступною кросплатформною платформою для розробки додатків, яка швидко стала улюбленою опцією програмістів. React Native сприяє розробці мобільних додатків для Android та iOS. Найбільш вірцевими прикладами програм React Native є програми відомих компаній, таких як Tesla, Airbnb, Skype або Amazon Prime.

Головна привабливість React Native полягає в тому, що він забезпечує швидшу розробку та впровадження. Багаторазові елементи, взаємодія із сторонніми розширеннями, а також створення графічного інтерфейсу на основі компонентів для інтерфейсних додатків є ще одними важливими характеристиками React Native.

Особливості React Native: виняткова продуктивність, компоненти, які можна використовувати повторно, сумісність із сторонніми розширеннями, можливість розробляти гібридні додатки, SSR.



Рисунок 2 – Логотип Flutter

Figure 2 – logo Flutter

Flutter – це відкритий і безкоштовний фреймворк від Google, який дозволяє створювати власні програми для Android та iOS за допомогою простої кодової бази. Це інноваційний пакет SDK для розробки кросплатформних додатків, що відрізняє його тим, що він використовує новий спосіб створення додатків, схожих на нативні. Це неперевірена та

надійна структура інтерфейсу смартфона для швидкої розробки привабливих додатків шляхом прискорення розробки.

Flutter – це всеосяжний і точний фреймворк, який містить віджети, механізм візуалізації, налагодження та інтеграцію API, а також ресурси для допомоги розробникам у створенні та розгортанні красивих мобільних додатків. Flutter використовується рядом відомих організацій, включаючи Google і Abbey Road Studios.

Особливості Flutter: швидка розробка, кросплатформність, Продуктивність яка у нативного

Xamarin – це альтернативний кросплатформний фреймворк для розробки додатків для Android та iOS. Оскільки вони використовують мову програмування C#, додаткам потрібно менше рядків

коду. В результаті процес кодування відбувається швидше. Крім того, це дозволяє нам швидко передавати скрипти в інші системи, такі як Windows і macOS.

Microsoft придбала Xamarin. Оскільки сьогодні розробка програми відбувається набагато швидше, можна припустити, що швидша розробка означає жертву якістю та конструкцією. Однак програми на основі Xamarin забезпечують бездоганну вбудовану функціональність щодо якості та ефективності. В результаті його зв'язок з Microsoft Visual Studio є плюсом з точки зору управління розробкою додатків і продуктивністю.

Проміжний рівень у Xamarin контролює зв'язок між кодом основної системи та стандартним кодом. Використовуючи інструменти, фреймворки та комп'ютерні мови, які підтримуються зацікавленою спільнотою, програмісти можуть створювати середовище з API, серверними програмами, компонентами тощо.

Особливості Xamarin: швидка розробка, сумісність з різними пристроями

Swiftic – це платформа для мобільних додатків «зроби сам», яка прагне полегшити будь-кому створення унікальних додатків для своєї компанії. Це спрощує розробку додатків, дозволяючи програмістам інтегрувати поточні матеріали з Інтернету, а не починати заново.

Це одна з найбільш гнучких платформ розробки мобільних додатків, оскільки пропонує досить плавний користувацький досвід, спеціалізовані банківські операції та прості стратегії.

Push-сповіщення, стрічки платформ соціальних мереж, реклама додатків та інші технологічні досягнення – все це включено в рамки. Це одне з найпростіших рішень для розробки мобільних додатків, оскільки дозволяє проектувати, запускати та розширювати програму за допомогою єдиної панелі керування. Особливості Swiftic: програми з 30-денною гарантією повернення грошей, взаємодія та навігація прості, Міцна інтеграція з іншими сторонами Swiftic.



Рисунок 3 – Логотип Ionic

Figure 3 – logo Ionic

Ionic – це чітка структура для створення прогресивних веб-програм (PWA), гібридних і кросплатформних мобільних додатків. Ionic – це доступний фреймворк, який використовує Apache Cordova (PhoneGap) плюс Angular, щоб дозволити програмістам створювати програми для Android та iOS, які безперебійно працюють разом.

Фреймворк допомагає розробникам створювати надійні та багатофункціональні власні програми. Найпомітнішою особливістю Ionic є те, що він дозволяє програмістам використовувати різні компоненти інтерфейсу користувача в рамках програми, включаючи фільтрацію, введення, перегляди, зручну навігацію та таблиці дій.

Особливості Ionic: розробка додатків для багатьох платформ, інтерфейс користувача є послідовним, підвищена продуктивність, гнучкість користувача

Apache Cordova, який раніше продавався як PhoneGap, є популярною платформою для розробки програм, зручною для розробників. Це кросплатформний фреймворк для розробки додатків, який створює мобільні додатки за допомогою CSS3, HTML5 і JavaScript. Плагіни Cordova дозволяють програмістам використовувати апаратні функції смартфона, такі як GPS, камери та акселерометр, щоб запропонувати інтерфейс, схожий на рідний. Відмітними характеристиками Apache Cordova є швидший підхід до виробництва з одним кодом і інструментом адміністрування програм сторонніх розробників.

Особливості PhoneGap: єдине джерело коду, упорядкування процедури розробки, методи керування додатками від третіх сторін

jQuery Mobile – це точна кросплатформна платформа для розробки мобільних додатків, яка підтримує розробку додатків, що не залежать від платформ. Ця конкретна структура використовується для створення гнучких веб-порталів, які можуть функціонувати на різних платформах, включаючи смартфони, планшетні пристрої та ПК, використовуючи JavaScript та HTML.

jQuery використовує основу на основі HTML5 і Theme Roller, щоб надати висококонфігуровані теми для онлайн- та мобільних додатків. jQuery Mobile доступний у двох варіантах: налаштований фреймворк, а також стабільна версія.

Особливості jQuery: Він добре працює з PhoneGap та іншими фреймворками розробки мобільних додатків, розмір обмежений.

3. Висновки

На початку становлення мобільних додатків був тільки органайзер та калькулятор, проте зараз в світі безліч найрізноманітніших додатків.

Постійне швидке оновлення розробки мобільних додатків для транспорту та логістики, ймовірно, продовжить прискорюватися на все більш насиченому ринку в наступні роки. Однак разом із такою швидкою еволюцією можливості для підвищення прибутковості, оптимізації результатів та покращення користувацького досвіду вдосконалюються та розширюються на однаковому рівні.

Проаналізувавши найпопулярніші інструменти для розробки мобільних додатків можна зробити висновок що є багато різних цікавих засобів та вибір потрібно робити у залежності від задачі про те я би вибирав react-native через універсальність та гнучкість.

Оскільки технології швидко розвиваються і щодня з'являються нові функціональні можливості, галузь справді змінює більше, ніж впровадження передових технологічних інструментів, цільове використання інноваційних технологій та те, як воно покращує роботу та досвід користувачів.

Розробка всіх інструментів і навіть нових триває і зовсім скоро вони знову нас порадують своїми новими покращеннями.

Отже на сьогодні є багато додатків для транспортної галузі розроблені різними світовими компаніями, вони мають різне призначення проте вони дуже ефективні та покращують життя користувачам.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1.Офіційна документація React Native URL: <https://reactnative.dev/>
2. Мобільний застосунок вікіпедія URL:
https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%81%D1%83%D0%BD%D0%BE%D0%BA
3. Мобільний застосунок вікіпедія англійська версія URL:
https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_app
4. Мобільні платформи, фреймворки та середовища URL: <https://www.e-zest.com/mobile-operating-system/>
5. API та платформи додатків громадського транспорту: карти, планування, планування поїздок та мобільні квитки URL: <https://www.altexsoft.com/blog/engineering/public-transportation-apps-apis-and-platforms-maps-scheduling-trip-planning-and-mobile-ticketing/>

REFERENCES

1. Official documentation React Native URL: <https://reactnative.dev/>
2. Mobile app wiki URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/мобільний_застосунок
3. Mobile app wiki english version URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_app
4. Mobile platforms, frameworks and environments: <https://www.e-zest.com/mobile-operating-system/>
5. Public Transportation Apps' APIs and Platforms: Maps, Scheduling, Trip Planning, and Mobile Ticketing URL: <https://www.altexsoft.com/blog/engineering/public-transportation-apps-apis-and-platforms-maps-scheduling-trip-planning-and-mobile-ticketing/>

РЕФЕРАТ

Безверхий О.І. Особливості застосування мобільних додатків для транспортної галузі / О.І. Безверхий, О.І. Куценко. // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

У даній статті розглядається особливості застосування мобільних додатків для транспортної галузі. Мобільні додатки є невід'ємним помічником у повсякденному житті людини, наприклад, викликати таксі, забронювати або купити квитки на потяг або літак, переглянути карту місцевості та прокласти маршрут з точки а в точку б, переглянути карту заправок та купити бензин, замовити вантажні перевезення можна за допомогою декількох кліків у смартфоні.

Об'єкт дослідження – процес застосування мобільних додатків для транспорту та логістики

Мета роботи – вивчення особливостей застосування мобільних додатків для транспортної галузі.

Проаналізувавши найпопулярніші інструменти для розробки мобільних додатків можна зробити висновок що є багато різних цікавих засобів та вибір потрібно робити у залежності від поставлених задач, про те автори пропонують react-native через універсальність та гнучкість.

Швидке оновлення розробки мобільних додатків для транспорту та логістики, ймовірно, продовжить прискорюватися на все більш насиченому ринку в наступні роки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОБІЛЬНІ ДОДАТКИ, КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ, ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ, РОЗРОБКА МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ.

ABSTRACT

Bezverhiy O.I., Kutsenko O.I. Peculiarities of using mobile applications for the transport industry. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv. National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

This article considers the specifics of using mobile applications for the transport industry. Mobile applications are an indispensable assistant in a person's everyday life, for example, call a taxi, book or buy tickets for a train or plane, view a map of the area and plan a route from point a to point b, view a map of gas stations and buy gasoline, you can order freight transportation with a few clicks on your smartphone.

The object of research is the process of using mobile applications for transport and logistics

The purpose of the work is to study the peculiarities of the use of mobile applications for the transport industry.

Having analyzed the most popular tools for developing mobile applications, we can conclude that there are many different interesting tools and the choice should be made depending on the tasks, therefore the authors suggest react-native due to its versatility and flexibility.

The rapid renewal of mobile app development for transportation and logistics is likely to continue to accelerate in an increasingly saturated market in the coming years.

KEYWORDS: MOBILE APPLICATIONS, COMPUTER SCIENCE, DIGITALIZATION, MOBILE APPLICATION DEVELOPMENT.

АВТОРИ

Безверхий Олександр Ігорович, д.т.н., професор, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: o_bezvver@ukr.net

Куценко Олександр Іванович., к.т.н., Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: alexkutsenko95@gmail.com, tel: 0637716490.

AUTHORS

Bezverhiy Oleksandr Ihorovich, Doctor of Technical Sciences, professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: o_bezvver@ukr.net

Kutsenko Oleksandr Ivanovich, Ph. D, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: alexkutsenko95@gmail.com, tel: 0637716490.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гавриленко Валерій Володимирович., д-ф.м-н., професор, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: o_bezvver@ukr.net.

Івохін Євген Вікторович., д-ф.м-н., професор, Національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Gavrilenko Valeriy Volodymyrovych, Doctor of Physical and Mathematical sciences, professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

Ivohin Evgen Viktorovich, Doctor of Physical and Mathematical sciences, professor, National university Taras Shevchenko, Kyiv, Ukraine.

ДИНАМІЧНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВІЗКОМ НАПІВПРИЧЕПА

Босенко В.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, bosia4ok@ukr.net, orcid.org/0000-0002-9654-949X

Тімков О.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, o.timkov@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0002-7925-7030

Яценко Д.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, y_d@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3674-0089

Корпач О.А., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, korpach1988@gmail.com, orcid.org/0000-0002-2496-4395

DYNAMIC CONTROL SYSTEMS OF A SEMI-TRAILER TROLLEY

Bosenko V.M., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, bosia4ok@ukr.net, orcid.org/0000-0002-9654-949X

Timkov O.M., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, o.timkov@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0002-7925-7030

Yaschenko D.M., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, y_d@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3674-0089

Korpach A.A., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, korpach1988@gmail.com, orcid.org/0000-0002-2496-4395

Постановка проблеми. Насьогодні, стан розвитку рухомого складу автомобільного транспорту характеризується різноманітними типами та видами автомобілів, причепів і напівпричепів. Для перевезення великих партій вантажу доцільно використовувати автопоїзди різноманітних компоувальних схем. Поряд з найбільш поширеними двовісними автомобілями з передніми керованими колесами отримують все більший розвиток нові конструкції з іншими компоувальними схемами і системами управління поворотом: автомобілі і автопоїзди з усіма керованими колесами, багатовісні автомобілі з різним числом і розташуванням керованих коліс, машини з неповоротними колесами, зчленовані колісні машини тощо [1]. Великі габаритні розміри автопоїзда призводять до значного збільшення його габаритної смуги руху та значно ускладнюють керування ним. На сьогодні у більшості країн світу поряд з обмеженням масових показників автомобілів і автопоїздів регламентуються їх габаритні розміри, в Європі діє директива 96/53/ЕС від 1996 року. Дозволена довжина сидельного автопоїзда 16,5 м, автопоїзд повинен вписатися в поворот, обмежений відповідно радіусами 12,5 і 5,3 м [2]. При наявності у автопоїзда керованих ланок труднощі виникають у тому, що суттєво ускладнюється дослідження руху такого автотранспортного засобу з причини необхідності урахування впливу значної кількості факторів на характер їх руху. Взаємодія сусідніх ланок при русі автопоїзда розповсюджується в решті–решт на весь транспортний засіб і викликає певні відхилення складових автопоїзда від заданого ведучою ланкою (тягачем) напрямку руху[3]. Враховуючи те, що автопоїзд є засобом підвищеної небезпеки, перш за все, слід робити кроки у напрямку досліджень маневреності автопоїздів, результати яких будуть підґрунтям для вирішення багатьох технічних питань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо, що найбільша ефективність перевезень буде досягатися у тоді, коли повністю буде використовуватися максимальна допустима довжина автопоїзда і його максимальна вантажопідйомність. Проте, багато проведених досліджень [4-8] показали, що напівпричіп такого автопоїзда повинен бути керованим, вибір закону управління та обґрунтування приводу управління яким залишається не до кінця вирішеним.

Управління візком напівпричепа може здійснюватися чотирма основними способами [9]:

- кінематичний спосіб управління поворотом коліс, осей тощо;
- кінематичний спосіб управління поворотом ланок шарнірно зчленованих автомобільних транспортних засобів;
- динамічний спосіб управління автомобільних транспортних засобів шляхом регулюванням співвідношень кутових швидкостей коліс;

– комбіновані способи управління.

Застосування автопоїздів з керованими причіпними ланками ускладнює процес руху автопоїзда. Взаємодія ланок автопоїзда впливає на весь транспортний засіб і викликає певні відхилення його складових від заданого ведучою ланкою (тягачем) напрямку руху.

Кінематичний спосіб управління поворотом напівпричепа за допомогою коліс, осей, опор може бути здійснений трьома варіантами управління:

- система прямого управління;
- зворотна систему управління;
- подвійна система управління.

Кожен з них має певний вплив на траєкторію руху автопоїзда.

Динамічний спосіб управління ґрунтується на використанні еластичності шин, що дозволяє створювати машини з неповоротними колесами і різним ступенем обертальності. Цей спосіб характерний для візків напівпричепів.

Мета роботи полягає у порівняльній оцінці маневреності автопоїздів за різних законів та способів управління візком напівпричепа із застосуванням динамічного способу повороту коліс візка напівпричепа.

Виклад основного матеріалу.

При динамічному способі управління візком напівпричепа шляхом пригальмовування коліс візка можливі 6 варіантів, рисунок 1:

- а) – пригальмовування колесами візка по-діагоналі;
- б) – пригальмовування колесами внутрішнього борту візка;
- в) – пригальмовування колесами зовнішнього борту візка;
- г) – пригальмовування усіма колесами візка;
- д) – пригальмовування колесами задньої осі візка;
- е) – пригальмовування колесами передньої осі візка.

Кожна з систем має свої особливості траєкторії причіпної ланки щодо траєкторії автомобіля тягача.

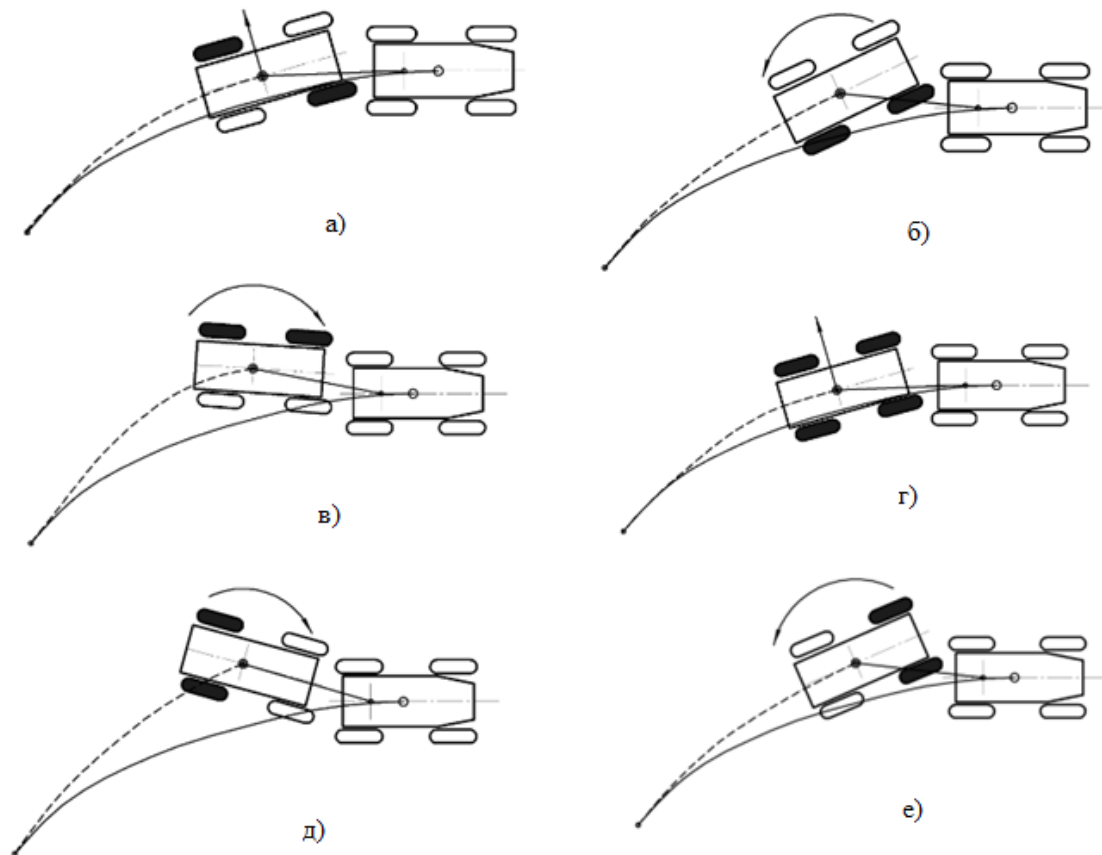


Рисунок 1 – Динамічні системи управління візком напівпричепа

Figure 1 – Dynamic control systems of a semi-trailer truck

Наприклад, якщо гальмуються колеса внутрішнього борту або передня вісь причепа, то причіп рухається нестійко й виникає занос його передньої осі вбік (рисунок 1, б, е), якщо гальмуються колеса зовнішнього борту або задня вісь причепа, то спостерігається занос причепа (рисунок 1, в, д).

При гальмуванні автопоїзда ефективність використання колісних гальмівних механізмів автомобіля–тягача й причепа може бути різною, що обумовлено більшою кількістю факторів, в числі яких перерозподіл нормальних реакцій при гальмуванні, значення коефіцієнта розподілу гальмівних моментів, наявність регуляторів (РГМ або АБС).

Стійкість руху автопоїзда при гальмуванні, поряд з ефективністю дії гальмівної системи, має досить важливе значення. При нормальному русі автопоїзда й правильному його гальмуванні, коли на всіх колесах створюються гальмівні сили, що відповідають зчипній масі, що приходить на них, без доведення коліс до повного блокування, рух відбувається досить стійко. Порушення стійкості автопоїзда звичайно пов'язане з настанням заносу однієї з осей автомобіля або причепа, найбільш частою причиною якого є блокування коліс, що гальмують.

У той же час слід помітити, що ковзання (рух юзом) коліс окремих осей автопоїзда ще не викликає обов'язкового порушення стійкості, тому що за певних умов можливе збереження прямолінійного руху з невеликими коливаннями загасаючого характеру.

У випадку неправильного гальмування, коли гальмування коліс окремих осей тягового автомобіля й причепа здійснюються не строго одночасно або власні сповільнення тягового автомобіля й причепа виявляються неоднаковими, відбувається стиск або розтягання пружини тягово–зчипного пристрою. Автопоїзд починає рухатися в напруженому стані, маючи запас внутрішньої енергії. У такому стані з появою бічних сил, що збурюють, порушується стійкість руху автопоїзда, і він починає здійснювати коливальні рухи.

Основними наслідками порушення стійкості у випадку прикладення тимчасово діючої бічної сили, що збурює, прикладеної до тієї або іншої осі автопоїзда, є занос цієї осі. Якщо коливання носять згасаючий характер, рух автопоїзда триває нормально. Якщо ж коливання в процесі руху зростають, рух автопоїзда стає нестійким.

При правильному гальмуванні автопоїзд рухається стійко як при гальмуванні на прямій, так і на повороті.

Попередніми дослідження було встановлено, що найефективніше використовувати одночасно і кінематичний і динамічний способи управління колесами або осями напівпричепа [1].

Для автопоїзда «оптимальний» закон управління поворотними осями возика напівпричепа (за якого траєкторії автомобіля–тягача і напівпричепа співпадають між собою) записано у вигляді [10]:

$$\theta_2 = h\varphi,$$

де φ – перший кут складання;

$$h = \text{коефіцієнт передачі } h = 1 - \frac{2V^2}{gk_2L_1};$$

V – лінійна швидкість руху автопоїзда;

k_2 – коефіцієнт опору відведення коліс приведеної ланки (напівпричепа);

L_1 – база напівпричепа.

У свою чергу, перший кут складання визначено як

$$\phi_1 = \frac{\theta_1}{1+h_1} \times \frac{\left(\frac{1}{k_3} - \frac{1}{k_\Sigma} \right) \times \frac{V^2}{g} - (L_1 + c - b)}{\left(\frac{1}{k_\Sigma} - \frac{1}{k_1} \right) \times \frac{V^2}{g} - l},$$

де $k_\Sigma = k_{11} + k_{12}$ – сума коефіцієнтів опору відведення коліс другої і третьої осей тягача; k_1 – коефіцієнт опору відведення коліс керованої осі тягача; k_3 – коефіцієнт опору відведення коліс приведеної ланки; l – база автомобіля–тягача; c – відстань від центра мас до точки зчипки тягача і напівпричепа; b – відстань від точки зчипки до задньої осі тягача.

Кінематичні співвідношення, що забезпечують збіг траєкторій тягача і возика напівпричепа, записані в такому вигляді:

$$\theta_2 = \left[\arctg \left(\frac{2tg\phi_2}{1-k + \sqrt{(1-k)^2 - 4ktg^2\phi_2}} \right) \right] - \phi_2,$$

де ϕ_2 – другий кут складання; k – коефіцієнт, що враховує бічне переміщення центра мас візка напівпричепа за рахунок бічної пружності шин.

Методика визначення кута ϕ_2 , а також ϕ_1 буде різною в залежності від положення візка напівпричепа відносно автомобіля–тягача, що здійснює поворот.

У загальному вигляді можна записати

$$\theta_2 = f(\phi_2, k).$$

Для автопоїзда з керованим напівприцепом рівняння для визначення коефіцієнта передачі записується у вигляді:

$$h = (1 + 2\frac{c-b}{L_1}) - 2\frac{V^2}{L_1g}(\frac{1}{\bar{k}_2} - \frac{1}{\bar{k}_{1\Sigma}}),$$

де $\bar{k}_2, \bar{k}_{1\Sigma}$ – безрозмірені коефіцієнти опору відведення коліс керованої осі візка і некерованих коліс тягача; c, b – геометричні параметри тягача.

Тоді

$$\theta_2 = h(\phi_1 + \phi_2),$$

де h визначається як функція набору параметрів

$$h = f(V, k_{ij}, m_i, a, b_i, c_1, d_1, d_2, b_{2j})$$

які у процесі руху не залишаються сталими, тобто привід керування возиком напівпричепа повинен бути регульованим і змінювати своє передаточне число від мінімального значення (близького до нуля) до максимального (близького до нескінченості). Таке регулювання можна здійснити шляхом гальмування коліс одного борту.

За прийнятим законом управління визначимо величину гальмівного моменту коліс одного ботру возика напівпричепа, припускаючи, що точка зчіпки рухається по колу зі сталою швидкістю. У цьому випадку положення візка однозначно визначається законом управління його осями. При цьому втрачається один ступінь волі, тобто немає необхідності описувати положення возика напівпричепа окремим рівнянням по ϕ_2 . Будемо вважати, крім того, що і друга точка зчіпки O_2 рухається також по колу. При цьому для спрощення підрахунків зведемо всі осі візка до однієї, що відстоїть на відстань l_1 від центра мас візка. Позначимо приведені момент інерції і масу візка як $\bar{I}_1, m_1$.

Нехай точка зчіпки O_1 рухається по колу радіуса R із швидкістю V (Рисунок 2). Тоді кутова швидкість радіуса вектора точки O_1 визначиться як $\omega = \frac{V}{R}$.

Рівняння, що описує ланку, записано у вигляді:

$$(I_1 + m_1 d_1^2) \ddot{\phi}_1 + m_1 d_1 \omega [V \cos \phi_1 - (U - \omega c) \sin \phi_1] = L_1 Y_2(\delta_2) - M_{гал},$$

$$\text{де } \delta_2 = -\theta_2 + \arctg \frac{-V \sin \phi_1 - (U - \omega c) \cos \phi_1 + (\omega - \dot{\phi}_1) L_1}{V \cos \phi_1 - (U - \omega c) \sin \phi_1}.$$

Розглянемо спочатку лінійний закон управління, тобто $\theta_2 = h\phi_1$.

Тоді рівняння рівноваги напівпричепа щодо вертикальної осі, яка проходить через точку O_1 ,

запишеться у вигляді:

$$Y_2(\delta_2)L_1 - M_{\text{gal}} = m_1\omega^2 R \cos\phi_1 d_1.$$

де $Y_2(\delta_2)L_1$ – момент бічної сили;

$$m_1 \omega^2 R \cos \phi_1 \bar{d}_1 - \text{момент сил інерції.}$$

Після лінеаризації це рівняння перетвориться в таке

$$k_2[-(h+1)\phi_1 + \frac{L_1}{R}] - \bar{M}_{\text{sat}} = \frac{\omega^2 R}{g},$$

де $\bar{M}_{гал}$ – обезрозмірений (віднесений до сили тяжіння від маси, що приходить на возик напівпричепа, і координати центра мас напівпричепа a , тобто відстані від центра мас до точки зчіпки тягача з напівприцепом) гальмівний момент.

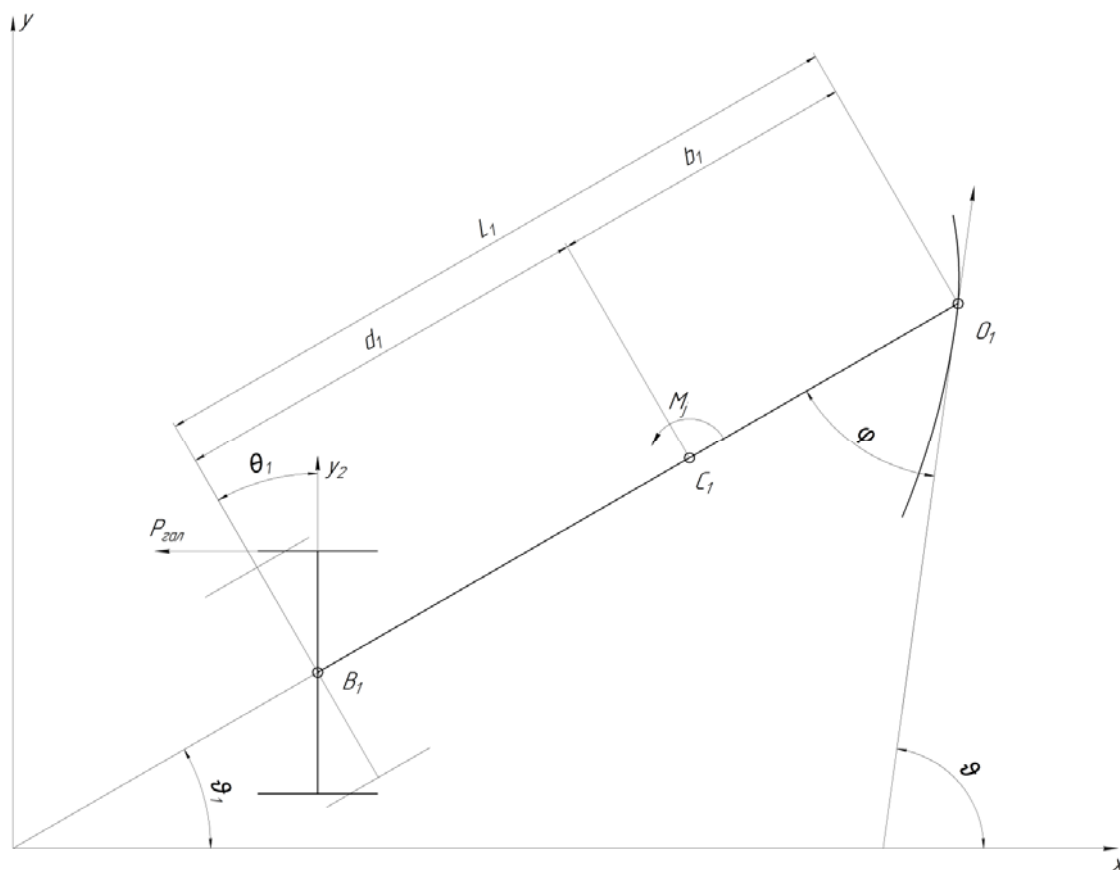


Рисунок 2 – До визначення закону управління причіпною ланкою

Figure 2 – To determine the law of control of the trailer link

З цього виразу можна одержати аналітичну залежність для визначення першого кута складання.

З іншого боку, вимога відслідкування траєкторії точки зчипки причіпної ланкою накладає умову, за якою (при $L > 2R$ задача не має рішення) [10]:

$$\begin{cases} \sin \phi_1 = \frac{L_1}{2R} \approx \phi_1 \\ \phi_1 = \frac{1}{(1+h)R} (L_1 - \frac{V^2}{gk_2}) \end{cases}$$

Спільне рішення рівнянь, що описують ці дві вимоги, визначає собою передаточне відношення системи управління напівприцепом

$$h = 1 - \frac{2V^2}{gk_2L_1} \pm \bar{M}_{гал}.$$

Отже, значення h є функцією не тільки геометричних параметрів і безрозмірних коефіцієнта опору бічному відведенню k_2 і гальмівного моменту $\bar{M}_{гал}$, але і швидкості руху автопоїзда, тобто отриманий закон управління пов'язаний із характерною швидкістю $V_* = \sqrt{k_2L_1g}$ такою, що якщо $V < V_*$, то напівпричіп орієнтується у внутрішню сторону і гальмівний момент повинен бути прикладений до коліс зовнішнього борту, а при $V > V_*$, – у зовнішню і гальмівний момент повинен бути прикладений до коліс внутрішнього борту. Цим пояснюється наявність знаку $\pm$ біля гальмівного моменту.

У таблиці 1 наведені результати розрахунку зсуву траєкторії возика напівприцепа щодо траєкторії автомобіля–тягача при виконанні автопоїздом різноманітних маневрів. При цьому розглядався автопоїзд з некерованим напівприцепом, з подвійним приводом управління напівприцепом, з подвійним приводом керування напівприцепом і гальмуванням коліс одного борту. При цьому коефіцієнт k у виразі, що визначає гальмівний момент на колесах одного борту возика напівприцепа, прийнято рівним 0,2.

Аналіз даних таблиці 1 показує, що подвійний привід керування, а також подвійний привід керування з корекцією траєкторії возика шляхом гальмування коліс одного борту забезпечують прийнятну вписуваність автопоїзда в найбільше типових умовах руху – поворотах на 90° і 180° . Проте при круговому русі і виконанні маневру «переставка» подвійний привід керування з корекцією траєкторії возика шляхом гальмування коліс одного борту забезпечує більш точне відслідковування траєкторії автомобіля–тягача возиком напівприцепа у порівнянні з подвійним приводом керування. Разом з тим, і подвійний привід керування забезпечує досить прийнятні результати у порівнянні з автопоїздом із некерованим напівприцепом.

Таблиця 1 – До аналізу ефективності управління поворотними осями возика напівприцепа

Table 1 – To the analysis of the effectiveness of the control of the turning axles of the semi-trailer truck

Маневр	V, м/с	$\theta_1(\dot{\theta}_1)$, рад (рад/с)	Зсув траєкторії возика по відношенню до траєкторії тягача, м		
			без керування	Подвійний привід керування	Подвійний привід керування і гальмування коліс одного борту
Поворот на 90°		0,3 (0,05)	4,24	0,76	0,12
Поворот на 180°	5	0,3 (0,05)	4,16	0,72	0,10
Переставка	5	0,1 (0,10)	2,71	0,43	0,09
Поворот на 360°	5	0,3 (0,05)	4,02	0,58	0,06

Із наведених результатів розрахунку слідує, що застосування гальмування коліс одного борту возика для корекції траєкторії напівприцепа ефективне при малих швидкостях руху, за яких забезпечуються як високі показники маневреності, так і не порушуються ще показники стійкості руху.

Висновки. Проведеними розрахунками встановлено, що подвійний привід керування, а також подвійний привід керування з корекцією траєкторії возика шляхом гальмування коліс одного борту забезпечують прийнятну вписуваність автопоїзда в найбільше типових умовах руху – поворотах на 90° і 180° . Проте при круговому русі і виконанні маневру «переставка» привід керування, що досліджується, забезпечує більш точне відслідковування траєкторії автомобіля–тягача. Разом з тим, і подвійний привід керування забезпечує досить прийнятні результати у порівнянні з автопоїздом із

некерованим напівпричепом. Із наведених результатів розрахунку слідує, що застосування гальмування коліс одного борту возика для корекції траєкторії напівпричепа ефективно при малих швидкостях руху, за яких забезпечуються як високі показники маневреності, так і не порушуються ще показники стійкості руху, проте отримані закономірності потребують експериментальної перевірки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сахно В.П. До порівняльної оцінки маневреності гібридних автопоїздів за різних схем управління напівпричепом / В.П. Сахно, В.М. Поляков, Д.М. Ященко, В.М. Босенко, О.О. Лисенко // Вісник Національного транспортного університету: – К.: НТУ, 2017. – Випуск 3(39). – С.169–183.
2. DIRECTIVE 2002/7/EC of European parliament and of the council of 18 February 2002 amending Council Directive 96/53/EC of 25 July 1996 laying down for certain road vehicles circulating within the Community the maximum authorized dimensions in national and international traffic and the maximum authorized weights in international traffic. // Official Journal of the European Communities. – 2002. – No L67/47-49.
3. Мурованый И.С. К вопросу использования большегрузных автопоездов для перевозки грузов в междугородном и международном сообщении / И.С. Мурованый, А.Е. Бондаренко, В.М. Глинчук, О.А. Энглез // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал. Вип. 3. – К.: НТУ, 2006. – С. 94–100.
4. Сахно В.П., Стельмашук В.В., Придюк В.М. До визначення показників маневреності автопоїзда-контейнеровоза // Проблеми автомобільного транспорту: Збірник наукових праць: Випуск 8. – Київ: НТУ, 2011. – С.157-165.
5. Сахно В.П. До визначення показників маневреності автопоїзда-контейнеровоза / В.П.Сахно, Р.М.Кузнєцов, В.П.Онищук // Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ». Луцьк, 2010.- Випуск № 28. -С. 478-484.
6. Сахно В.П. До вибору типу приводу управління напівпричепом довгобазового автопоїзда-контейнеровоза / В.П.Сахно, П.І.Гуменюк, Р.М.Марчук, В.М.Сондак // Автошляховик України. Окремий випуск. Вісник ПНЦ ТАУ. – 2011. – Вип. 14. – С.
7. Сахно В.П. Шляхи підвищення маневреності автопоїзда з керованим довгобазним напівпричепом / В.П.Сахно, М.І.Загороднов, С.В.Гейко, Р.Г.Кізуб, В.М.Сондак // Автошляховик України. –2001. - №1. С.19-21.
8. Сахно В.П. До визначення конструктивних і компоновальних параметрів автопоїзда-контейнеровоза / Сахно В.П., Онищук В.П., Придюк В.М. // Вісник НТУ. — К.:НТУ, 2009. —№19.- С.80-83.
9. Бобошко А.А. Нетрадиционные способы маневрирования колесных машин / А.А.Бобошко. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2006. – 172 с.
10. Сахно В.П. До визначення показників маневреності автопоїзда з подвійним приводом управління напівпричепом та гальмуванням коліс одного борту возика. / В.П. Сахно, В.М. Поляков, О.А. Енглезі, В.М. Босенко // Проблеми транспорту. – К.: НТУ–2013–2014. – Вип. 10.–С. 41–46.

REFERENCES

- 1.Sakhno V.P. Until the previous assessment of the maneuverability of hybrid road trains for different schemes for managing the drink / V.P. Sakhno, V.M. Polyakov, D.M. Yashchenko, V.M. Bosenko, O.O. Lisenko // Bulletin of the National Transport University: - K .: NTU, 2017. - Issue 3 (39). – P.169–183. (Ukr)
2. DIRECTIVE 2002/7 / EC of European parliament and of the council of 18 February 2002 amending Council Directive 96/53 / EC of 25 July 1996 laying down for certain road vehicles circulating within the Community the maximum authorized dimensions in national and international traffic and the maximum authorized weights in international traffic. // Official Journal of the European Communities. - 2002. - No L67 / 47-49. (Eng)
3. Murovany I.S. On the issue of using heavy-duty road trains for the transportation of goods in long-distance and international traffic / I.S. Murovany, A.E. Bondarenko, V.M. Glinchuk, O.A. Anglesey // Project Management, System Analysis and Logistics: Science Journal. Vip. 3. - K.: NTU, 2006. - S. 94–100. (Ukr)
4. Sakhno V.P. Stelmashchuk V.V., V.M. Prydyuk By the determination of the mobility-train container truck transport // Problems: Collected Works, Vol. 8 - Kyiv, NTU, 2011. - p.157-165. (Ukr)

5. Sakhno VP By the determination of the mobility-train container /V.P.Sahno, R.M.Kuznyetsov, V.P.Onyschuk // Interuniversity collection «Science notes». Luck, 2010.- № 28. Issue -C. 478-484. (Ukr)
6. V.P. Sakhno the choice of the type of drive train control vehicle long-base container /V.P.Sahno, P.I.Humenyuk, R.M.Marchuk, V.M.Sondak // Avtoshlyahovyk Ukraine. Installment. Bulletin PNTS Tau. - 2011. - Vol. 14 - p. (Ukr)
7. Sakhno V.P. Ways to increase the flexibility of the train operated vehicle long-base /V.P. Sakhno, M.I. Zahorodnov, S.V. Heyko, R.H. Kizub, V.M. Sondak // Avtoshlyahovyk Ukraine. -2001. - №1. p.19-21. (Ukr)
8. Sakhno V.P. By determining the design and layout options-train container / Sakhno V.P., Onischuk V.P., Prydyuk V.M. // Vestnik NTU. K : NTU, 2009. №19.- p.80-83. (Ukr)
9. Boboshko A.A. Non-traditional ways of maneuvering wheeled vehicles /A.A. Boboshko machines. - Kharkov: Publishing House HNADU, 2006. - 172 p. (Ukr)
10. Sakhno V.P. To determine the maneuverability indicators of a road train with a double-drive semi-trailer control and wheel braking on one side of the cart. / V.P. Sakhno, V.M. Polyakov, O.A. Anglesey, V.M. Bosenko //Problems of transport. - K.: NTU-2013-2014. - Issue 10.-S. 41-46. (Ukr)

РЕФЕРАТ

Босенко В.М. Динамічні системи управління візком напівпричепа / В.М. Босенко, О.М. Тімков, Д.М. Яценко, О.А. Корпач // Вісник Національного транспортного університету. Секція «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

У статті проведено аналіз динамічних систем управління візком напівпричепа та ефективності управління поворотними осями візка напівпричепа.

Об'єкт дослідження – динамічні системи управління колесами (осями) візка напівпричепа .

Мета роботи полягає у порівняльній оцінці маневреності автопоїздів за різних законів та способів управління візком напівпричепа із застосуванням динамічного способу повороту коліс візка напівпричепа.

Методи дослідження – аналітичний, порівняльний.

Насьогодні, стан розвитку рухомого складу автомобільного транспорту характеризується різноманітними типами та видами автомобілів, причепів і напівпричепів. Для перевезення великих партій вантажу доцільно використовувати автопоїзди різноманітних компоновальних схем. Поряд з найбільш поширеними двовісними автомобілями з передніми керованими колесами отримують все більший розвиток нові конструкції з іншими компоновальними схемами і системами управління поворотом: автомобілі і автопоїзди з усіма керованими колесами, багатовісні автомобілі з різним числом і розташуванням керованих коліс, машини з неповоротними колесами, зчленовані колісні машини тощо. Великі габаритні розміри автопоїзда призводять до значного збільшення його габаритної смуги руху та значно ускладнюють керування ним.

При наявності у автопоїзда керованих ланок труднощі виникають у тому, що суттєво ускладнюється дослідження руху такого автотранспортного засобу з причини необхідності урахування впливу значної кількості факторів на характер їх руху. Взаємодія сусідніх ланок при русі автопоїзда розповсюджується в решті-решт на весь транспортний засіб і викликає певні відхилення складових автопоїзда від заданого ведучою ланкою (тягачем) напрямку руху. Враховуючи те, що автопоїзд є засобом підвищеної небезпеки, перш за все, слід робити кроки у напрямку досліджень маневреності автопоїздів, результати яких будуть підґрунтям для вирішення багатьох технічних питань.

Найбільша ефективність перевезень буде досягатися у тоді, коли повністю буде використовуватися максимальна допустима довжина автопоїзда і його максимальна вантажопідйомність. Застосування автопоїздів з керованими причіпними ланками ускладнює процес руху автопоїзда. Взаємодія ланок автопоїзда впливає на весь транспортний засіб і викликає певні відхилення його складових від заданого ведучою ланкою (тягачем) напрямку руху.

Динамічний спосіб управління ґрунтується на використанні еластичності шин, що дозволяє створювати машини з неповоротними колесами і різним ступенем обертальності. Цей спосіб характерний для візків напівпричепів.

Стійкість руху автопоїзда при гальмуванні, поряд з ефективністю дії гальмівної системи, має досить важливе значення. При нормальному русі автопоїзда й правильному його гальмуванні, коли на всіх колесах створюються гальмівні сили, що відповідають зчіпній масі, що приходить на них, без доведення коліс до повного блокування, рух відбувається досить стійко. Порушення стійкості

автопоїзда звичайно пов'язане з настанням заносу однієї з осей автомобіля або причепа, найбільш частою причиною якого є блокування коліс, що гальмують.

Основними наслідками порушення стійкості у випадку прикладення тимчасово діючої бічної сили, що збурює, прикладеної до тієї або іншої осі автопоїзда, є занос цієї осі. Якщо коливання носять згасаючий характер, рух автопоїзда триває нормально. Якщо ж коливання в процесі руху зростають, рух автопоїзда стає нестійким. При правильному гальмуванні автопоїзд рухається стійко як при гальмуванні на прямій, так і на повороті.

Проведеними дослідженнями встановлено, що застосування гальмування коліс одного борту возика для корекції траєкторії напівпричепа ефективно при малих швидкостях руху, за яких забезпечуються як високі показники маневреності, так і не порушуються ще показники стійкості руху, проте отримані закономірності потребують експериментальної перевірки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОПОЇЗД, НАПІВПРИЧІП, МАНЕВРЕНІСТЬ, СПОСІБ УПРАВЛІННЯ ПОВОРОТОМ, СТІЙКІСТЬ.

ABSTRACT

Bosenko V.M., Timkov O.M., Yashchenko D.M., Korpach O.A. Dynamic control systems of a semi-trailer trolley. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

In the article, an analysis of the dynamic control systems of a semi-trailer trolley and control of the turning axles of a semi-trailer trolley were carried out.

The object of the research is the dynamic control systems of the wheels (axles) of a semi-trailer trolley.

The purpose of the work is a comparative assessment of the maneuverability of road trains under different laws and methods of controlling a semi-trailer truck using a dynamic way of turning the wheels of a semi-trailer trolley.

Research methods are analytical and comparative.

Today, the state of development of rolling stock of road transport is characterized by various types and types of cars, trailers and semi-trailers. For the transportation of large consignments of cargo, it is advisable to use road trains of various layout schemes. Along with the most common two-axle cars with front steered wheels, new designs with other layouts and steering control systems are increasingly being developed: cars and road trains with all steered wheels, multi-axle cars with different numbers and positions of steered wheels, cars with non-rotating wheels, articulated wheels machines etc. The large overall dimensions of the road train lead to a significant increase in its overall traffic lane and significantly complicate its management.

If a road train has controlled links, the difficulties arise in the fact that the study of the movement of such a motor vehicle is significantly complicated due to the need to take into account the influence of a large number of factors on the nature of their movement. The interaction of neighboring links during the movement of the road train eventually spreads to the entire vehicle and causes certain deviations of the components of the road train from the direction of movement set by the leading link (tractor). Taking into account that the road train is a means of increased danger, first of all, steps should be taken in the direction of research into the maneuverability of road trains, the results of which will be the basis for solving many technical issues.

The greatest efficiency of transportation will be achieved when the maximum permissible length of the road train and its maximum carrying capacity will be fully used. The use of road trains with controlled trailer links complicates the process of driving a road train. The interaction of the links of the road train affects the entire vehicle and causes certain deviations of its components from the direction of movement set by the leading link (truck).

The dynamic method of control is based on the use of tire elasticity, which allows you to create machines with non-rotating wheels and different degrees of rotation. This method is typical of a semi-trailer trolley.

The stability of the movement of the road train during braking, along with the effectiveness of the braking system, is quite important. With the normal movement of the road train and its correct braking, when braking forces are created on all wheels corresponding to the coupling mass that falls on them, without bringing the wheels to complete blocking, the movement is quite stable. Violation of the stability of the road train is usually associated with the onset of skidding of one of the axles of the car or trailer, the most common cause of which is the blocking of the braking wheels.

The main consequences of a disturbance of stability in the case of applying a temporarily acting disturbing lateral force applied to one or another axle of the road train is the skidding of this axle. If the

oscillations have a fading character, the movement of the road train continues normally. If the fluctuations in the process of movement increase, the movement of the road train becomes unstable. With proper braking, the road train moves steadily both when braking on a straight line and when turning.

The conducted research established that the use of wheel braking on one side of the truck to correct the trajectory of the semi-trailer trolley is effective at low speeds, at which both high maneuverability indicators are ensured and stability indicators are not violated, however, the obtained patterns require experimental verification.

KEYWORDS: ROAD TRAIN, SEMI-TRAILER, MANEUVERABILITY, CONTROL METHOD TRUNS, STABILITY.

АВТОРИ:

Босенко Володимир Миколайович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри автомобілів, e-mail: bosia4ok@ukr.net, тел. +380442804252, Україна 01010, м.Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к.306, orcid.org/306 0000-0002-9654-949X.

Тімков Олексій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри автомобілів, e-mail: o.timkov@ntu.edu.ua, тел. +380442804252, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1. к.306, orcid.org/0000-0002-7925-7030.

Ященко Дмитро Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри автомобілів, e-mail: y_d@ukr.net, тел. +380442804252, Україна 01010, м.Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к.306, orcid.org/0000-0003-3674-0089.

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:

Bosenko Vladimir M., Ph.D., National transport university, senior lecturer department of automobiles. e-mail: bosia4ok@ukr.net, tel. +380442804252, Ukraine 01010, Kiev, St. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, room 306, orcid.org/0000-0002-9654-949X.

Timkov Oleksii M., Ph.D., associate professor, National Transport University, associate professor department of automobiles, e-mail: o.timkov@ntu.edu.ua, tel. +380442804252, Ukraine, 01010, Kyiv, Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka Str. 1, of. 306, orcid.org/0000-0002-7925-7030.

Yaschenko Dmitriy M., Ph.D., associate professor, National transport university, associate professor department of fvtomobiles, e-mail: y_d@ukr.net, tel. +380442804252, Ukraine, 01010, Kyiv, Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka Str. 1, of. 306, orcid.org/0000-0003-3674-0089.

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:

Жаров Костянтин Сергійович, кандидат технічних наук, Начальник центру оцінки відповідності КТЗ та наукових досліджень системи технічного регулювання ДП «ДержавтотрансНДІпроект», Київ, Україна.

Ковбасенко Сергій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри інженерії машин транспортного будівництва, Київ, Україна.

REVIEWER:

Zharov Kostyantyn S., Ph.D., Head of the Center for Assessment of Compliance with Technical Regulations and Scientific Research of the System of Technical Regulation of State Enterprise «DerzhavtotransNDIproekt», Kyiv, Ukraine.

Kovbasenko Serhii V., Ph.D., associate professor, National Transport University, professor of the department of engineering of transport construction machines, Kyiv, Ukraine.

ЩОДО УМОВ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

Виговська І.А., Національний транспортний університет, Київ, Україна,
i.vyhovska2609@gmail.com, orcid.org /0000-0003-1426-9863

CONCERNING THE CONDITIONS OF TRAFFIC FLOWS ON THE NETWORK OF PUBLIC ROADS

Vyhovska I.A., National Transport University, Kiev, Ukraine, i.vyhovska2609@gmail.com,
orcid.org/0000-0003-1426-9863

Постановка проблеми.

Автомобільні дороги загального користування є складовою Єдиної транспортної системи України і задовольняють потреби суспільства в автомобільних пасажирських і вантажних перевезеннях. [1]. З кожним роком змінюється: рівень автомобілізації, задачі що виконують транспортні засоби, методи управління, об'єми руху, що призводять до заторів.

Аналіз останніх публікацій.

Дослідженням транспортних потоків на мережі автомобільних доріг загального користування, вивчення закономірностей руху займались багато вітчизняних та закордонних вчених: Хом'як А.Я., Поліщук В.П., Лановий О.Т., Янішевський С.В., Вознюк А.Б., Пальчик А.М.

Основні характеристики руху транспортних потоків та аналіз мережі доріг України розглянуто в роботах [2, 3];

У роботі [4] підвищення ефективності функціонування мережі автомобільних доріг на основі прогнозування попиту користувачів доріг на умови безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків, урахування вартості та термінів будівництва і витрат на утримання доріг, специфіки роботи дорожнього господарства, показників розвитку суспільства та економіки країни, а також розробка методу формування системи управління функціонуванням і розвитком мережі автомобільних доріг загального користування України.

У роботі [7] встановлено загальний вигляд рівнянь залежності середньої швидкості руху транспортного потоку від радіусів горизонтальних кривих та швидкості руху від поздовжнього похилу; проаналізований вплив дорожніх умов на швидкість руху, згідно дослідження графіків середніх швидкостей до та після покращення умов руху на ділянках дороги.

Мета: Удосконалення методів розподілу транспортних потоків при появі негативних впливів закриття ділянок мережі та необхідності виконання цільової функції транспорту.

Основна частина

Для вирішення завдання визначення та мінімізації сумарного впливу перешкод, що виникають на мережі автомобільних доріг загального користування, потрібно побудувати модель розподілу транспортних потоків на мережі автомобільних доріг загального користування через зменшення пропускної здатності або закриття руху на одному або кількох перегонах мережі автомобільних доріг.

Математичну модель оптимального розподілу потоків на мережі автомобільних доріг загального користування, як з точки зору довжини маршрутів, так і з точки зору часу проїзду, оскільки передбачається, що водії транспортних засобів, що здійснюють об'їзд місця виникнення перешкоди, вибирають маршрути об'їзду.

Побудову загальної моделі зручно розглядати, починаючи з формування вихідних даних. Як вихідні дані є необхідним розглянути три групи характеристик, що впливають на процес розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг:

- 1) характеристики мережі автомобільних доріг, до яких належать:
 - топологія мережі автомобільних доріг;
 - наявність магістральних доріг у заданій мережі автомобільних доріг;
 - геометричні елементи перегонів та перехресть;
 - величини пропускних здатностей перегонів та перехресть по напрямних руху;
 - тип та стан покриттів;

- дислокація на мережі точок входу та виходу транспортних потоків, що розподіляються.

Мережа автомобільних доріг має бути представлена певною кількістю перегонів та перехресть, перегони призначаються між перехрестями. У разі зміни геометричних характеристик, стану покриття або інших дорожніх умов протягом довжини перегону, вводяться додаткові умовні перегони.

2) характеристики транспортних потоків, що рухаються мережею автомобільних доріг, до яких належать [5]:

- величини інтенсивностей руху транспортних потоків на перегонах дорожньої мережі;
- величини середніх швидкостей руху транспортних потоків на перегонах дорожньої мережі залежно від інтенсивності руху та дорожніх умов;
- склад транспортних потоків на перегонах мережі автомобільних доріг.

3) характеристики перешкод руху транспорту, що виникають на мережі автомобільних доріг, до яких належать:

- топологія перешкод;
- ступінь впливу цієї перешкоди на величину пропускну здатність мережі автомобільних доріг;

Для побудови загальної моделі розподілу транспортних потоків мережі автомобільних доріг внаслідок зменшення пропускну здатності або закриття руху на одному з перегонів мережі необхідні також дані про існуючу схему організації руху, величини затримок на перехрестях залежно від їх характеристик, інтенсивностей відповідних потоків та способів регулювання.

При цьому будь-який транспортний потік між точками входу і виходу може бути розглянутий як транзитний, тобто загальна модель розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг зводиться до розподілу транзитних транспортних потоків.

Транзитність транспортного потоку не слід розуміти як рух тільки між точками входу та виходу мережі, оскільки можливі випадки формування потоків усередині мережі, транзитних по відношенню до будь-якої сукупності перегонів у середині мережі.

Побудова математичної моделі зручно ілюструвати з прикладу формалізованої мережі автомобільних доріг (рис. 1).

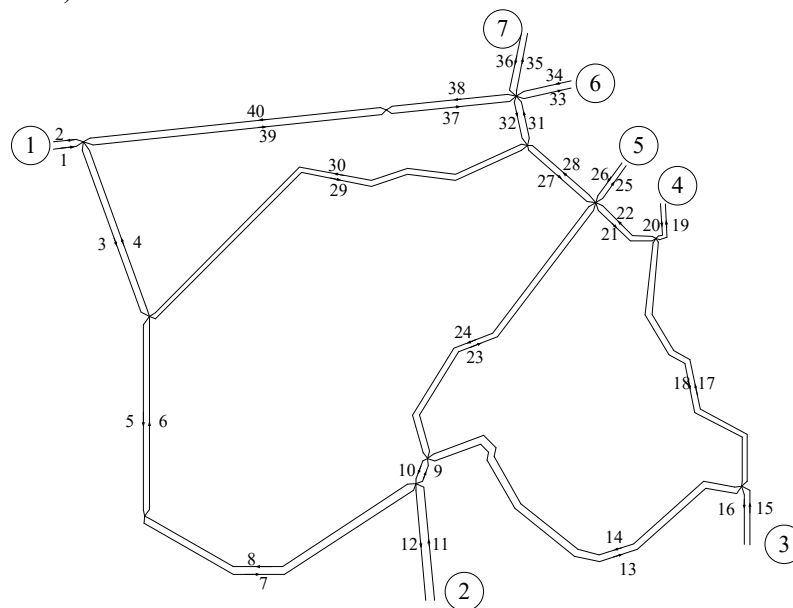


Рисунок 1 – Формалізована мережа автомобільних доріг загального користування.

Figure 1 – Formalized network of public roads.

1

- точки входу та виходу транспортних потоків;

1,2,3, ... - перегони між перехрестями мережі автомобільних доріг.

Причому якщо нумерація маршрутів може бути довільною, то нумерація перегонів встановлюється за наступною залежністю:

$$K = K(\xi, \eta, K_1) = \sum_{i=1}^{\xi-1} \left(\sum_{j=1}^{i-1} n_{i,j} + \sum_{j=i+1}^{\eta} n_{i,j} \right) + \sum_{i=1}^{\xi-1} n_{\xi,1} + \sum_{i=\xi+1}^{\eta-1} n_{\xi,i} + K_1 \quad (1)$$

де $K_1 = 1, 2, \dots, n_{\xi, \eta}$;

K – номер маршруту, що з'єднує ξ -й вихід з η -м входом;

ξ – номер точки входу;

η – номер точки виходу;

Відповідність між маршрутом і перегонем подається в матричній формі:

$$A = a_{k,z} \quad (2)$$

де $a_{k,z}$ елемент матриці, який рівний 1 за наявності відповідності та дорівнює 0 за відсутності відповідності;

z – номер перегону.

У зв'язку з тим, що кожному входу і ξ -ому виходу і η -ому виходу $\xi \neq \eta$ відповідає $n_{\xi, \eta}$ кількість маршрутів, то вхідний транспортний потік $N_{\xi, \eta}$, величина якого може змінюватися в часі, розподіляється тільки за $n_{\xi, \eta}$ кількістю маршрутів, причому має виконуватися така умова:

$$N_{\xi, \eta} = \sum_{K(\xi, \eta-1, 1)}^{K(\xi, \eta-1, n_{\xi, \eta})} N(k) \quad (3)$$

де $N(k)$ - інтенсивність руху розподілених транспортних потоків по k -м маршрутам руху.

Розподілені потоки на перегонах до k -го маршруту визначаються залежно:

$$N_z(k) = a_{k,z} N(k) \quad (4)$$

З урахуванням викладеного, цільова функція розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг без урахування затримок на перехрестях та місцевій інтенсивності має вигляд:

$$T_n = \sum_{z=1}^{m_n} \frac{l_z \sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k)}{V_z (\sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k))} \quad (5)$$

де T_n - сумарний час руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг;

l_z - довжина z -го перегону;

v_z - середня швидкість руху на z -ом перегоні, що залежить від інтенсивності руху на ньому.

Для визначення часу затримок на перехрестях необхідно врахувати розподіл транспортного потоку, що входить за напрямками, у зв'язку з чим будується матриця зв'язків перегонів.

$$B = b_{z,q} \quad (6)$$

де z - номер перегону, за яким транспортний потік входить на перехрестя;

q - номер перегону, за яким транспортний потік виходить із перехрестя;

$b_{z,q}$ - елемент матриці, що вказує на наявність зв'язку між перегонами, зв'язок існує при $b_{z,q} = 1$, відсутня зв'язок при $b_{z,q} = 0$, $z, q = 1, 2, \dots, m(n)$, $z \neq q$.

З урахуванням матриць (2) і (6) транспортний потік що розподіляється на перехресті розраховується за формулою:

$$N_{z,q} = b_{z,q} \sum_{k=1}^m a_{k,z} a_{k,q} N(k) \quad (7)$$

Величина сумарного часу затримок транспортних потоків, що розподіляються, на перехрестях визначається за залежністю:

$$T_y = \sum_{z=1}^{m_n} \sum_{q=1}^{m_n} b_{z,q} t_{z,q} (N_{z,q}) \quad (8)$$

де $t_{z,q}(N_{z,q})$ - величина затримок транспортних засобів у напрямку руху на перехресті.

Таким чином, цільова функція часу руху транспортних потоків, що розподіляються, мережею автомобільних доріг являє собою сумарний час руху транспортних потоків по перегонах і час їх затримки на перехрестях:

$$T_n = \sum_{z=1}^{m_n} \left(\frac{l_z \sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k)}{V_z (\sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k))} + \sum_{q=1}^{m_n} b_{z,q} t_{z,q} (N_{z,q}) \right) \quad (9)$$

Цільова функція розподілу транспортних потоків повинна враховувати місцеві інтенсивності руху на перегонах мережі. Тому функція (2.30) набуває вигляду:

$$T_n = \sum_{z=1}^{m_n} \left(\frac{l_z (N_{M,Z} + \sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k))}{V_z (N_{M,Z} + \sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k))} + \sum_{q=1}^{m_n} t_{z,q} (N_{M,Z,q} + b_{z,q} \sum_{k=1}^m a_{k,z} a_{k,q} N_T(k)) \right) \quad (10)$$

де $N_T(k)$ - розподілений транспортний потік по k-му маршруту;

$N_{M,Z}$ - інтенсивність руху не розподіленого транспортного потоку по z-му перегону.

$N_{M,Z,q}$ - інтенсивність руху транспортного потоку, що не розподіляється, між z-м і q-м перегонами.

Оптимізація за критерієм (10) провадиться за умови виключення виникнення заторних ситуацій на перехрестях та перегонах мережі автомобільних доріг регіону:

$$\begin{aligned} 0 &\leq \sum_{k=1}^m a_{k,z} N_T(k) \leq N_{MAX,Z} - N_{M,Z} \\ 0 &\leq b_{z,q} \sum_{k=1}^m a_{k,z} a_{k,q} N_T(k) \leq N_{MAX,Z,q} - N_{M,Z,q} \end{aligned} \quad (11)$$

для всіх $Z, q = 1, 2, \dots, m_n; z \neq q$ і умови збереження розподіленого потоку:

$$N_{\xi,\eta} = \sum_{K(\xi,\eta-1,1)}^{K(\xi,\eta-1, n_{\xi,\eta})} N_T(k) \quad (12)$$

де $N_{MAX,Z}$ - пропускна здатність z-го перегону;

$N_{MAX,Z,q}$ - пропускна здатність перехрестя при підході з z-го перегону до q-го перехрестя.

Мінімізація критеріальної функції (10) при виконанні граничних умов (11) та (12) дає оптимальний розподіл потоків мережею автомобільних доріг. Аналіз цієї функції при введенні перешкод руху на різних ділянках мережі автомобільних доріг дає можливість провести оцінку сумарного впливу цих перешкод на рух транспорту в цілому по мережі та визначити допустимий рівень цього впливу.

В результаті буде сформовано:

- напрями руху транзитних транспортних потоків, що розподіляються;
- пріоритети напрямів руху;
- маршрути для розподілу транзитних транспортних потоків у кожному напрямку руху;
- перегони, з яких складається кожен маршрут транзитних транспортних потоків, що розподіляються;
- перехрестя магістральної мережі автомобільних доріг, через які проходять маршрути транспортного потоку, що розподіляється;
- характеристики пропускної здатності перехресть, перегонів і напрямів руху розподіляються транспортних потоків;
- величини місцевих інтенсивностей руху на кожному з перегонів та його розподіл кожному перехресті;
- геометричні характеристики кожного перегону;
- величини інтенсивностей транспортних потоків, що підлягають розподілу;
- залежності зміни середньої швидкості руху від інтенсивності руху кожного перегону;
- залежності, що визначають величини затримок транспортних потоків від інтенсивностей руху на перехрестях магістральної мережі.

Висновки.

Розподіл транспортних потоків, отриманий у вигляді величин інтенсивності руху, що прямують паралельними маршрутами, є одночасно оптимізацією розподілу транспортного потоку, що здійснює об'їзд перешкоди руху, тобто ті маршрути, на які буде направлений транзитний для даної ділянки мережі автомобільних доріг транспортний потік, будуть оптимальними маршрутами об'їзду.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Закон України від 08.09.2005 р. №2862-IV «Про автомобільні дороги». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2862-15>
2. Хом'як А.Я. Вивчення характеристик руху транспортних потоків. / А.Я. Хом'як, Ю.А. Лісовол // Вісник НТУ. – 2012. – Вип. 20 Режим доступу: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/26_1_2013/104-108.pdf
3. Вознюк А.Б. Мережа автомобільних доріг України та сучасні транспортні потоки./ А.Б. Вознюк// Збірник «Дороги і мости». – 2014. – Вип. 14. С. 111-124 Режим доступу: http://dorogimosti.org.ua/files/upload/iR_18.pdf
4. 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.
5. Поліщук В.П., О.П. Дзюба. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху : навч. посіб. Київ, 2008. С. 49 – 169.
6. Дрю Д.Р. Теорія транспортних потоків и управление ими: пер. с англ. Москва, 1972. С. 424
7. Пальчик А.М. Розроблення заходів з покращення дорожніх умов на ділянках автомобільних доріг на основі аналізу умов руху/Неісвестний С.В., Пальчик А.М., Неісвесна Н.В., Додух К.М., Збірник наукових праць «Дороги і мости» – 2021. Вип.24 – С159 – 168.
8. Луканин В.Н. Автотранспортные потоки и окружающая среда /В.Н. Луканин, А.П. Буслаев, М.В. Яшина, – М.:ИНФА-М, 2001. –646с.

REFERENCES

- 1 -Zakon Ukrayiny «Pro avtomobilni dorohy» [Law of Ukraine «On Highways»]. (2005). zakon5.rada.gov.ua. Retrieved from <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2862-15>. [in Ukrainian].

2 Khomiak A.I. Lisovol Y.A. Vyvchennia kharakterystyk rukhu transportnykh potokiv [Studying the characteristics of traffic flows] *Visnik Natsionalnoho transportnoho universitetu* [Bulletin of the National transport university], 2012, issue 20, pp104-108. (Ukr).

3 Vozniuk A.B. *Merezha avtomobilnykh dorih Ukrainy ta suchasni transportni potoky* [The highway network of Ukraine and modern traffic flows]. *Zbinyk «Dorohy i mosty»* [Zbinyk "Roads and Bridges"], 2012, issue 14, pp 111-124. (Ukr)

4 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].

5 Polishchuk V.P., O.P. Dzyuba. *Teoriya transportnogo potoku: metodi ta modeli organizacii dorozhn'ogo ruhu* [Theory of traffic flow: methods and models of traffic management]: navch. posib. Kiev, 2008. P. 49–169 [in Ukrainian].

6 Dryu D.R. *Teoriya transportnih potokov i upravlenie imi*: per. s angl. [Theory of traffic flows and their management] Moskva, 1972. 424 p. [in Russian].

7 Neisvestnyi S.V., Palchyk A.M., Neizvesna N.V., Dodukh K.M. *Rozroblennia zakhodiv z pokrashchennia dorozhnikh umov na dilyankakh avtomobilnykh dorih na osnovi analizu umov rukhu* [Razroblennya zahodiv z poshchennja dorozhnikh minds dilyanki avtovilih dorig nasovini analysis razori ruhu] *Zbinyk «Dorohy i mosty»* [Zbinyk «Roads and Bridges»], 2021, issue 24, pp 159-168. (Ukr)

8 Lukanyan V.N., Buslaev A.P., Yashyna M.V. *Avtotransportnye potoky y okruzhaiushchaia sreda* [Traffic flows and the environment] Moskva, INFA, 2001. –646p.

РЕФЕРАТ

Виговська І.А. Щодо умов руху транспортних потоків на мережі автомобільних доріг загального користування / І.А. Виговська // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53)

З кожним роком змінюється: рівень автомобілізації, задачі що виконують транспортні засоби, методи управління, об'єми руху, що призводять до заторів.

Розроблена моделі розподілу транспортних потоків на мережі автомобільних доріг через зменшення пропускної здатності або закриття руху на одному або кількох перегонах мережі автомобільних доріг.

Математичну модель оптимального розподілу потоків на мережі автомобільних доріг загального користування, як з точки зору довжини маршрутів, так і з точки зору часу проїзду.

Мета: Удосконалення методів розподілу транспортних потоків при появі негативних впливів закриття ділянок мережі та необхідності виконання цільової функції транспорту.

Об'єкт дослідження: рух транспортних потоків

Розподіл транспортних потоків, отриманий у вигляді величин інтенсивності руху, що прямують паралельними маршрутами, є одночасно оптимізацією розподілу транспортного потоку, що здійснює об'їзд перешкоди руху, тобто ті маршрути, на які буде направлений транзитний для даної ділянки мережі автомобільних доріг транспортний потік, будуть оптимальними маршрутами об'їзду.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТРАНСПОРТНИЙ ПОТІК, ІНТЕНСИВНІСТЬ РУХУ, МЕРЕЖА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

ABSTRACT

Vyhovska I.A. Regarding traffic flow conditions on the network of public highways. *Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal.* – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

Every year changes: the level of motorization, tasks performed by vehicles, management methods, volumes of traffic that lead to traffic jams.

The model of the distribution of traffic flows on the highway network due to the reduction of capacity or the closure of traffic on one or more stretches of the highway network has been developed.

A mathematical model of the optimal distribution of flows on the network of public highways, both in terms of route length and travel time.

Purpose: Improvement of the methods of distribution of traffic flows in the event of negative effects of closing sections of the network and the need to fulfill the target function of transport.

Object of research: the movement of traffic flows.

The distribution of traffic flows, obtained in the form of traffic intensity values going along parallel routes, is at the same time the optimization of the distribution of the traffic flow bypassing the traffic obstacle, that is, those routes to which the transit traffic flow for this section of the highway network will be directed will be optimal detour routes.

KEYWORDS: TRAFFIC FLOW, TRAFFIC INTENSITY, MOTOR ROAD NETWORK

АВТОР:

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:

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.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Поліщук Володимир Петрович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри транспортні системи та безпеки дорожнього руху. Київ, Україна.

Кисельов Володимир Борисович, доктор технічних наук, професор, директор навчально-наукового 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.

ЛІНІЙНІ РОЗШИРЕННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ З ІМПУЛЬСНИМ ЗБУРЕННЯМ

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

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

Мейш Ю.А., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, y.meish@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0001-7492-700X

LINEAR EXTENSIONS OF DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH IMPULSE INFLUENCE

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

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

Meish Yu. A., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, y.meish@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0001-7492-700X

Постановка проблеми.

Необхідність вивчення систем диференціальних рівнянь з розривними траєкторіями викликана, перш за все, запитами сучасної техніки [1-2], де імпульсні системи автоматичного регулювання, імпульсні обчислювальні системи займають помітне місце та інтенсивно розвиваються, розширюючи коло своїх застосувань.

З точки зору теорії та практичного значення важливим є вивчення властивостей обмежених на усій осі чи півосі розв'язків диференціальних рівнянь, що зазнають короткочасних збурень. А також інтегральних поверхонь, тобто, множин розв'язків, які покривають певні поверхні розширеного фазового простору [3-4].

Метою даної роботи є подальше дослідження [5-6] питання існування інтегральних поверхонь лінійних розширень диференціальних рівнянь, що зазнають імпульсного збурення. Отримані результати можуть бути використані при вивченні складних коливальних явищ в системах, котрі піддаються короткочасним збуренням.

Виклад основного матеріалу.

Розглянемо систему диференціальних рівнянь

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi}{dt} &= a(t, \varphi), \quad \frac{dx}{dt} = A(t, \varphi)x + f(t, \varphi), \quad t \neq \tau_i, \\ \Delta x|_{t=\tau_i} &= B_i(\varphi)x + I_i(\varphi), \end{aligned} \quad (1)$$

в якій $a(t, \varphi)$, $f(t, \varphi)$, $I_i(\varphi)$ – неперервні функції своїх аргументів при всіх $t \in R$, $\varphi \in T^m$, $\varphi = (\varphi_1, \dots, \varphi_m)$, періодичні по φ_α ($\alpha = \overline{1, m}$) з періодом 2π . Матричні функції $A(t, \varphi)$ та $B_i(\varphi)$ – неперервні по t, φ , 2π -періодичні по φ_α , $\alpha = \overline{1, m}$ і рівномірно відносно $t \in R$ та $i \in Z$ обмежені.

Зробимо припущення, що функція $a(t, \varphi)$ задовільняє умову Ліпшиця по φ , рівномірно відносно $t \in R$, тобто

$$\|a(t, \varphi_1) - a(t, \varphi_2)\| \leq l \|\varphi_1 - \varphi_2\|. \quad (2)$$

Припускаємо також, що

$$\sup_{t \in R} \max_{\varphi \in T^m} \|f(t, \varphi)\| + \sup_{i \in Z} \max_{\varphi \in T^m} \|I_i(\varphi)\| = m < \infty,$$

а моменти τ_i імпульсного збурення такі, що існує скінченна границя

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{i(t+T, t)}{T} = p. \quad (3)$$

В силу нерівності (2) для довільної пари (t_0, φ) , $t_0 \in R$, $\varphi \in T^m$ розв'язок першого з рівнянь (1), $\varphi_t(t_0, \varphi)$, $\varphi_{t_0}(t_0, \varphi) = \varphi$ існує і може бути продовжений на всю числову вісь R .

Нехай $\varphi_t(t_0, \varphi)$ – загальний розв'язок зазначеного рівняння, який залежить від $t_0 \in R$ та $\varphi \in T^m$ як від параметрів. Розглянемо систему рівнянь з імпульсним збуренням

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= A(t, \varphi_t(t_0, \varphi))x + f(t, \varphi_t(t_0, \varphi)), \quad t \neq \tau_i, \\ \Delta x|_{t=\tau_i} &= B_i(\varphi_{\tau_i}(t_0, \varphi))x + I_i(\varphi_{\tau_i}(t_0, \varphi)). \end{aligned} \quad (4)$$

Позначимо через $\Omega_\tau^t(t_0, \varphi)$ матрицант системи рівнянь

$$\frac{dx}{dt} = A(t, \varphi_t(t_0, \varphi))x, \quad t \neq \tau_i, \quad \Delta x|_{t=\tau_i} = B_i(\varphi_{\tau_i}(t_0, \varphi))x. \quad (5)$$

Покажемо, що

$$\Omega_\tau^t(\theta, \varphi_\theta(t_0, \varphi)) = \Omega_\tau^t(t_0, \varphi) \quad (6)$$

для довільних $t, \tau, \theta \in R$.

Для цього в тотожностях, які визначають $\Omega_\tau^t(t_0, \varphi)$

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \Omega_\tau^t(t_0, \varphi) &= A(t, \varphi_t(t_0, \varphi)) \Omega_\tau^t(t_0, \varphi), \quad t \neq \tau_i, \\ \Delta \Omega_\tau^{\tau_i}(t_0, \varphi) &= B_i(\varphi_{\tau_i}(t_0, \varphi)) \Omega_\tau^{\tau_i}(t_0, \varphi) \end{aligned}$$

замінімо t_0 на θ і φ на $\varphi_\theta(t_0, \varphi)$. Маємо

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \Omega_\tau^t(\theta, \varphi_\theta(t_0, \varphi)) &= A(t, \varphi_t(\theta, \varphi_\theta(t_0, \varphi))) \Omega_\tau^t(\theta, \varphi_\theta(t_0, \varphi)), \quad t \neq \tau_i, \\ \Delta \Omega_\tau^{\tau_i}(\theta, \varphi_\theta(t_0, \varphi)) &= B_i(\varphi_{\tau_i}(\theta, \varphi_\theta(t_0, \varphi))) \Omega_\tau^{\tau_i}(\theta, \varphi_\theta(t_0, \varphi)). \end{aligned}$$

Звідси з урахуванням співвідношення

$$\varphi_t(\theta, \varphi_\theta(t_0, \varphi)) = \varphi_t(t_0, \varphi) \quad (7)$$

отримаємо

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}\Omega_\tau^t(\theta, \varphi_\theta(t_0, \varphi)) &= A(t, \varphi_t(t_0, \varphi))\Omega_\tau^t(\theta, \varphi_\theta(t_0, \varphi)), \quad t \neq \tau_i, \\ \Delta\Omega_\tau^{\tau_i}(\theta, \varphi_\theta(t_0, \varphi)) &= B_i(\varphi_{\tau_i}(t_0, \varphi))\Omega_\tau^{\tau_i}(\theta, \varphi_\theta(t_0, \varphi)).\end{aligned}$$

Із останніх співвідношень слідує, що $\Omega_\tau^t(\theta, \varphi_\theta(t_0, \varphi))$ є матрицантом системи рівнянь (5), а тому співпадає з $\Omega_\tau^t(t_0, \varphi)$, що і доводить рівність (6).

Нехай $C(\varphi)$ – неперервна при $\varphi \in T^m$ обмежена матриця. Приймемо

$$G_\tau^t(t_0, \varphi) = \begin{cases} \Omega_\tau^t(t_0, \varphi)C(\varphi_\tau(t_0, \varphi)), & \tau \leq t, \\ \Omega_\tau^\tau(t_0, \varphi)(C(\varphi_\tau(t_0, \varphi)) - E), & \tau > t \end{cases} \quad (8)$$

і назвемо $G_\tau^t(t_0, \varphi)$ функцією Гріна системи рівнянь

$$\begin{aligned}\frac{d\varphi}{dt} &= a(t, \varphi), \quad \frac{dx}{dt} = A(t, \varphi)x, \quad t \neq \tau_i, \\ \Delta x|_{t=\tau_i} &= B_i(\varphi)x,\end{aligned} \quad (9)$$

якщо лишень

$$\int_{-\infty}^{\infty} \|G_\tau^t(t_0, \varphi)\| d\tau + \sum_{-\infty < \tau_i < \infty} \|G_{\tau_i}^t(t_0, \varphi)\| \leq K < \infty \quad (10)$$

при довільних $t \in R$, $\varphi \in T^m$.

Із означення функції $G_\tau^t(t_0, \varphi)$ випливає, що

$$G_\tau^{\tau+0}(t_0, \varphi) - G_\tau^\tau(t_0, \varphi) = E.$$

Крім того, у силу співвідношення (6) справедлива рівність

$$G_\tau^t(\theta, \varphi_\theta(t_0, \varphi)) = G_\tau^t(t_0, \varphi). \quad (11)$$

З цієї рівності випливає, що матриця

$$G_{t_0}^t(t, \varphi_t(t_0, \varphi)) = G_{t_0}^t(t_0, \varphi) = \begin{cases} \Omega_{t_0}^t(t_0, \varphi)C(\varphi), & t \geq t_0, \\ \Omega_{t_0}^t(t_0, \varphi)(C(\varphi) - E), & t < t_0 \end{cases}$$

складається із розв'язків системи (5), які розглядаються при $t \geq t_0$ та $t < t_0$.

Розглянемо вираз

$$\int_{-\infty}^{\infty} G_\tau^t(t_0, \varphi)f(\tau, \varphi_\tau(t_0, \varphi))d\tau + \sum_{-\infty < \tau_i < \infty} G_{\tau_i}^t(t_0, \varphi)I_i(\varphi_{\tau_i}(t_0, \varphi)).$$

за рахунок вимоги (10) цей вираз скінченний при всіх $t \in R$, $t_0 \in R$, $\varphi \in T^m$.

Позначимо

$$u(t, \varphi) = \int_{-\infty}^{\infty} G_{\tau}^t(t, \varphi) f(\tau, \varphi_{\tau}(t, \varphi)) d\tau + \sum_{-\infty < \tau_i < \infty} G_{\tau_i}^t(t, \varphi) I_i(\varphi_{\tau_i}(t, \varphi)) \quad (12)$$

і покажемо, що

$$\Gamma = \{(t, \varphi, x) : x = u(t, \varphi), \quad t \in R, \quad \varphi \in T^m\} \quad (13)$$

є інтегральною множиною системи рівнянь (1). Для цього потрібно перекопати в тому, що якщо $\varphi_t(t_0, \varphi)$ довільний розв'язок першого з рівнянь системи (1), то $(\varphi_t(t_0, \varphi), u(t, \varphi_t(t_0, \varphi)))$ є розв'язком цієї системи рівнянь. Іншими словами, функція

$$x = u(t, \varphi_t(t_0, \varphi))$$

є розв'язком системи рівнянь (4). У відповідності до співвідношень (7), (11) функція $u(t, \varphi_t(t_0, \varphi))$ допускає представлення

$$\begin{aligned} u(t, \varphi_t(t_0, \varphi)) &= \int_{-\infty}^{\infty} G_{\tau}^t(t, \varphi_t(t_0, \varphi)) f(\tau, \varphi_{\tau}(t, \varphi_t(t_0, \varphi))) d\tau + \sum_{-\infty < \tau_i < \infty} G_{\tau_i}^t(t, \varphi_t(t_0, \varphi)) I_i(\varphi_{\tau_i}(t, \varphi_t(t_0, \varphi))) = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} G_{\tau}^t(t_0, \varphi) f(\tau, \varphi_{\tau}(t_0, \varphi)) d\tau + \sum_{-\infty < \tau_i < \infty} G_{\tau_i}^t(t_0, \varphi) I_i(\varphi_{\tau_i}(t_0, \varphi)), \end{aligned}$$

диференціюючи яке при $t \neq \tau_i$, маємо

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} u(t, \varphi_t(t_0, \varphi)) &= A(t, \varphi_t(t_0, \varphi)) \left[\int_{-\infty}^{\infty} G_{\tau}^t(t_0, \varphi) f(\tau, \varphi_{\tau}(t_0, \varphi)) d\tau + \sum_{-\infty < \tau_i < \infty} G_{\tau_i}^t(t_0, \varphi) I_i(\varphi_{\tau_i}(t_0, \varphi)) \right] + \\ &+ C(\varphi_t(t_0, \varphi)) f(t, \varphi_t(t_0, \varphi)) + (E - C(\varphi_t(t_0, \varphi))) f(t, \varphi_t(t_0, \varphi)) = \\ &= A(t, \varphi_t(t_0, \varphi)) u(t, \varphi_t(t_0, \varphi)) + f(t, \varphi_t(t_0, \varphi)) \end{aligned}$$

для довільного $t \in R$, $t \neq \tau_i$. При $t = \tau_i$ знаходимо, що

$$\begin{aligned} u(\tau_i + 0, \varphi_{\tau_i+0}(t_0, \varphi)) - u(\tau_i, \varphi_{\tau_i}(t_0, \varphi)) &= \int_{-\infty}^{\infty} [G_{\tau}^{\tau_i+0}(t_0, \varphi) - G_{\tau}^{\tau_i}(t_0, \varphi)] f(\tau, \varphi_{\tau}(t_0, \varphi)) d\tau + \\ &+ \sum_{-\infty < \tau_j < \infty} [G_{\tau_j}^{\tau_i+0}(t_0, \varphi) - G_{\tau_j}^{\tau_i}(t_0, \varphi)] I_j(\varphi_{\tau_j}(t_0, \varphi)) + \\ &+ C(\varphi_{\tau_i}(t_0, \varphi)) I_i(\varphi_{\tau_i}(t_0, \varphi)) + (E - C(\varphi_{\tau_i}(t_0, \varphi))) I_i(\varphi_{\tau_i}(t_0, \varphi)) = \\ &= B_i(\varphi_{\tau_i}(t_0, \varphi)) \left[\int_{-\infty}^{\infty} G_{\tau}^{\tau_i}(t_0, \varphi) f(\tau, \varphi_{\tau}(t_0, \varphi)) d\tau + \sum_{-\infty < \tau_j < \infty} G_{\tau_j}^{\tau_i}(t_0, \varphi) I_j(\varphi_{\tau_j}(t_0, \varphi)) \right] + \\ &+ I_i(\varphi_{\tau_i}(t_0, \varphi)) = B_i(\varphi_{\tau_i}(t_0, \varphi)) u(\tau_i, \varphi_{\tau_i}(t_0, \varphi)) + I_i(\varphi_{\tau_i}(t_0, \varphi)). \end{aligned}$$

Останні співвідношення доводять, що множина (13) є інтегральною множиною системи рівнянь (1).

Виходячи із вище зазначеного, можемо сформулювати наступне твердження, яке визначає достатні умови існування інтегральної множини рівнянь (1).

Теорема. Нехай система рівнянь (1) така, що виконується нерівність (2), співвідношення (3) та існує функція Гріна $G_{\tau}^t(t_0, \varphi)$, яка задовільняє нерівність (10). Тоді система рівнянь (1) має інтегральну множину $x = u(t, \varphi)$, яка визначається рівністю (12) і задовільняє оцінці

$$\sup_{t \in R} \max_{\varphi \in T^m} \|u(t, \varphi)\| \leq K \left[\sup_{t \in R} \max_{\varphi \in T^m} \|f(t, \varphi)\| + \sup_{i \in Z} \max_{\varphi \in T^m} \|I_i(\varphi)\| \right].$$

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Самойленко А.М., Станжицький О.М. Якісний та асимптотичний аналіз диференціальних рівнянь з випадковими збуреннями. – Київ: Наукова думка, 2009.
2. Самойленко А.М., Перестюк Н.А. Дифференциальные уравнения с импульсным воздействием. – Киев: Вища шк., 1987. – 286 с.
3. Перестюк Н.А. Инвариантные множества одного класса разрывных динамических систем // Укр.мат.журн. – 1984. – 36, №1. – С.63-68.
4. Парасюк І.О., Перестюк М.О. Локальний аналіз нелінійних диференціальних рівнянь. – Кам'янець-Подільський: Аксіома, 2013.
5. Білобрицька О.І., Вишенська О.В., Мейш Ю.А. Про інваріантну множину однієї динамічної системи // Новітні технології, № 1(13) 2022, С.29-36.
6. Вишенська О.В. Про існування інваріантного тора одного класу розривних динамічних систем// Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки» Науковий журнал. Випуск 1 (51), 2022, С.48-54.

REFERENCES

1. Samoilenko A.M., Stanzhytskyi O.M. «Yakisnyi ta asymptotychnyi analiz dyferentsialnykh rivnian z vypadkovymy zburenniamy» Kyiv, Naukova dumka, 2009.
2. Samoilenko A.M., Perestiuk N.A. «Dyfferentsyalnye uravneniya s ympulsnym vozdeistviyem» Kyev, Vyshcha shk., 1987. P.286.
3. Perestiuk N.A. (1984). *Ynvaryantnye mnozhestva odnogo klasya razryvnykh dynamycheskykh system - Ukr.mat.zhurn.*, 36 (№1), 63-68 [in Russian].
4. Parasiuk I.O., Perestiuk M.O. «Lokalnyi analiz neliniinykh dyferentsialnykh rivnian» Kamianets-Podilskyi, Aksioma, 2013.
5. Bilobrytska O.I., Vyshenska O.V., Meysh Yu. A. (2022) *Pro invariantnu mnozhynu odniyei dynamichnoyi systemy - Novitni texnologiyi*, № 1(13), 29-36.
6. Vyshenska O.V. (2022) *Pro isnuvannya invariantnogo tora odnogo klasu rozryvnykh dynamichnykh system β Visnyk Nacionalnogo transportnogo universytetu. Seriya «Texnichni nauky» Naukovyy zhurnal. Vypusk 1 (51), 48-54.*

РЕФЕРАТ

Вишенська О.В. Лінійні розширення диференціальних рівнянь з імпульсним збуренням / О.В. Вишенська, О.І. Білобрицька, Ю.А. Мейш // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Досліджується питання існування інтегральної множини одного класу систем диференціальних рівнянь, що зазнають імпульсного збурення. Необхідність вивчення таких систем зумовлена багатьма прикладними задачами, наприклад, нелінійної механіки. Вони можуть слугувати математичною моделлю еволюційних процесів з короткочасними збуреннями. Отримані результати можуть бути використані при вивченні складних коливальних явищ в системах, котрі піддаються імпульсному збуренню.

Розглянуто лінійні розширення диференціальних рівнянь з імпульсним збуренням, тобто системи виду

$$\frac{d\varphi}{dt} = a(t, \varphi), \quad \frac{dx}{dt} = A(t, \varphi)x + f(t, \varphi), \quad t \neq \tau_i,$$

$$\Delta x|_{t=\tau_i} = B_i(\varphi)x + I_i(\varphi),$$

де $a(t, \varphi), f(t, \varphi), I_i(\varphi)$ неперервні функції своїх аргументів для усіх $t \in R, \varphi \in T^m, \varphi = (\varphi_1, \dots, \varphi_m)$ періодичні по $\varphi_\alpha, (\alpha = \overline{1, m})$ з періодом 2π . Матричні функції $A(t, \varphi)$ та $B_i(\varphi)$ неперервні по $t, \varphi, 2\pi$ -періодичні по $\varphi_\alpha, \alpha = \overline{1, m}$ та обмежені за усіх $t \in R, i \in Z$. Припускаємо також, що функція $a(t, \varphi)$ задовольняє умові Ліпшиця по φ рівномірно відносно $t \in R$, а моменти імпульсного збурення τ_i такі, що існує границя

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{i(t+T, t)}{T} = p,$$

де $i(t, t+T)$ – кількість точок τ_i на відрізку $[t, t+T]$.

Встановлено умови, за яких дані рівняння мають інтегральну множину

$$\Gamma = \{(t, \varphi, x) : x = u(t, \varphi), \quad t \in R, \quad \varphi \in T^m\}$$

де

$$u(t, \varphi) = \int_{-\infty}^{\infty} G_\tau^t(t, \varphi) f(\tau, \varphi_\tau(t, \varphi)) d\tau + \sum_{-\infty < \tau_i < \infty} G_{\tau_i}^t(t, \varphi) I_i(\varphi_{\tau_i}(t, \varphi)),$$

$G_\tau^t(t_0, \varphi)$ – відповідна функція Гріна задачі про обмежені на усій осі розв'язки, $\varphi_t(t_0, \varphi)$ – загальний розв'язок першого з рівнянь даної системи.

Однією з достатніх умов наявності інтегральної множини є існування функції Гріна $G_\tau^t(t_0, \varphi)$, що задовольняє за усіх $t \in R, \varphi \in T^m$ нерівність

$$\int_{-\infty}^{\infty} \|G_\tau^t(t_0, \varphi)\| d\tau + \sum_{-\infty < \tau_i < \infty} \|G_{\tau_i}^t(t_0, \varphi)\| \leq K < \infty.$$

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

ABSTRACT

Vyshenska O.V., Bilobrytska O.I., Meish Yu. A. Linear extensions of differential equations with impulse influence. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The issue of the existence of an integral set of one class of systems of differential equations undergoing impulse perturbation is investigated. The need to study such systems is due to many applied problems, for example, nonlinear mechanics. They can serve as a mathematical model of evolutionary processes with short-term disturbances. The obtained results can be used in the study of complex oscillatory phenomena in systems subject to impulse disturbances.

Linear expansions of differential equations with impulse perturbation, i.e. systems of the form, are considered

$$\frac{d\varphi}{dt} = a(t, \varphi), \quad \frac{dx}{dt} = A(t, \varphi)x + f(t, \varphi), \quad t \neq \tau_i,$$

$$\Delta x|_{t=\tau_i} = B_i(\varphi)x + I_i(\varphi),$$

where $a(t, \varphi), f(t, \varphi), I_i(\varphi)$ continuous functions of their arguments for all $t \in R, \varphi \in T^m, \varphi = (\varphi_1, \dots, \varphi_m)$ periodic by $\varphi_\alpha, (\alpha = \overline{1, m})$ with period 2π . Matrix functions $A(t, \varphi)$ and $B_i(\varphi)$ continuous by $t, \varphi, 2\pi$ -periodic by $\varphi_\alpha, \alpha = \overline{1, m}$ and limited for all $t \in R, i \in Z$. We also

assume that the function $a(t, \varphi)$ satisfies the Lipschitz condition for φ evenly relatively $t \in R$, and moments of impulse disturbance τ_i such that there is a limit

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{i(t+T, t)}{T} = p,$$

where $i(t, t+T)$ – number of points τ_i on a segment $[t, t+T]$.

The conditions under which these equations have an integral set have been established

$$\Gamma = \{(t, \varphi, x) : x = u(t, \varphi), \quad t \in R, \quad \varphi \in T^m\}$$

where

$$u(t, \varphi) = \int_{-\infty}^{\infty} G_{\tau}^t(t, \varphi) f(\tau, \varphi_{\tau}(t, \varphi)) d\tau + \sum_{-\infty < \tau_i < \infty} G_{\tau_i}^t(t, \varphi) I_i(\varphi_{\tau_i}(t, \varphi)),$$

$G_{\tau}^t(t_0, \varphi)$ – the corresponding Green's function of the problem of solutions bounded on the entire axis,

$\varphi_i(t_0, \varphi)$ – the general solution of the first of the equations of this system.

One of the sufficient conditions for the existence of an integral set is the existence of a Green's function $G_{\tau}^t(t_0, \varphi)$, which is satisfactory for all $t \in R$, $\varphi \in T^m$ inequality

$$\int_{-\infty}^{\infty} \|G_{\tau}^t(t_0, \varphi)\| d\tau + \sum_{-\infty < \tau_i < \infty} \|G_{\tau_i}^t(t_0, \varphi)\| \leq K < \infty.$$

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

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.

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.

Мейш Юлія Анатоліївна, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри вищої математики, e-mail: y.meish@ntu.edu.ua, тел. +38(044) 280-71-09, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, orcid.org/0000-0001-7492-700X.

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.

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

Meish Yu. A., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University tel. +38(044) 280-71-09, Ukraine, 01103, Kyiv, Boichuk str., 42, e-mail: y.meish@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0001-7492-700X

РЕЦЕНЗЕНТИ:

А.Н. Аль-Амморі, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор, завідувач кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, Київ, Україна.

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

REVIEWERS:

Al-Ammouri Ali, Dr. Sci., (Engineering), Professor, National Transport University, Professor, Head of the Department of Information Analysis and Information Security, Kyiv, Ukraine.

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

СТРУКТУРИ ПОРТФЕЛІВ ПРОЄКТІВ ГРОМАДСЬКОЇ УЧАСТІ

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

Божок Ю.О., Національний транспортний університет, Київ, Україна, bozhok2008@bigmir.net, orcid.org/0000-0002-0404-0961

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

Петунін А.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, petunin.andrew@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8072-6842

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

STRUCTURING OF PUBLIC PARTICIPATION PROJECT PORTFOLIOS

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

Bozhok Y.O., National Transport University, Kyiv, Ukraine, bozhok2008@bigmir.net, Ukraine, 01010, Kyiv, Omeljanovich-Pavlenko str. 1, orcid.org/0000-0002-0404-0961.

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

Petunin A.V., PhD, National Transport University, Kyiv, Ukraine, petunin.andrew@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8072-6842

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

Постановка проблеми. В різних країнах світу натеper спостерігаються високі темпи росту загальної кількості поданих і прийнятих до реалізації проєктів громадської участі (проєктів ГУ) і бюджетів, які виділяються на них. Зокрема, в м. Києві кількість прийнятих до реалізації проєктів ГУ зросла від 62 у 2017 р. до 351 у 2021 р. (на 2022 р. було заплановано до реалізації 393 проєкти), а відповідний бюджет зріс із 50 млн. грн. у 2017 р. до 170 млн. грн. у 2021 р. (на 2022 р. було заплановано виділення 200 млн. грн.). Зазначене вимагає підвищення результативності і ефективності управління такими проєктами – як в цілому, так і за виокремлюваними складовими, а саме: здоров'я, освіта, транспорт тощо.

В сучасних умовах підвищення результативності і ефективності управління проєктами, все в більшій мірі, пов'язується із застосуванням методологічних підходів портфельного управління. При цьому, як наголошується в наукових роботах та інших джерелах інформації, не існує єдиної, загальновизнаної і затвердженої через відповідні стандарти, типології портфелів проєктів, які реалізуються в бізнесовій і небізнесовій сферах. Так, наводяться приклади структурування портфелів проєктів за: цільовою орієнтацією; ступенем зв'язку зі стратегією; типом нарощування активів; типом інтеграції розвитку; характером інновацій; видом вбудованих опціонів; характером взаємної залежності проєктів; фазами життєвого циклу організації; видом діяльності; впливом на бізнесове структурування організації. Пропонується також виокремлювати, насамперед, у організаційних структурах, портфелі щодо: проєктів розвитку; інвестиційних проєктів; внутрішніх інфраструктурних проєктів; зовнішніх інфраструктурних проєктів; проєктних програм.

При значній кількості реалізовуваних проєктів у портфелі організації наводяться рекомендації щодо поділу їх за трьома наступними основними групами: зовнішні інвестиційні проєкти, які дають прибуток; зовнішні і внутрішні проєкти, важливі для розвитку організації, водночас, напряду не пов'язані з отриманням «швидкого» прибутку; інші. Такі групи можуть виступати за підпортфелі або підрозділи в організаційному портфелі.

Можливим також є використання галузевого, географічного або інших критеріїв формування портфелів – як підпортфелів, або підрозділів за відповідними портфелями.

Поступово загального визнання набуває думка, що об'єднання проєктів у портфелі дозволяє отримувати нову якість управління ними, покращувати результат від їх реалізації, а саме портфельне

чи портфельно-орієнтоване (обидва терміни в даній роботі використовуються за рівнозначні) управління поступово перетворюється на дієвий механізм управління не тільки реалізацією стратегічних цілей, а й, за певних умов, формуванням останніх [1, 2]. На підвищення значущості управління портфелями в теорії і практиці управління проектами опосередковано вказує і той факт, що, починаючи з 2006 р., найбільша професійна організація в області управління проектами – Інститут управління проектами (Project Management Institute, PMI) виокремлює зі свого базового стандарту з управління проектами – Зводу знань із управління проектами (A Guide to the Project Management Body of Knowledge, PMBOK® Guide), розвиває і доводить до відома фахівців із управління проектами стандарт управління портфелем [3–6]. Разом із тим, дотепер, портфелі розглядалися в наукових роботах і стандартах із управління портфелями переважно в контексті проблематики реалізації стратегій окремих, здебільшого, бізнесових організацій або організаційних мереж.

Таким чином, актуальним науковим завданням є вдосконалення і подальший розвиток науково-методичного забезпечення процесів управління портфелями в контексті запровадження портфельно-орієнтованого управління в сфері управління проектами місцевого (територіального) самоврядування, в тому числі, проектами ГУ (як рівнозначний використовується термін «громадські проекти»).

Аналіз останніх досліджень. На теперішній час PMI запропонував чотири версії стандарту управління портфелем, які побачили світ, відповідно, в 2006 р. [3], 2008 р. [4], 2013 р. [5] і 2017 р. [6]. Як зазначалося в першій версії даного стандарту, управління проектами – це один із тих термінів, який має багато значень. Тривалий час він асоціювався виключно з проектами. Проте, на сьогодні, стає зрозумілим, що управління проектами охоплює також управління портфелями і програмами, зосереджуючись на тезі «робити правильну роботу», на відміну від традиційної для управління проектами і програмами, – «робити роботу правильно» [3].

В стандартах управління портфелем вихідними виступають поняття «портфель» і «управління портфелем». Порівнюючи визначення портфеля у версіях стандарту управління портфелем PMI, можна дійти висновку, що в перших трьох версіях [3–5] портфель розглядається як такий, що включає проекти, програми, а також інші роботи, які не ввійшли до попередньо зазначених компонентів – проектів і програм. Водночас, починаючи з кінця 2000 рр., у другій версії стандарту управління портфелем [4] та ряді інших стандартів PMI починає вживати поняття «портфель вищого рівня» (англ. – highest level portfolio), який, крім проектів і програм, за визначенням, може містити «портфелі відносно нижчого рівня» (англ. – lower level portfolio). В цьому ж періоді фахова спільнота відмічає, що на практиці простежується тенденція, коли в будь-якому крупному портфелі спорадично, а іноді системно, виникають більш або менш стійкі групи проектів. Доти, доки ці групи проектів існують тільки для зручності управління, можна вести мову про «підрозділи» єдиного портфеля. Проте, коли починається виділення ресурсів окремо на групу і рейтингування проектів у межах такої групи, то тут вже йдеться про виокремлення портфеля відносно нижчого рівня в межах портфеля відносно вищого рівня. До даних нових «утворень» можуть застосовуватися всі техніки й інструменти традиційного управління портфелем. Ці практики були взяті до уваги при визначенні портфеля в четвертій версії стандарту управління портфелем PMI через введення до компонентів портфеля підпортфелів (іноді для перекладу з англ. subsidiary portfolios вживається термін «субпортфелі») [6]. Розвиваючи поняття «портфель» у четвертій версії стандарту управління портфелем, PMI пов'язує виокремлення і існування портфеля з реалізацією певних стратегій і досягненням певних цілей організацій та бізнесових одиниць. При цьому портфель передбачає існування як поточних компонентів, так і тих, які увійдуть до нього в подальшому. Вочевидь, наявність багатьох стратегій і цілей призводить до того, що організація може мати, в загальному випадку, більше ніж один портфель. Нові ініціативи щодо проектів і програм включаються до існуючих або нових портфелів. На додачу, відносно більші портфелі можуть включати підпортфелі. При цьому, здебільшого, спостерігається ієрархічне структурування. Портфелі можуть бути зовнішніми або внутрішніми відносно організації, а також існувати на різних рівнях організації – організації в цілому, підрозділу, бізнес-одиниці або функції [6].

В даній роботі поняття «портфель» і «управління портфелем» вживаються в значенні, пропонованому в четвертому виданні стандарту управління портфелем, якщо окремо не зазначається інше. Тобто, портфель – це сукупність проектів, програм, підпортфелів, а також операцій, які управляються як група для досягнення стратегічних цілей. Управління портфелем – це централізоване управління одним, або більше, портфелем із метою досягнення стратегічних цілей. Це застосування принципів управління портфелем для узгодження портфеля, його компонентів із

організаційною стратегією. Управління портфелем також може розглядатися як динамічна діяльність, послуговуючись якою організація інвестує ресурси в досягнення своїх стратегічних цілей шляхом ідентифікації, категоризації, моніторингу, оцінювання, інтеграції, відбору, пріоритизації, оптимізації, балансування, авторизації (затвердження), переходу (призупинення), контролю і завершення компонентів портфеля [6].

В роботах [7, 8] запропоновано концепцію формування портфелів проєктів ГУ. Дана концепція ґрунтується на дослідженні розглядуваних у взаємозв'язку науково-методичних підходів щодо: структурування; визначення критеріїв для оцінювання, відбору і пріоритизації; оптимізації сукупностей проєктів ГУ – як таких, що представлені в складі портфелів. Водночас, у вищезазначених роботах [7, 8] автори розглядають проблематику структурування портфеля проєктів ГУ, насамперед, у контексті здійснення таких фаз життєвого циклу портфеля – як стадій процесу управління портфелем – як ініціювання і планування, залишаючи поза увагою стадію власне виконання, а також оптимізації на стадії виконання. Маємо зазначити окремо, що оптимізація, або в перших трьох версіях стандарту управління портфелем РМІ – балансування, так, як вона інтерпретується в зазначених версіях [3–5], має місце не тільки на власне стадії оптимізації, а й, в значній мірі, на інших стадіях процесу управління портфелем, у тому числі, і на стадії виконання, про що наголошується в четвертій версії стандарту управління портфелем РМІ [6].

Метою даного дослідження є вдосконалення науково-методичних підходів до структурування портфелів проєктів за умовами виокремлення фаз життєвого циклу портфеля – ініціювання, планування, виконання і оптимізації в контексті управління сукупностями проєктів ГУ, розглядуваними як портфелі.

Об'єкт дослідження. Процеси структурування сукупностей проєктів ГУ.

Предмет дослідження. Науково-методичні підходи до структурування портфелів проєктів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Узагальнено, процес оцінювання і відбору проєктів ГУ до реалізації, розглядуваний за прикладом м. Києва, натеper виглядає наступним чином. Запити на проєкти ГУ мають пройти попередній відбір у відповідних структурах виконавчої влади територіальної громади. Надалі, ті із запитів, які успішно пройшли попередній відбір, пропонуються на розгляд мешканців територіальної громади. Останні мають певну, наперед встановлену, кількість голосів на одну особу. Визначення поняття «мешканець територіальної громади» може зазнавати змін у часі.

В подальшому, на основі кількості набраних голосів на підтримку – як окремого показника, або показника, представленого у вигляді певної функціональної залежності від кількості набраних голосів на підтримку, або у встановленому поєднанні з іншими показниками – проєкти, в наперед визначений спосіб, обираються і передаються до реалізації.

Аналіз існуючих практик за процесом формування сукупності проєктів ГУ, яка розглядається в даній роботі як портфель, дає підстави виокремити принаймні два принципово відмінних підходи до структурування цього портфеля. За першим із них не передбачається окреме попереднє виділення (фіксація) бюджетів відносно будь-яких складових портфеля проєктів ГУ. Проєкти, які є відмінними за параметрами, які ці проєкти характеризують, наприклад, тематичним спрямуванням, запитом на обсяг фінансування тощо, отримують свій рейтинг у межах загального списку, відповідно до якого потім можуть пріоритизуватися, в тому числі, наприклад, у межах тематичного списку, і бюджет на них виділяється спільний. Відповідно, слідуючи наведеній у вищепредставленому огляді робіт інтерпретації портфеля або підпортфеля, ми можемо мати справу тільки з підрозділами портфеля, проєктів ГУ, які, за більшості випадків, якщо й виокремлюються, то відбувається це для зручності управління. Як приклад можна навести громадські проєкти м. Києва, умови виокремлювання тематичних спрямувань за якими, починаючи з 2017 р., як видно з табл. 1, зазнавали постійних змін. При цьому щодо кожного проєкту міською робочою групою з питань громадського бюджету, якщо локалізація проєкту є загальноміською, або районною робочою групою з питань громадського бюджету, в разі районної локалізації проєкту, передбачено визначення відповідального за експертизу проєкту підрозділу за тематикою реалізації проєкту. Мають місце й інші аспекти управління проєктами ГУ в м. Києві, умови здійснення за якими залежать від тематичного спрямування громадського проєкту [9, 10]. Разом із тим, виділення окремих бюджетів за тематичними спрямуваннями натеper не передбачено.

За другим, із вищезазначених підходів до структурування портфеля проєктів ГУ, на відміну від першого, окремі бюджети для проєктів, які значуще різняться за значеннями певних визначених, і обраних для категоризації, параметрів, передбачаються. Якщо звернутись, знову таки, до громадських проєктів м. Києва, то на 2022 р. передбачалось виокремлення, як і у деякі попередні

роки, зокрема, в 2018 р. і 2021 р., категорій малих і великих проєктів. До малих громадських проєктів, які мали бути прийняті до реалізації в м. Києві в 2022 р., було віднесено проєкти з бюджетом від 100,0 до 999,9 тис. грн., а до великих від 1000,0 до 3000,0 тис. грн. При цьому бюджет великих складав 60%, а малих – 40% від загального бюджету, виділеного на проєкти ГУ. Аналогічні умови поділу на малі і великі проєкти мали місце і в 2021 р.

Таблиця 1 – Умови виокремлення тематичних спрямувань за проєктами ГУ, які було реалізовано в м. Києві в 2017 – 2021 рр. і планувались до реалізації в 2022 р.

Table 1 – Conditions for the selection of thematic directions for the State Government projects that were implemented in the city of Kyiv in 2017-2021 and were planned for implementation in 2022.

Тематичне спрямування	Рік					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022 (план)
1	2	3	4	5	6	7
Інформаційні технології (ІТ)	+	+	+	+	+	+
Безпека	+	+	+	+	–	–
Освіта	+	+	+	+	–	–
Громадянське суспільство	–	+	+	+	–	–
Освіта, громадянське суспільство	–	–	–	–	+	+
Дороги, транспорт	+	+	+	+	+	+
Екологія	+	+	+	+	+	+
Комунальне господарство, Енергозбереження	+	+	+	+	–	–
ЖКГ (комунальне господарство, енергоефективність)	–	–	–	–	+	+
Культура, туризм	+	+	+	+	+	+
Охорона здоров'я	+	+	+	+	–	–
Здоров'я	–	–	–	–	+	+
Публічний простір	–	–	+	+	–	–
Соціальний захист	+	+	+	+		
Соціальний захист, інклюзія	–	–	–	–	+	+
Спорт	+	+	+	+		
Молодь, спорт	–	–	–	–	+	+
Інше	–	+	+	+	–	–
Міжтематичні	–	–	–	–	+	+

Таким чином, натепер, за «мовою» портфельно-орієнтованого управління, можемо інтерпретувати сукупність громадських проєктів м. Києва на 2018 р., 2021 р. і 2022 р. як портфель, в складі якого виокремлюються дві категорії: категорія малих і категорія великих проєктів. Дані категорії, відповідно до визначення підпортфеля, можна інтерпретувати як підпортфелі. Поділ проєктів за тематичним спрямуванням, в свою чергу, можемо розглядати як виокремлення підрозділів портфеля (підпортфеля) для зручності управління.

Вирішення задачі визначення переліку і змісту тематичних спрямувань, які виокремлюються щодо проєктів ГУ, має самостійне значення. Ця задача має різні аспекти. Закцентуємо увагу на одному з них – умовах підвищення ефективності реалізації відібраних проєктів ГУ. Таке підвищення ефективності може мати місце, насамперед, завдяки можливості централізації закупівель однотипних ресурсів ззовні за сукупністю проєктів ГУ і/або реалізації проєктів ГУ разом із іншими проєктами територіальної громади на спільному пулі ресурсів, які є власними для громади, – люди, обладнання тощо. У обох цих випадках очікується додатний ефект від синергії.

В свою чергу, в якості механізму досягнення такої синергії виступає об'єднання проєктів ГУ в портфелі. Разом із тим, це можуть бути як портфелі проєктів ГУ, в рамках яких останні обирались до виконання, так і нові портфелі, до яких можуть увійти проєкти ГУ, насамперед, відповідні певним тематичним спрямуванням. За приклад, який ілюструє перший випадок, можна навести проєкти ГУ, які реалізувались у 2020 р. у м. Києві за тематичним спрямуванням «Освіта». Ми можемо бачити там значну кількість запитів на фінансування в однаковому обсязі однотипних проєктів ГУ для різних шкіл із встановлення звукового та мультимедійного обладнання. За гіпотетичний приклад, який може

ілюструвати другий випадок, можуть виступати проекти ГУ за тематичним спрямуванням «Дороги, транспорт». Реалізація багатьох із проектів ГУ даного тематичного спрямування вимагає залучення людських ресурсів, обладнання тощо, які задіяні в транспортно-дорожньому комплексі міста, зокрема, при виконанні проектів, які реалізуються в рамках відповідних видатків бюджету територіальної громади за функціями або елементами – «Транспорт» або «Капітальне будівництво». При цьому має передбачатися формування календарно-ресурсних планів робіт за проектами з урахуванням обмеженості відповідних ресурсів. Тобто, в другому випадку, проекти ГУ тематичного спрямування «Дороги, транспорт» – всі або частково – можуть розглядатися в складі принаймні двох портфельів – портфеля проектів ГУ в умовах їх відбору до реалізації і портфеля проектів, який об'єднує дані проекти з проектами, які реалізуються в рамках бюджету територіальної громади за відповідними видатками останнього. Водночас, у цьому, другому, випадку вони можуть залишатися і в портфелі проектів ГУ, за якими зберігається, повністю або частково, функція моніторингу і контролю щодо реалізації зазначених проектів.

Повертаючись до задачі визначення переліку і змісту тематичних спрямувань, які виокремлюються щодо проектів ГУ, і виходячи з вищевикладеного, вважаємо за доцільне виокремлювати тематичні спрямування за проектами ГУ узгоджуючись із переліком і змістом тематичних спрямувань щодо видатків бюджетів територіальних громад. Зокрема, протягом багатьох років виокремлюються витрати бюджету м. Києва за такими функціями як: освіта; транспорт і дорожнє господарство; охорона здоров'я; соціальний захист; житлово-комунальне господарство; культура і мистецтво; фізкультура і спорт; будівництво. Мають місце й інші видатки, зміст яких, в певній частині, варіює по роках.

Доцільність узгодження виокремлення тематичних спрямувань із переліком і змістом тематичних спрямувань, за якими формуються видатки бюджетів територіальних громад, є важливою і з іншої точки зору. В умовах аналізу умов введення окремих бюджетів за тематичними спрямуваннями можуть, гіпотетично, використовуватись різні варіанти розподілу бюджету громадської участі. Наприклад, такий розподіл може виконуватись пропорційно до кількості поданих запитів або кількості отриманих голосів на підтримку вже за результатами голосування за тематичними спрямуваннями. Разом із тим, розглядаючи портфелі, в тому числі, і проектів ГУ, територіальних громад за засіб реалізації, а, за певних умов, і формування стратегії територіальної громади, рівень вагових коефіцієнтів при розподілі громадського бюджету можна встановлювати як такий, що стимулює розвиток, насамперед, певних тематичних спрямувань. При цьому це може бути або «посилення» визнання важливих натеper для територіальної громади стратегічних напрямів розвитку, або «посилення» стратегічних напрямів, які «не добирають» коштів за «звичайним» бюджетом територіальної громади, або вишукування нових перспективних напрямів стратегічного розвитку територіальної громади, коли проекти ГУ, до певної міри, носять характер експериментів.

За окрему задачу, яка потребує вирішення в контексті виокремлення тематичних спрямувань за проектами ГУ, виступає визначення якості, в якій будуть виокремлювані тематичні спрямування виступати, – як підпортфелі, що передбачає виділення на них окремих бюджетів, чи як підрозділи портфеля ГУ. Як вже зазначалось у цій роботі простежується існування принаймні двох відмінних підходів до структурування портфельів ГУ – без попередньої фіксації бюджетів відносно будь-яких складових портфеля ГУ і з фіксацією бюджетів відносно певних складових портфеля ГУ.

В якості критеріїв для відбору проектів до реалізації за умов використання виключно одного з вищезазначених підходів або обох підходів у певному поєднанні, тобто, виокремлення як підпортфельів, так і підрозділів, спостерігається використання, зокрема, в м. Києві, в різних роках, двох критеріїв – як альтернативних. Це критерій «кількість голосів, які отримав проект на підтримку» (далі – критерій кількості голосів на підтримку) і критерій «відношення кількості голосів, які отримав проект на підтримку, до запиту на обсяг фінансування за цим проектом» (далі – критерій відношення кількості голосів на підтримку до запиту на обсяг фінансування). Проводячи зіставно-порівняльний аналіз двох окреслених підходів до структурування портфеля проектів ГУ, за перевагу першого підходу можемо вказати, головним чином, те, що він «урівнює» в баченні громади всі проекти в їх прагненні бути реалізованими за кошти бюджету ГУ (як рівнозначний використовується термін «громадський бюджет»). Зазначене, в найбільшій мірі, відповідає сутності розвитку «руху» проектів ГУ як такого. Разом із тим, така очевидна, на перший погляд, «рівність», насправді, може виявитися уявною. Це зумовлено, насамперед, тим, що проекти, які відповідають певним параметрам, іноді, апріорі, мають відносно вищу ймовірність отримати більше голосів на підтримку. Наприклад, це спостерігається відносно значуще більших щодо інших із відповідного переліку, що відображається в запиті на обсяг фінансування, проектів. Коли ж для відбору проектів до реалізації використовується

альтернативний критерій – відношення кількості голосів на підтримку до запиту на обсяг фінансування, то тут, якщо продовжити попередній приклад, «програють» здебільшого значуще більші проекти. Зауважимо, що обираючи цей критерій, який дозволяє взяти до уваги і ефективність витрат, водночас, ми маємо, до певної міри, також порушення «рівності», як кількості отриманих голосів на підтримку проектів ГУ в очах громадян, які беруть участь у голосуванні.

Вищенаведене, зокрема, знаходить підтвердження в статистичних даних щодо значень величини запиту на обсяг фінансування за проектами ГУ, які були допущені до голосування і які були прийняті до реалізації за тематичними спрямуваннями в м Києві, починаючи з 2017 р. В табл. 2–4 наведено деякі результати оброблення зазначених статистичних даних.

Таблиця 2 – До аналізу змін у середніх значеннях величини запиту на обсяг фінансування між проектами ГУ, прийнятими до реалізації, і проектами ГУ, допущеними до голосування, за тематичними спрямуваннями в м. Києві в 2017 р. (критерій прийняття до реалізації – кількість голосів на підтримку)

Table 2 – To the analysis of changes in the average values of the amount of requests for funding between GU projects accepted for implementation and GU projects admitted to voting, by thematic directions in the city of Kyiv in 2017 (the criterion for acceptance for implementation is the number of votes on support)

Тематичне спрямування	Середнє значення величини запиту на обсяг фінансування за проектами ГУ, допущеними до голосування, тис. грн	Середнє значення величини запиту на обсяг фінансування за проектами ГУ, прийнятими до реалізації, тис. грн.	Зміна, %
ІТ (інформаційні технології)	557,7	0	- 100,0
Безпека	638,4	990,4	55,1
Освіта	777,5	834,8	7,4
Дороги, транспорт	765,1	997,5	30,4
Екологія	625,3	602,6	- 3,4
Комунальне господарство, енергозбереження	675,8	671,4	- 0,6
Культура, туризм	651,6	639,6	1,8
Охорона здоров'я	570,5	833,2	46,0
Соціальний захист	680,3	646,6	- 5,0
Спорт	687,5	900,0	30,9

Як видно з табл. 2, в 2017 р., коли за критерій при прийнятті до реалізації проектів ГУ виступав критерій кількості голосів на підтримку, середнє значення величини запиту на обсяг фінансування за проектами ГУ, прийнятими до реалізації, зросло майже за всіма тематичними спрямуваннями порівняно до значення аналогічного показника, визначеного за проектами ГУ, допущеними до голосування. Виключення склали проекти ГУ в сфері ІТ, де взагалі не маємо проектів прийнятих до реалізації, а також у сферах соціального захисту, екології і комунального господарства та енергозбереження, де маємо несуттєве зменшення – відповідно, на 5,0%, 3,4% і 0,6% – у середньому значенні запиту на обсяг фінансування за проектами ГУ, прийнятими до реалізації, порівняно до запиту на обсяг фінансування за проектами ГУ, допущеними до голосування. Ці тематичні спрямування, поруч із такими тематичними спрямуваннями як культура та туризм і, навіть, освіта, можна розглядати за такі, де зміни в середньому значенні величини запиту на обсяг фінансування хоч і мали місце – в другому випадку в бік збільшення, відповідно, на 1,8% та 7,4%, проте, були несуттєвими. Водночас, за такими тематичними спрямуваннями як безпека, дороги та транспорт, охорона здоров'я, спорт зміни у запіті на обсяг фінансування за проектами ГУ, прийнятими до реалізації, порівняно до проектів ГУ, допущених до голосування, можемо розглядати за суттєві – відповідно, 55,1%, 30,4%, 46,0% та 30,9%.

Разом із тим, якщо звернемось до табл. 3, в якій наводяться розрахунки по 2020 р., коли за критерій при прийнятті до реалізації проектів ГУ виступав критерій відношення кількості голосів на підтримку до запиту на обсяг фінансування, то маємо протилежну ситуацію. А саме, середнє значення величини запиту на обсяг фінансування за проектами ГУ, прийнятими до реалізації, суттєво

зменшилися майже за всіма тематичними спрямуваннями, порівняно до значення аналогічного показника, визначеного за проєктами ГУ, допущеними до голосування. Виключення склало лише тематичне спрямування «Безпека», за яким вищезазначена зміна є додатною величиною і складає 24,5%.

Таблиця 3 – До аналізу змін у середніх значеннях величини запиту на обсяг фінансування між проєктами ГУ, прийнятими до реалізації, і проєктами ГУ, допущеними до голосування, за тематичними спрямуваннями в м. Києві в 2020 р. (критерій прийняття до реалізації – відношення кількості голосів на підтримку до запиту на обсяг фінансування)

Table 3 – To the analysis of changes in the average values of the amount of requests for funding between GU projects accepted for implementation and GU projects admitted to voting, by thematic directions in the city of Kyiv in 2020 (the criterion for acceptance to implementation is the ratio of the number of votes in support of the funding request)

Тематичне спрямування	Середнє значення величини запиту на обсяг фінансування за проєктами ГУ, допущеними до голосування, тис. грн	Середнє значення величини запиту на обсяг фінансування за проєктами ГУ, прийнятими до реалізації, тис. грн.	Зміна, %
ІТ (інформаційні технології)	851,2	407,1	- 52,2
Безпека	265,4	330,4	24,5
Освіта	466,9	291,3	- 37,6
Громадянське суспільство	201,6	178,4	- 11,5
Дороги, транспорт	634,7	211,5	- 66,7
Екологія	482,7	312,4	- 35,3
Комунальне господарство, енергозбереження	303,4	157,0	- 48,2
Культура, туризм	715,5	200,8	- 71,9
Охорона здоров'я	856,0	458,0	- 46,5
Публічний простір	454,2	289,0	- 37,7
Соціальний захист	400,0	261,2	- 34,7
Спорт	660,7	355,3	- 46,2
Інше	569,3	290,6	- 49,0

Окремий інтерес являє 2021 р., де за критерій, як і в 2020 р., при прийнятті до реалізації проєктів ГУ виступив критерій відношення кількості голосів на підтримку до запиту на обсяг фінансування. Проте, в цьому році маємо виокремлення категорій «малі» і «великі», з попереднім встановленням окремого бюджету на кожен категорію. Як видно з табл. 4, за категорією малих проєктів ГУ середнє значення величини запиту на обсяг фінансування за проєктами ГУ, прийнятими до реалізації, суттєво зменшилися за всіма тематичними спрямуваннями порівняно до значення аналогічного показника, визначеного за проєктами ГУ, допущеними до голосування. Водночас, як слідує з тієї ж табл. 4, практично таку ж ситуацію маємо і для категорії «великі». Виключення становило лише одне тематичне спрямування – культура та туризм.

Зазначимо, що здебільшого у всіх розглянутих випадках коефіцієнт варіації величини запиту на обсяг фінансування за проєктами ГУ, прийнятими до реалізації, є меншим або дорівнює коефіцієнту варіації величини запиту на обсяг фінансування за проєктами ГУ, допущеними до голосування. Значення цих коефіцієнтів не наводяться через наявні обмеження щодо обсягу даної публікації.

В рамках робіт [7, 8] було проведено дослідження, основне питання за яким було сформульовано наступним чином: «Чи значуще різняться запити на обсяг фінансування громадських проєктів, поданих у 2019 р. і очікуючих на прийняття до реалізації в 2020 р. в м. Києві, за виокремлюваними тематичними спрямуваннями?». Відповідь на це питання в дослідженні пов'язувалась із перевіркою нульових (робочих) гіпотез щодо значущості відмінностей між проєктами ГУ, допущеними до голосування за запитом на обсяг фінансування. Розглядалась, відповідно, база даних за проєктами, які були об'єктом голосування в 2019 р.

Таблиця 4 – До аналізу змін у середніх значеннях величини запиту на обсяг фінансування між проєктами ГУ, прийнятими до реалізації, і проєктами ГУ, допущеними до голосування, за категоріями «малі» і «великі» за тематичними спрямуваннями в м. Києві в 2021 р. (критерій прийняття до реалізації – відношення кількості голосів на підтримку до запиту на обсяг фінансування)

Table 4 – To the analysis of changes in the average values of the amount of the request for the volume of financing between the GU projects accepted for implementation and the GU projects admitted to the vote, by the categories of "small" and "large" by thematic directions in the city of Kyiv in 2021. (the criterion for acceptance for implementation is the ratio of the number of votes in support to the request for the amount of funding)

Тематичне спрямування	Категорія проєктів ГУ за величиною запиту на обсяг фінансування					
	«Малі»			«Великі»		
	середнє значення величини запиту на обсяг фінансування за проєктами ГУ, допущеними до голосування, тис. грн	середнє значення величини запиту на обсяг фінансування за проєктами ГУ, прийнятими до реалізації, тис. грн.	зміна, %	середнє значення величини запиту на обсяг фінансування за проєктами ГУ, допущеними до голосування, тис. грн	середнє значення величини запиту на обсяг фінансування за проєктами ГУ, прийнятими до реалізації, тис. грн.	зміна, %
ІТ (інформаційні технології)	454,0	313,3	- 31,0	1363,2	1121,1	- 17,7
Освіта, громадянське суспільство	297,5	258,2	- 13,2	1376,1	1344,5	- 2,3
Дороги, транспорт	361,3	276,3	- 23,5	2000,1	0	- 100,0
Екологія	275,4	140,4	- 49,0	1686,2	1398,8	- 17,0
ЖКГ (комунальне господарство, енергоефективність)	262,1	180,2	- 31,2	1411,5	1067,7	- 24,3
Культура, туризм	267,0	188,3	- 29,5	1586,9	1846,0	16,3
Здоров'я	360,7	267,6	- 25,8	1743,9	1329,8	- 23,7
Соціальний захист, інклюзія	278,7	248,7	- 10,8	1288,4	0	- 100,0
Молодь, спорт	345,3	275,1	- 20,3	1652,8	1473,3	- 10,9
Міжтематичні	314,2	159,8	- 49,1	1815,1	1005,1	- 44,6

Маємо окремо зазначити, що в цьому періоді проєкти ГУ не поділялися на категорії «малі» і «великі». Такий поділ було зроблено в роботах [7, 8] умовно. «Поріг», який розділяв категорії малих і великих проєктів, був прийнятий за умовами, чинними в 2018 р., і складав 399,9 тис. грн. Водночас, нижня межа для малих проєктів, відповідно до умов 2018 р., фактично не встановлювалась, тоді як верхня для категорії великих проєктів відповідала існуючій на 2021 р, і 2022 р. – 3000,0 тис. грн. Дещо відмінним, щодо попередніх і наступних періодів, було і виокремлення тематичних спрямувань, табл. 1.

Згадуване дослідження мало показати, чи існує значуща відмінність у запиті на обсяг фінансування проєктів різного тематичного спрямування в складі однієї категорії, що, як можна припускати, має джерелом галузеву специфіку. Це, в свою чергу, може мати наслідком «нерівність» при їх рейтингуванні разом за одним критерієм – або критерієм кількості голосів на підтримку, або критерієм відношення кількості голосів на підтримку до запиту на обсяг фінансування, табл. 2–4. Проєкти галузей (тематичних спрямувань) із меншим запитом на обсяг фінансування, в тому числі, за відповідною категорією – малих чи великих, якщо такі категорії вводяться, будуть знаходитись у рейтингу, за незначної відмінності в кількості голосів на підтримку, і не обов'язково в бік зростання кількості цих голосів, вище відносно інших, якщо використовується критерій відношення кількості голосів на підтримку до запиту на обсяг фінансування. І, таким чином, дані галузі (тематичні

спрямування) отримують «приховану» преференцію у вигляді збільшення кількості проєктів ГУ, прийнятих до реалізації, відносно інших галузей (тематичних спрямувань). Протилежну ситуацію матимемо у випадку використання критерію кількості голосів на підтримку.

В цій роботі ми вирішили поширити дослідження, результати якого представлено нами в роботах [7, 8], на весь період, у якому здійснювався відбір проєктів ГУ до реалізації в м. Києві, тобто, починаючи з 2017 р. До уваги також було взято поділ проєктів ГУ між категоріями «малі» і «великі», який мав місце за проєктами ГУ, які було представлені до реалізації в 2018 р., 2021 р. і 2022 р. (план).

Для перевірки нульових гіпотез про значущість відмінностей між проєктами ГУ за величиною запиту на обсяг фінансування було використано непараметричний критерій (тест) значущості Крускала–Волліса, який є багатомірним узагальненням критерію Вілкоксона–Манна–Вітні. Даний критерій є ранговим, відповідно, він інваріантний відносно будь-яких монотонних перетворень шкал вимірювань. Альтернативні гіпотези – відмінності між проєктами ГУ за запитом на обсяг фінансування є незначущими. Результати проведених розрахунків із використанням програмного продукту IBM SPSS Statistics 22 наведено в табл. 5.

Таблиця 5 – До перевірки нульових гіпотез про значущість відмінностей між проєктами ГУ, допущеними до голосування, в м. Києві в 2017–2021 рр., відмінних тематичних спрямувань за величиною запиту на обсяг фінансування

Table 5 – Before testing the null hypothesis about the significance of the differences between GU projects admitted to the vote in the city of Kyiv in 2017–2021, different thematic directions by the size of the request for the amount of funding

Показник	Рік реалізації проєктів ГУ								
	2017	2018			2019	2020	2021		
		загалом	категорія за запитом на обсяг фінансування				загалом	категорія за запитом на обсяг фінансування	
			малі	великі				малі	Великі
Рівень значущості, який отримано	0,039	0,001	0,682	0,053	0,000	0,000	0,000	0,000	0,029
Прийнятний рівень значущості	≤0,050	≤0,050	≤0,050	≤0,050	≤0,050	≤0,050	≤0,050	≤0,050	≤0,050

Як видно з табл. 5, нульові гіпотези щодо значущості відмінностей між проєктами ГУ, допущеними до голосування, відмінних тематичних спрямувань за величиною запиту на обсяг фінансування були відхилені за рівнем значущості 0,050 для категорій «малі» і «великі» в 2018 р., для всіх інших років і категорій, які в них виокремлювались, у тому числі, 2018 р., розглядуваного загалом, нульові гіпотези не були відхилені. Випадки, коли нульові гіпотези не були відхилені, свідчать про існування значущої відмінності між проєктами ГУ за величиною запиту на обсяг фінансування різних тематичних спрямувань за відповідними категоріями в розглядуваних періодах.

Як слідує з табл. 5, поділ проєктів ГУ в 2018 р. за категоріями «малі» і «великі» за запитом на обсяг фінансування, як можна припускати, став передумовою до того, що відмінність між проєктами ГУ різних тематичних спрямувань, виокремлюваних у межах даних категорій, виявилась незначущою. На відміну від того, коли проєкти 2018 р. розглядались загалом. Водночас, за аналогічних умов, тобто, коли вищезазначені категорії – «малі» і «великі» знов почали виокремлювати, тобто, в 2021 р., співставлення проєктів ГУ різних тематичних спрямувань у межах даних категорій виявило значущість відмінностей між ними, так же як і при розгляді їх загалом.

Таким чином, можна припускати, що наявність значущих відмінностей у проєктах ГУ за тематичними спрямуваннями в умовах виокремлення категорій «малі» і «великі» за величиною запиту на обсяг фінансування носить ситуаційний характер. Можна рекомендувати перед проведенням власне голосування, за умов виявлення значущої відмінності у величині запитів проєктів ГУ на обсяг фінансування за тематичними спрямуваннями, що, за вибору будь-якого з двох вищерозглянутих критеріїв оцінювання, «дискримінаційно» впливає на відбір до реалізації проєктів ГУ певних тематичних спрямувань за результатами голосування, встановлювати фіксовані бюджети не лише щодо категорій проєктів ГУ «малі» і «великі» – за величиною запиту на обсяг фінансування, а й щодо тематичних спрямувань, виокремлюваних у межах відповідних категорій.

Висновки з проведеного дослідження та перспективи подальших розвідок за даним напрямом. В роботі обґрунтовано доцільність впровадження підходу до виокремлення тематичних спрямувань за проектами ГУ узгоджуючись із переліком і змістом тематичних спрямувань, за якими формується структура видатків загальних бюджетів територіальних громад насамперед, за функціями. З одного боку, при розгляді сукупності проектів, в тому числі, проектів ГУ, територіальних громад за засіб реалізації і, за певних умов, формування, стратегії територіальної громади, це забезпечує зв'язок сукупності проектів ГУ, як портфеля, зі стратегією розвитку територіальної громади. З іншого боку, такий підхід відносно виокремлення тематичних спрямувань щодо проектів ГУ є передумовою до підвищення ефективності реалізації відібраних проектів ГУ через очікування додатного ефекту від синергії. Насамперед, це може мати місце через централізацію закупівель однотипних ресурсів ззовні і/або реалізацію проектів ГУ разом із іншими проектами територіальної громади на спільному пулі ресурсів, які часто є власними для громади – люди, обладнання тощо. З вищанаведеного слідує доцільність розгляду проектів ГУ при ініціюванні, плануванні, а також оптимізації на перших двох фазах життєвого циклу портфеля ГУ, здебільшого, виключно в складі портфеля ГУ. Водночас, на фазі виконання портфеля проектів ГУ, що передбачає і оптимізацію на цій фазі, окремі проекти ГУ можуть розглядатися одночасно як у складі портфеля ГУ, так і в складі портфельів, сформованих відповідно до структури видатків загальних бюджетів територіальних громад.

Запропоновано, метод структурування портфельів проектів ГУ за тематичними спрямуваннями, який, в рамках застосування методології ситуаційного управління, передбачає використання тесту значущості Крускала-Волліса.

Подальші розвідки за даним напрямом доцільно зосередити на вдосконаленні і розвитку науково-методичних підходів до оптимізації сукупностей проектів ГУ – як таких, що представлені в складі портфельів, – на фазах ініціювання, планування і виконання портфельів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Воркут Т.А., Білоног О.Є., Дмитриченко А.М., Петунін А.В., Срібна Н.В., Третиниченко Ю.О. Портфельно-орієнтоване управління в організаційних мережах. Монографія – К.: Міленіум, 2021. – 227 с.
2. Воркут Т.А., Лушай Ю.В., Харута В.С., Чечет А.М. Стратегічне управління проектами логістичного аутсорсингу. Монографія – К.: Міленіум, 2021. – 156 с.
3. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – First Edition, Project Management Institute Inc, 2006, 79 p.
4. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Second Edition, Project Management Institute Inc, 2008, 146 p.
5. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Third Edition, Project Management Institute Inc, 2013, 121 p.
6. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Fourth Edition, Project Management Institute Inc, 2017, 140 p.
7. Воркут Т.А. Управління проектами громадської участі – як сфера застосування портфельно-орієнтованого управління / Т.А. Воркут, О.Є. Білоног, О.В. Горбенко, А.М. Дмитриченко, А.В. Петунін, Н.В. Срібна // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Економічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 2 (52). С. 65-80.
8. Vorkut T.A, Petunin A.V., Sribna N.V., Kraruta V.S. Khrutba Y.S. Public Participation Project Management. International Journal of Innovative Technologies in Economy. 2(38). doi: 10.31435/rsglobal_ijite/30062022/7842
9. Рішення Київської міської ради "Про затвердження Положення про громадський бюджет міста Києва" від 22 грудня 2016 року із змінами і доповненнями. Режим доступу: <https://kmr.gov.ua/uk/provisions-public-budget>.
10. Громадський бюджет Києва. Дані по проектам за 2020 рік. Режим доступу: <https://wiki-projects.kyivcity.gov.ua/pages/viewpage.action?pageId=28180652#tab-2020>.

REFERENCES

1. Vorkut T.A., Bilonoh O.Ye., Horbenko O.V., Dmytrychenko A.M., Petunin A.V., Sribna N.V. Portfolio-oriented management in organizational networks. Monograph – K.: Millennium, 2021. – 227 p.
2. Vorkut T.A., Lushchai Yu.V., Kharuta V.S., Cheshet A.M. Strategic management of logistics outsourcing projects. Monograph – K.: Millennium, 2021. – 156 p.

3. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – First Edition, Project Management Institute Inc, 2006, 79 p.
4. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Second Edition, Project Management Institute Inc, 2008, 146 p.
5. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Third Edition, Project Management Institute Inc, 2013, 121 p.
6. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Fourth Edition, Project Management Institute Inc, 2017, 140 p.
7. Vorkut T.A., Bilonoh O.Ye., Horbenko O.V., Dmytrychenko A.M., Petunin A.V., Sribna N.V. Public Participation Project Management as a Scope of Portfolio Management Application. *Visnyk of the National Transport University. Series «Economic sciences». Scientific journal.* – K.: NTU, 2022. – Issue 2 (52). P. 65–80.
8. Vorkut T.A., Petunin A.V., Sribna N.V., Kraruta V.S. Khrutba Y.S. Public Participation Project Management. *International Journal of Innovative Technologies in Economy.* 2(38). doi: 10.31435/rsglobal_ijite/30062022/7842
9. The Kyiv City Council Decision On Approval of the Regulations on the Public Budget of the City of Kyiv, December 22, 2016 with changes and amendments. On-line access: <https://kmr.gov.ua/uk/provisions-public-budget>.
10. Kyiv's Public Budget. Data on projects within the year 2020. On-line access: <https://wiki-projects.kyivcity.gov.ua/pages/viewpage.action?pageId=28180652#tab-2020>.

РЕФЕРАТ

Воркут Т.А. Структурування портфелів проєктів громадської участі / Т.А. Воркут, Ю.О. Божок, Ю.В. Лушай, А.В. Петунін, В.С. Харута // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю вдосконалення і подальшого розвитку науково-методичного забезпечення процесів управління портфелями в контексті запровадження портфельно-орієнтованого управління в сфері управління проєктами місцевого (територіального) самоврядування, в тому числі, проєктами громадської участі (ГУ).

Мета дослідження: вдосконалення науково-методичних підходів до структурування портфелів проєктів за умовами виокремлення фаз життєвого циклу портфеля – ініціювання, планування, виконання і оптимізації в контексті управління сукупностями проєктів ГУ, розглядуваними як портфелі.

Завдання дослідження: провести аналіз розглядуваних у взаємозв'язку науково-методичних підходів до: структурування категорій; визначення критеріїв для оцінювання, відбору і пріоритизації; оптимізації сукупностей проєктів ГУ – як таких, що представлені в складі портфелів проєктів; сформулювати і перевірити, використовуючи базу даних громадських проєктів м. Києва, гіпотези щодо незначущості відмінностей у сукупностях проєктів ГУ, виокремлюваних за тематичним спрямуванням, які зумовлюють доцільність представлення проєктів тематичних спрямувань у складі відповідних підпортфелів загального портфеля проєктів ГУ; запропонувати метод структурування портфелів проєктів ГУ за тематичними спрямуваннями.

Методика дослідження. При аналізі науково-методичних підходів до структурування, визначення критеріїв (оцінювання, відбору, пріоритизації) і оптимізації за портфелями проєктів ГУ – метод зіставно-порівняльного аналізу; для оброблення статистичних даних щодо значень величини запиту на обсяг фінансування за проєктами ГУ – методологія статистики; для перевірки гіпотез щодо незначущості відмінностей у сукупностях проєктів ГУ, виокремлюваних за тематичними спрямуваннями, – непараметричний критерій (тест) значущості Крускала–Волліса; при розробці методу структурування портфелів проєктів ГУ за тематичними спрямуваннями – методологію ситуаційного управління.

Обґрунтовано доцільність впровадження підходу до виокремлення тематичних спрямувань за проєктами ГУ узгоджуючись із переліком і змістом тематичних спрямувань, за якими формується структура видатків загальних бюджетів територіальних громад насамперед, за функціями. Запропоновано, метод структурування портфелів проєктів ГУ за тематичними спрямуваннями, який, в рамках застосування методології ситуаційного управління передбачає використання тесту значущості Крускала–Волліса.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ, ПОРТФЕЛЬ ПРОЄКТІВ, ПОРТФЕЛЬНО-ОРІЄНТОВАНЕ УПРАВЛІННЯ, ПРОЄКТ ГРОМАДСЬКОЇ УЧАСТІ, ГРОМАДСЬКИЙ ПРОЄКТ, ГРОМАДСЬКИЙ БЮДЖЕТ.

ABSTRACT

Vorkut T.A., Bozhok Y.O., Lushchai Yu.V., Petunin A.V., Kharuta V.S., Structuring portfolios of public participation projects. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The relevance of the research topic is due to the need for improvement and further development of scientific and methodological support for portfolio management processes in the context of the introduction of portfolio-oriented management in the field of local (territorial) self-government project management, including public participation (PP) projects.

The purpose of the research: improvement of scientific and methodological approaches to the structuring of project portfolios under the conditions of distinguishing the phases of the life cycle of the portfolio – initiation, planning, execution and optimization in the context of managing aggregates of PP projects considered as portfolios.

The task of the research: to conduct an analysis of the scientific and methodological approaches considered in the relationship to: structuring of categories; definition of criteria for assessment, selection and prioritization; optimization of aggregates of PP projects – such as those presented in project portfolios; to formulate and verify, using the database of public projects of the city of Kyiv, hypotheses regarding the insignificance of differences in the aggregates of PP projects separated by thematic direction, which determine the expediency of presenting projects of thematic directions as part of the corresponding subportfolios of the general portfolio of PP projects; to propose a method of structuring portfolios of PP projects according to thematic directions.

Research methodology. When analyzing scientific and methodical approaches to structuring, determining criteria (evaluation, selection, prioritization) and optimization according to portfolios of PP projects – the method of comparative analysis; for the processing of statistical data on the values of the amount of the request for the volume of financing for the projects of the State Government – statistical methodology; to test the hypotheses regarding the insignificance of differences in the aggregates of PP projects separated by thematic directions, the Kruskal–Wallis non-parametric criterion (test) of significance; when developing a method of structuring portfolios of projects according to thematic directions – the methodology of situational management.

The expediency of implementing the approach to distinguishing thematic directions for PP projects is substantiated, in accordance with the list and content of thematic directions, according to which the structure of expenditures of the general budgets of territorial communities is formed, first of all, by functions. A method of structuring portfolios of PP projects by thematic directions is proposed, which, as part of the application of the situational management methodology, involves the use of the Kruskal-Wallis significance test. **KEY WORDS:** PROJECT MANAGEMENT, PROJECTS PORTFOLIO, PORTFOLIO MANAGEMENT, PUBLIC PARTICIPATION PROJECT, PUBLIC PROJECT, PUBLIC BUDGET.

АВТОРИ:

Воркут Тетяна Анатоліївна, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного права та логістики, e-mail: vorkutt@ukr.net, тел. (044) 254-43-26, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 439, orcid.org/0000-0003-0354-476X

Божок Юлія Олександрівна, Національний транспортний університет, Київ, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри транспортного права та логістики, e-mail: bozhok2008@bigmir.net, тел. (044) 254-43-26, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 439, orcid.org/0000-0002-0404-0961

Лушай 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. Омеляновича-Павленко, 1, оф. 439, orcid.org/0000-0002-7632-7400

Петунін Андрій Володимирович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного права та логістики, e-mail: petunin.andrew@gmail.com,

тел. (093) 602-05-10, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 433а, orcid.org/0000-0002-8072-6842

Харута Віталій Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри транспортного права та логістики, Національний транспортний університет, e-mail: kharuta_vitaliy@ukr.net, тел.: (044) 254-43-26, 01010, Україна, Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, оф. 439, orcid.org/0000-0002-8897-7558.

AUTHORS:

Tetiana A. Vorkut, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Professor at the Department of Transport Law and Logistics, e-mail: vorkutt@ukr.net, tel. (044) 2544326, Ukraine, Kyiv 01010, 1 Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka Str., office 439, orcid.org/0000-0003-0354-476X

Yulia O. Bozhok, National Transport University, Senior Lecturer at the Department of Transport Law and Logistics, e-mail: bozhok2008@bigmir.net, tel. (044) 2544326, Ukraine, Kyiv 01010, 1 Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka Str., office 439, orcid.org/0000-0002-0404-0961

Yurii V. Lushchai, PhD, Associate Professor at 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

Andrii V. Petunin, PhD, National Transport University, Associate Professor at the Department of Transport Law and Logistics, e-mail: petunin.andrew@gmail.com, tel. (093) 6020510, Ukraine, Kyiv 01010, 1 Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka Str., office 433а, orcid.org/0000-0002-8072-6842

Vitalii S. Kharuta, PhD, Associate Professor, Professor at 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:

Кучерук Г.Ю., доктор економічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри фінансів, обліку і аудиту, Київ, Україна.

Хоменко І.О., доктор економічних наук, професор, Національний університет «Чернігівська політехніка», професор кафедри теоретичної та прикладної економіки, Чернігів, Україна.

REVIEWERS:

H. Yu. Kucheruk, Doctor of Economic Sciences, Professor, National Transport University, Professor at the Department of Finance, Accounting and Auditing, Kyiv, Ukraine.

I. O. Khomenko, Doctor of Economic Sciences, Professor, Chernihiv Polytechnic National University, Professor at the Department of Theoretical and Applied Economics, Chernihiv, Ukraine.

ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТА ЗАСОБІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ НАПИСАННЯ МУЗИЧНИХ ТВОРІВ

Гавриленко О.В., кандидат фізико-математичних наук, Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна, gelena1980@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0413-6274

Дмитрук О.Ю., Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна, oj.dmytruk@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0596-0492

Тетерук А.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, teteruk.anastasiia.work@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5309-4122

MATHEMATICAL MODELS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOLS USAGE FOR AUTOMATION OF WRITING MUSICAL COMPOSITIONS

Gavrylenko O.V., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, National Technical University of Ukraine «KPI named after Ihor Sikorsky», Kyiv, Ukraine, gelena1980@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0413-6274

Dmytruk J.Y., National Technical University of Ukraine «KPI named after Igor Sikorsky», Kyiv, Ukraine, oj.dmytruk@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0596-0492

Teteruk A.V., National University of Transport, Kyiv, Ukraine, teteruk.anastasiia.work@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5309-4122

Вступ

Генерація музики є однією з класичних задач застосування штучного інтелекту для створення розважального контенту. Теорія музики не є однозначною, існує безліч підходів до представлення та формалізації музичної інформації. Нещодавні розробки, такі як поява представлення даних MIDI та програмних інструментів для аналізу музики, дозволили отримувати з вхідних аудіофайлів структуровані дані, до яких можна застосовувати різні підходи для виявлення закономірностей та створення унікального нового аудіоматеріалу.

Актуальність автоматизації генерації музики пов'язана з популяризацією музичних творів у соціальних мережах: накладання їх на відео, рекламу тощо. Створення унікального наповнення відео та аудіоматеріалу потребує можливості генерації мелодії відповідно до тематики профілю автора контенту.

Існує ряд методів для генерації музики, серед яких: математичні моделі; системи, засновані на знаннях; граматика; оптимізаційні підходи; еволюційні методи; системи, які навчаються; гібридні системи. Найпопулярнішими способами написання мелодії серед дослідників є застосування ланцюгів Маркова або нейронних мереж, серед яких: рекурентні нейронні мережі (Recurrent neural network, RNN), нейронні мережі довгої короткочасної пам'яті (Long short-term memory, LSTM), генеративно-змагальні мережі (Generative adversarial networks, GAN), згорткові нейронні мережі (Convolutional neural network, CNN).

Метою дослідження є аналіз способу комбінування підходів до автоматичної генерації задля збільшення тривалості згенерованого музичного фрагменту (в порівнянні з аналогами) та підвищення рівня його відмінності від вхідної композиції.

Аналіз пов'язаних досліджень та публікацій

Проблема автоматичної генерації музики активно досліджується впродовж останніх десятиліть. Існує низка наукових праць, у яких автори пропонують варіації граматик для представлення музики, проектують різноманітні моделі нейронних мереж та застосовують еволюційне моделювання.

У роботі «A Comprehensive Survey on Deep Music generation: Multi-level Representations, Algorithms, Evaluations, and Future Directions» (Shulei Ji, Jing Luo, and Xinyu Yang; School of Computer Science and Technology, Xi'an Jiaotong University, China, 2020) автори розглядають історію проблематики автоматизованого написання музики та різні способи представлення даних [1]. Пропонується розглядати процес генерації мелодії за наступними рівнями:

- верхній рівень: генерація партитури;

- середній рівень: відтворення музики;
- нижній рівень: генерація аудіо.

Задачі верхнього рівня включають в себе виділення хорд вхідного твору, музичну гармонізацію та накладання додаткового умовного акомпонементу на мелодію. На середньому рівні задача алгоритмів та моделей полягає у застосуванні параметрів відтворення до виділених на верхньому рівні частин мелодії. Нижній рівень моделей вирішує найважчі завдання, такі як синтез аудіо та вокальної партії. Автори дослідження наводять приклади моделей для вирішення задач кожного з рівнів. Переважно розглядаються генеративні нейронні мережі.

Праця «Personalized Popular Music Generation Using Imitation and Structure» (Shuqi Dai, Carnegie Mellon University; Xichu Ma, National University of Singapore; Ye Wang, National University of Singapore; Roger B. Dannenberg, Carnegie Mellon University, 2021) спрямована на вирішення задачі автоматичного створення персоналізованої музики, імітуючи одну або кілька пісень, вибраних користувачем [2]. Описана система приймає одну початкову пісню як вхід. Після деяких кроків попередньої обробки кожна виділена з вхідного матеріалу частина передається у відповідний модуль генерації. Наявні наступні модулі генерації:

- структурний;
- виділення прогресії акордів (партитури);
- модуль мелодії;
- накладання басу.

Результати з структурного модуля та модуля виділення прогресії акордів подаються в інші модулі як вхідні дані. Темп відповідає темпу початкової пісні. Мелодія формується відповідно до розрахованих частот даних структури та прогресії акордів. Для накладання стилізованого басу використовується метод ланцюгів Маркова. Виходом є поєднання стилістичної мелодії, акордового супроводу і басових MIDI-треків, синтезоване для отримання аудіо.

Дослідження «Symbolic Music Generation with Transformer-GANs» (Aashiq Muhamed; Liang Li; Xingjian Shi; Suri Yaddanapudi; Wayne Chi; Dylan Jackson; Rahul Suresh; Zachary C. Lipton; Alexander J. Smola; Amazon Web Services, Carnegie Mellon University, 2021) спрямоване на покращення підходу використання генеративно-змагальних мереж-трансформерів (Transformer-GAN) для створення довготривалих музичних сутностей [3]. Основні результати роботи включають в себе:

- новий підхід Transformer-GAN для створення довгих музичних послідовностей із понад 1000 маркерів із використанням попередньо навченої мережі SpanBERT у якості дискримінатора;
- детальне дослідження впливу попереднього навчання, функцій втрат, регуляризації та кількості заморожених шарів у дискримінаторі на якість музики;
- ряд прийомів для тренування генеративно-змагальної мережі;
- показник на основі класифікатора для оцінки генеративних моделей.

Проаналізовані публікації демонструють, що проблема розвитку алгоритмів генерації музики залишається актуальною. Поєднання різних підходів до вирішення задачі дозволяє збільшувати тривалість згенерованих мелодій та наближати композиції до вподобань користувачів.

Постановка задачі

На вхід подається референсний аудіофрагмент у форматі MIDI. Для даної роботи обрано композицію Моцарта «Соната №17 в B-Dur».

Ціль полягає у тому, щоб дослідити результативність поєднання нейронних мереж, а саме, моделі LSTM та марківських процесів для створення унікального, достатньо тривалого музичного твору на основі вхідної музичної композиції.

Після попередньої обробки вхідного файлу та двоетапної генерації композиції на виході необхідно отримати згенерований аудіофайл у форматі MIDI.

Опис методу

Попередня обробка референсного файлу включає в себе виділення нот та хорд вхідного фрагменту. Для вирішення цієї задачі використано готову бібліотеку music21 мови Python, а саме її метод `converter.parse`. Масив виділених акордів представлено в додатку А. Такий самий підхід використовується для поділу на акорди виходу нейроної мережі перед застосуванням підходу ланцюгів Маркова на другому етапі.

На першому етапі вхідна композиція подається у якості навчальних даних для нейроної мережі LSTM. Для перетворення вхідних даних з категоріальних на числові застосовується метод швидкого кодування (One-Hot Encoding). LSTM – це рекурентні нейронні мережі, що містять в повторюваному прихованому шарі блоки пам'яті – спеціальні одиниці, що представляють осередки

пам'яті з самоз'єднаннями, які зберігають тимчасовий стан мережі на додаток до спеціальних мультиплікативних одиниць, які називаються воротами для керування потоком інформації [4]. Кожен блок пам'яті в оригінальній архітектурі містив вхідний (input gate) і вихідний вентиль (output gate). Вхідний вентиль керує потоком активацій введення в комірку пам'яті. Вихідний шлюз керує вихідним потоком активації осередку в решту мережі. Пізніше до блоку пам'яті було додано шлюз забуття (forget gate) [5]. Це усунуло слабкість моделей LSTM, що заважала їм обробляти безперервні вхідні потоки не сегментовані на підпоследовності.

Шлюз забуття масштабує внутрішній стан комірки перед тим, як додати його як вхід до комірки через самоповторююче з'єднання осередку, таким чином адаптивно забуваючи або скидаючи пам'ять комірки. Крім того, сучасна архітектура LSTM містить з'єднання «вічка» (peerhole connections) від внутрішніх осередків до воріт у тій самій комірці, щоб дізнатися точний час вихідних даних [6].

Мережа LSTM обчислює відображення вхідної послідовності $x = (x_1, \dots, x_T)$ до вихідної послідовності $y = (y_1, \dots, y_T)$ шляхом розрахунку активації мережевого блоку з використанням наступних рівнянь ітераційно з $t = 1$ до T :

$$i_t = \sigma(W_{ix}x_t + W_{im}m_{t-1} + W_{ic}c_{t-1} + b_i), \#(1)$$

$$f_t = \sigma(W_{fx}x_t + W_{fm}m_{t-1} + W_{fc}c_{t-1} + b_f), \#(2)$$

$$c_t = f_t \odot c_{t-1} + i_t \odot g(W_{cx}x_t + W_{cm}m_{t-1} + b_c), \#(3)$$

$$o_t = \sigma(W_{ox}x_t + W_{om}m_{t-1} + W_{oc}c_t + b_o), \#(4)$$

$$m_t = o_t \odot h(c_t), \#(5)$$

$$y_t = \phi(W_{ym}m_t + b_y), \#(6)$$

де W позначають вагові матриці (наприклад W_{ix} – це матриця ваг від вхідного отвору до входу); W_{ic} , W_{fc} , W_{oc} – це діагональні вагові матриці для з'єднань «вічка», b позначають вектори зміщення (b_i – вхідний вентиль вектор зміщення), σ – це логістична сигмоїдна функція; i , f , o та c – відповідно вхідні ворота, ворота забуття, вихідні ворота та вектори активації осередку, усі з яких мають той самий розмір, що й вектор активації вихідної клітини m ; m – поелементний добуток векторів; g і h – функції активації входу та виходу клітинки; ϕ – функція активації виходу мережі.

Попереднє дослідження «Аналіз якості роботи системи генерування музики на основі LSTM» (Каширіна О.Ю., Гавриленко О.В., 2021) показує, що генерування творів за допомогою LSTM-мереж має задовільний результат [7]. LSTM-мережу доцільно використати для першого етапу генерування в рамках даної роботи.

Нейронна мережа використана в рамках дослідження є моделлю послідовного класу та складається з наступних частин:

- LSTM зі 128 виходами без повернення вихідних даних, що приймає на вхід матрицю вхідних станів мелодії;
- шар регуляризації методом виключення (dropout), де частка вхідних одиниць для виключення складає 20%;
- LSTM зі 128 виходами з поверненням даних виходу, що приймає на вхід результати обробки попередніми шарами;
- шар регуляризації методом виключення (dropout), де частка вхідних одиниць для виключення складає 20%.
- шар зміщення;
- шар активації з функцією активації Softmax.

У якості функції втрат використано категоріальну кросентропію. Оптимізатором виступає середньоквадратичне поширення помилки (Root Mean Square Propagation, RMSProp).

На другому етапі MIDI-файл, згенерований за результатами навчання нейронної мережі, передається на обробку методом ланцюгів Маркова. Ланцюг Маркова — це модель, яка описує послідовність можливих подій. Ця послідовність повинна відповідати припущенню Маркова — ймовірність наступного стану залежить від попереднього стану, а не від усіх попередніх станів у послідовності.

Розглянемо послідовність випадкових величин $X_1, X_2, \dots, X_n$. Такий набір випадкових величин $\{X_i\}$ утворює стохастичний процес. Індекс i в X_i часто називають часом. Таким чином, X_i – стан ланцюга в фіксований час i . Ланцюг Маркова — це випадковий процес, такий, що для всіх i виконується умова $[X_i | X_1, \dots, X_{i-1}] \sim [X_i | X_{i-1}]$ [8].

Музичний уривок, згенерований на першому етапі, виступає вхідними даними для побудови ланцюга. Створюється датафрейм, що містить виділені ноти і акорди (стани) та ймовірності їхнього поєднання (переходу з одного стану в інший). Після цього застосовується нормалізація ймовірностей – сума ймовірностей по стовпцям та рядкам повинна дорівнювати одиниці. Окрім цього, методами бібліотеки music21 розраховується тривалість фрагментів мелодії, відповідно до якої фрагменти діляться на такі категорії, як: короткі (S), середні (M) та тривалі (L). Для генерації вихідного аудіофайлу інтервал для фрагменту обирається рандомно, відповідно до заданих меж інтервалу категорії. Таким чином, тривалість вихідного фрагменту приблизно відповідає вхідній, але незначні зміни дозволяють підвищити унікальність згенерованого аудіофайлу. Для побудови ланцюга Маркова до датафрейму з ймовірностями застосовується дискретна ймовірнісна функція:

$$p_X(x) = P(X = x), \#(7)$$

де $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \subset \mathbb{R}^n$. Отримані результати у вигляді графу з ймовірностями переходу представлено на рисунку 1.

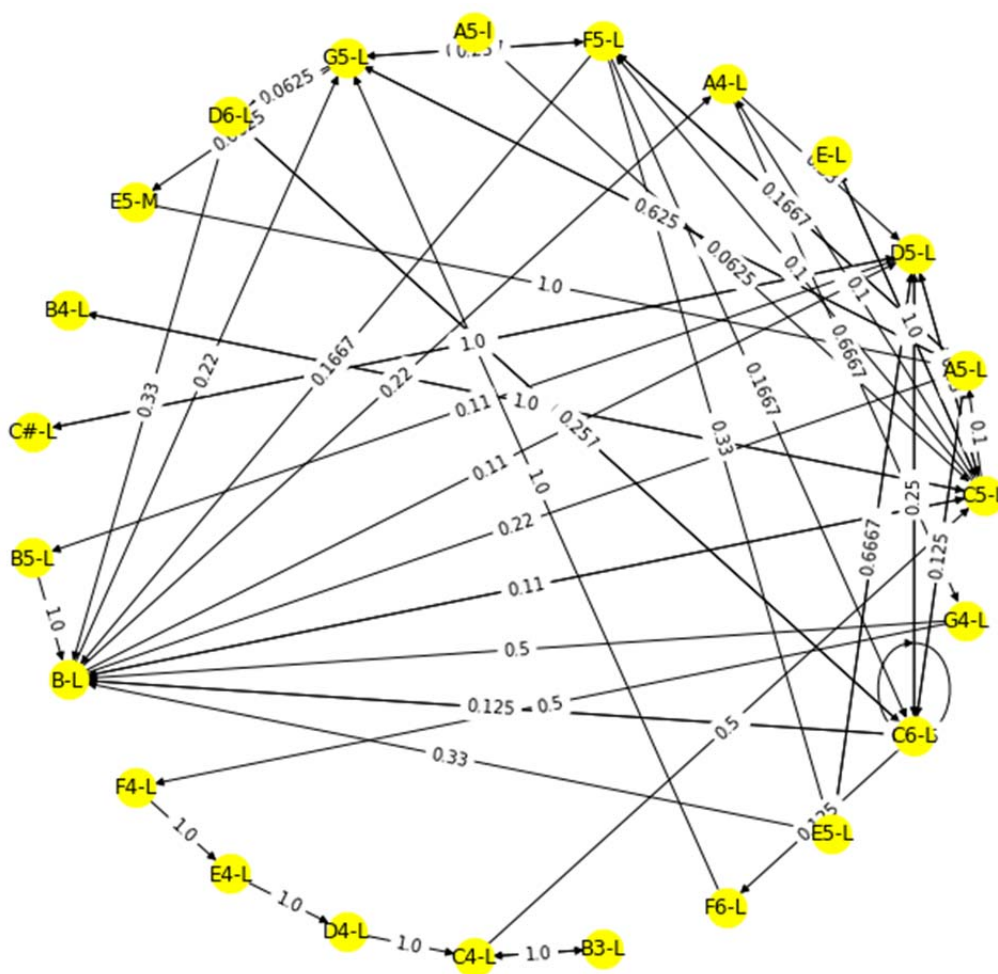


Рисунок 1 – Марківський ланцюг
Figure 1 – Markov chain

Розглянемо приклад для переходу з акорду (стану) C5-L виділеному на рисунку 2.

З прикладу можна зауважити, що сума ймовірностей переходів дорівнює одиниці. Ймовірності переходів у інші наявні стани, такі як G5-L, D6-L, E5-M, C#-L, B5-L, F4-L, E4-L, D4-L, C4-L, B3-L, F6-L, E5-L, C6-L, G4-L, C5-L, D5-L дорівнюють нулю та не представлені на графі. З ймовірністю 0.3 після акорду C5-L йтиме акорд B-L.

Ланцюги Маркова дозволяють задати довжину – у нашому випадку довжина композиції складає 500 фрагментів. На створений ланцюг накладаються обрані випадковим чином тривалості звучання фрагментів. Методами бібліотеки music21 генерується MIDI-файл з вихідною мелодією.

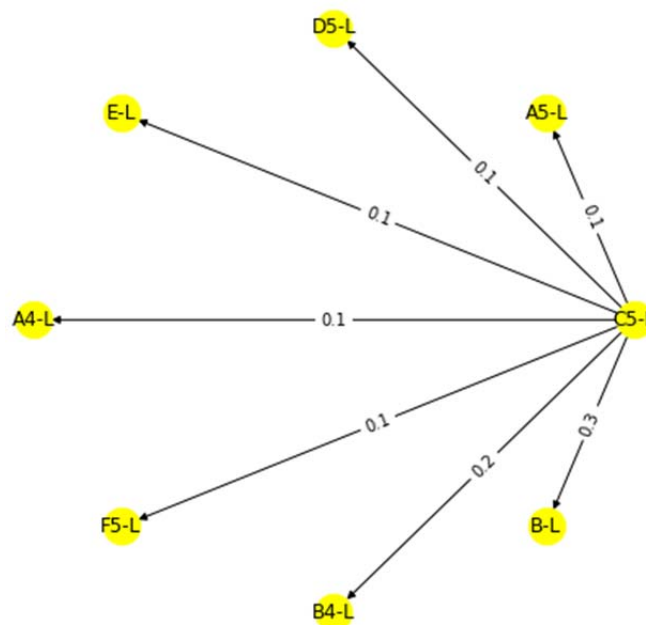


Рисунок 2 – Переходи зі стану C5-L
Figure 2 – Transitions from the C5-L state

Результати

Розроблена нейронна мережа має точність 92.27% після 200 епох навчання. Статистика точності за епохами представлена у вигляді графіку на рисунку 3.

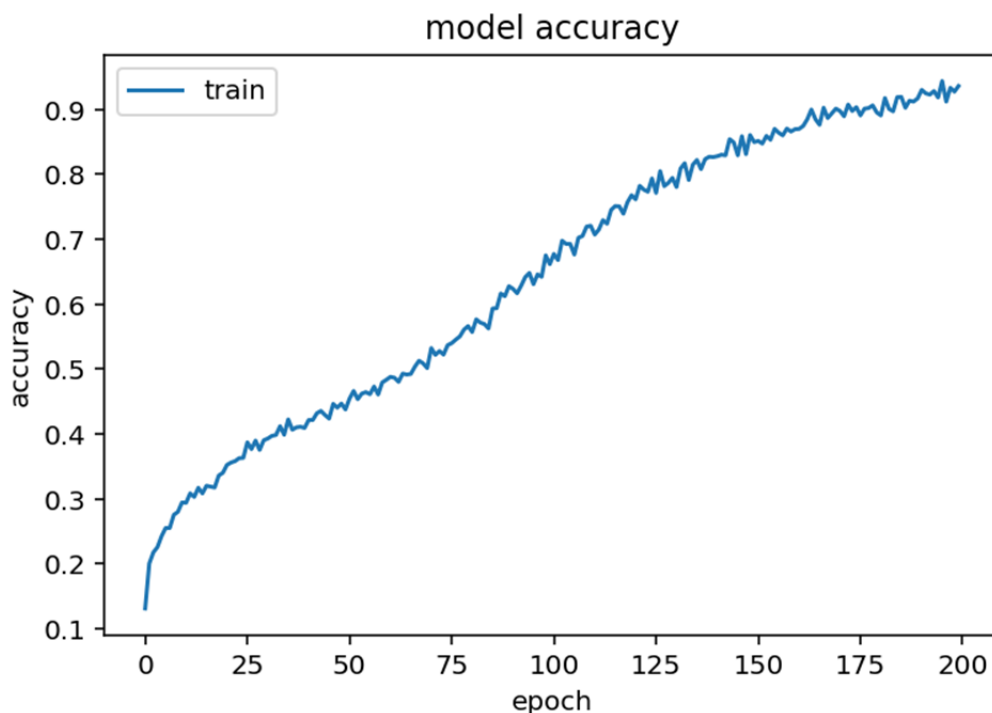


Рисунок 3 – Зростання точності моделі за епохами
Figure 3 – Growth of the accuracy of the model by epoch

Спектрограми вхідної композиції, результату нейронної мережі та побудованої ланцюгом Маркова мелодії побудовані в середовищі FL Studio наведено на рисунках 4, 5 та 6 відповідно. Зі спектрограм можемо бачити, що вихід нейронної мережі повторює основу вхідної мелодії. Вихід згенерований за допомогою ланцюга Маркова має «розріджену» спектрограму. Це пояснюється спробою випадкового вибору інтервалів (тривалості фрагментів) при моделюванні композиції.

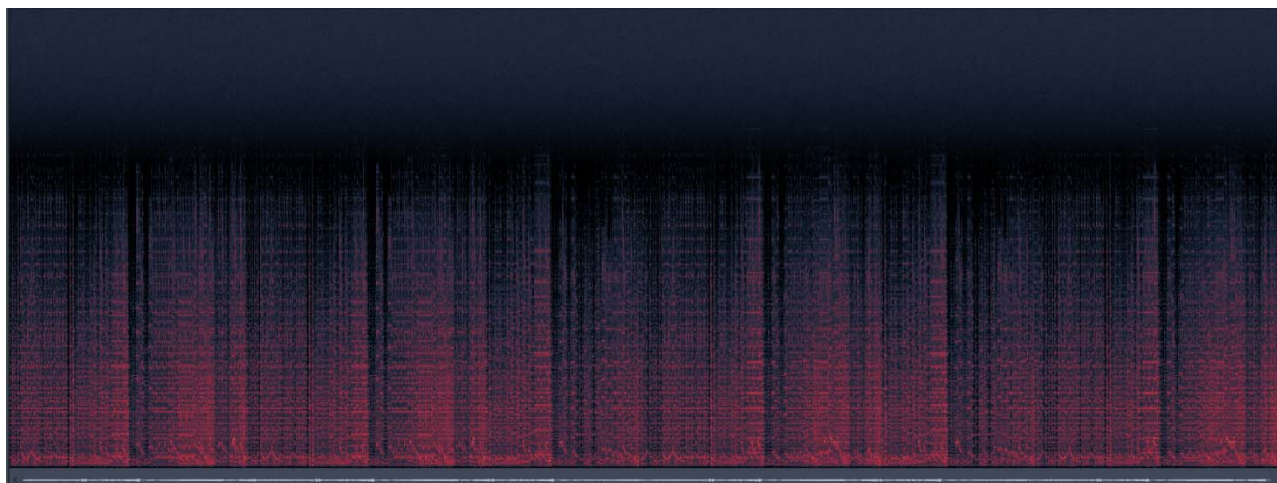


Рисунок 4 – Спектрограма вхідної мелодії
Figure 4 – Spectrogram of the input melody

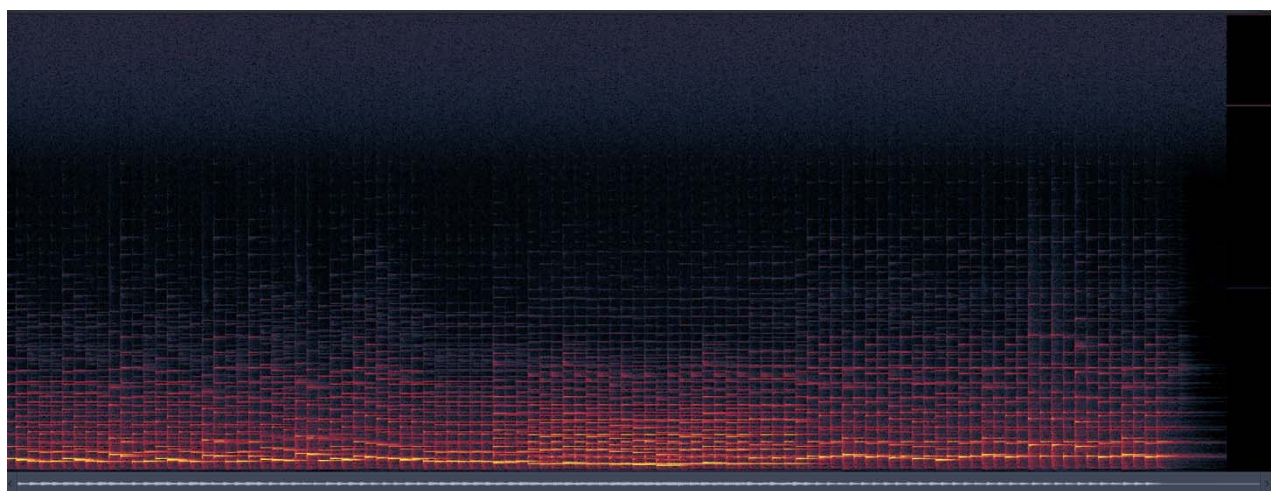


Рисунок 5 – Спектрограма виходу нейронної мережі
Figure 5 – Spectrogram of neural network output

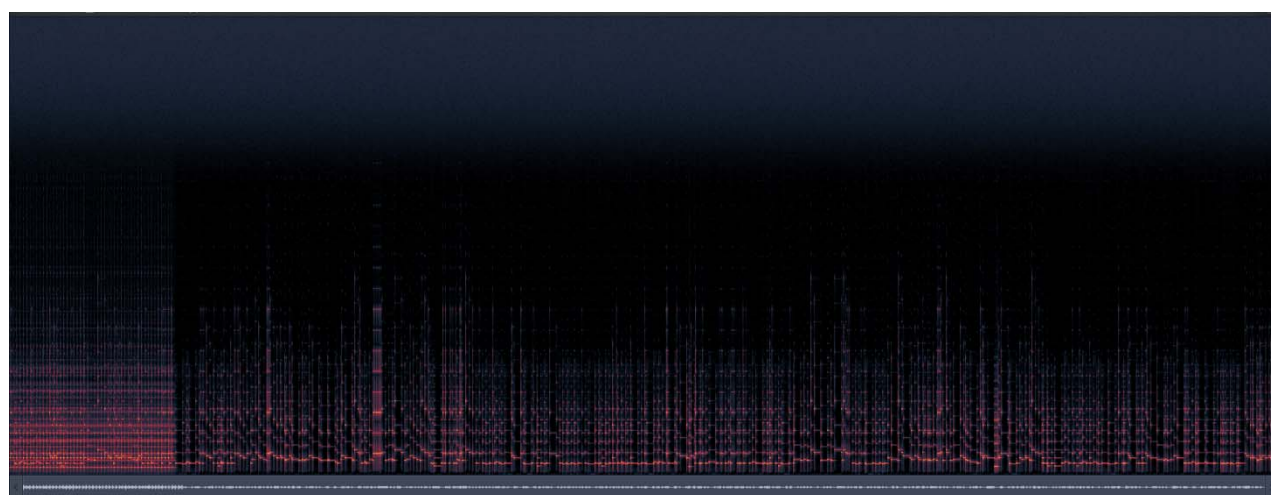


Рисунок 6 – Спектрограма мелодії, згенерованої за допомогою ланцюгів
Маркова на основі мелодії, згенерованої нейронною мережею
Figure 6 – Spectrogram of a melody generated using Markov chains based
on a melody generated by a neural network

Висновки

Автоматична генерація музики затребувана у зв'язку з популяризацією контенту, підкріпленого музичним супроводом.

Незважаючи на широкий спектр підходів до генерації музики відкритим питанням залишаються способи їхнього комбінування для вирішення проблем тривалості та унікальності мелодії. Дослідження показало, що підхід використання нейронних мереж дозволяє створити мелодію з гармонічним звучанням подібну на вхідну композицію, в той час як побудова ланцюга Маркова дозволяє задати довжину згенерованого фрагменту та накласти модифіковані тривалості для підвищення унікальності аудіоматеріалу.

Подальші дослідження передбачають роботу над варіаціями комбінацій інших нейронних мереж з методом ланцюгів Маркова, а також пошук способу для автоматизованого створення біта та його гармонійного поєднання з мелодією.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Shulei Ji, Jing Luo, Xinyu Yang. A Comprehensive Survey on Deep Music generation: Multi-level Representations, Algorithms, Evaluations, and Future Directions. 2020 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://arxiv.org/pdf/2011.06801.pdf>.
2. Personalized Popular Music Generation Using Imitation and Structure / Shuqi Dai et al. 2021 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://arxiv.org/pdf/2105.04709.pdf>.
3. Symbolic Music Generation with Transformer-GANs / Aashiq Muhamed et al. 2021 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ojs.aaai.org/index.php/AAAI/article/view/16117>.
4. Hasim Sak, Andrew Senior, Francoise Beaufays. Long Short-Term Memory Recurrent Neural Network Architectures for Large Scale Acoustic Modeling [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://static.googleusercontent.com/media/research.google.com/en//pubs/archive/43905.pdf>.
5. F. A. Gers, J. Schmidhuber, and F. Cummins, “Learning to forget: Continual prediction with LSTM,” *Neural Computation*, vol. 12, no. 10, pp. 2451–2471, 2000.
6. F. A. Gers, N. N. Schraudolph, and J. Schmidhuber, “Learning precise timing with LSTM recurrent networks,” *Journal of Machine Learning Research*, vol. 3, pp. 115–143, Mar. 2003.
7. Каширіна О.Ю. Аналіз якості роботи системи генерування музики на основі LSTM / Каширіна О.Ю., Гавриленко О.В. // Матеріали Першої Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених та студентів «Інженерія програмного забезпечення і передові інформаційні технології» (SoftTech-2021). – 2021. – С. 28–31.
8. Ilana Shapiro, Mark Huber. Markov Chains for Computer Music Generation. *Journal of Humanistic Mathematics*. 2021. Vol. 11, no. 2 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://scholarship.claremont.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1848&context=jhm>

REFERENCES

1. Shulei Ji, Jing Luo, Xinyu Yang. A Comprehensive Survey on Deep Music generation: Multi-level Representations, Algorithms, Evaluations, and Future Directions. 2020 [Electronic resource] – <https://arxiv.org/pdf/2011.06801.pdf>.
2. Personalized Popular Music Generation Using Imitation and Structure / Shuqi Dai et al. 2021 [Electronic resource] – <https://arxiv.org/pdf/2105.04709.pdf>.
3. Symbolic Music Generation with Transformer-GANs / Aashiq Muhamed et al. 2021 [Electronic resource] – <https://ojs.aaai.org/index.php/AAAI/article/view/16117>.
4. Hasim Sak, Andrew Senior, Francoise Beaufays. Long Short-Term Memory Recurrent Neural Network Architectures for Large Scale Acoustic Modeling [Electronic resource] – <https://static.googleusercontent.com/media/research.google.com/en//pubs/archive/43905.pdf>.
5. F. A. Gers, J. Schmidhuber, and F. Cummins, “Learning to forget: Continual prediction with LSTM,” *Neural Computation*, vol. 12, no. 10, pp. 2451–2471, 2000.
6. F. A. Gers, N. N. Schraudolph, and J. Schmidhuber, “Learning precise timing with LSTM recurrent networks,” *Journal of Machine Learning Research*, vol. 3, pp. 115–143, Mar. 2003.

7. Kashyryina O.Iu. Analiz yakosti roboty systemy heneruvannia muzyky na osnovi LSTM / Kashyryina O.Iu., Havrylenko O.V.. // Materialy Pershoi Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv «Inzheneriia prohramnoho zabezpechennia i peredovi informatsiini tekhnologii» (SoftTech-2021). – 2021. – pp. 28–31. (In Ukrainian)

8. Ilana Shapiro, Mark Huber. Markov Chains for Computer Music Generation. Journal of Humanistic Mathematics. 2021. Vol. 11, no. 2 [Electronic resource] – <https://scholarship.claremont.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1848&context=jhm>

РЕФЕРАТ

Гавриленко О.В. Використання математичних моделей та засобів штучного інтелекту для автоматизації написання музичних творів / О.В. Гавриленко, О.Ю. Дмитрук, А.В. Тетерук // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – 3 (53).

Задача автоматизації процесу створення музики набула популярності серед дослідників після появи нових форматів представлення музичних даних та розробки програмного забезпечення для аналізу музики, що надали можливість перетворювати аудіоматеріали в набори структурованих даних.

Метою даної роботи є вирішення проблеми тривалості згенерованої композиції та підвищення рівня унікальності фрагменту. Для вирішення задачі запропоновано комбінування підходів використання нейронних мереж та ланцюгів Маркова. Перший етап полягає в застосуванні нейронної мережі, що приймає у якості навчальних даних числове представлення референсного аудіофайлу. На другому етапі до результатів генерації першого етапу застосовується підхід ланцюгів Маркова. Для дослідження обрано нейронну мережу LSTM. Стаття стисло описує архітектуру мережі та підхід до формування ланцюга Маркова.

За результатами дослідження було визначено точність роботи нейронної мережі на першому етапі та проаналізовано спектрограми композицій, отриманих після першого та другого етапів генерації. Результати підтверджують, що випадковий вибір інтервалів при застосуванні підходу ланцюгів Маркова до виходу нейронної мережі дозволяє збільшити унікальність згенерованого фрагменту мелодії. Відкритим залишається питання накладання обмежень на вибір інтервалів, що дозволять підтримати темп та гармонію вихідного фрагменту.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: LSTM, ЛАНЦЮГ МАРКОВА, НЕЙРОННА МЕРЕЖА, ГЕНЕРАЦІЯ МУЗИКИ.

ABSTRACT

Olena Gavrilenko, Olesia Dmytruk, Anastasia Teteruk. Mathematical models and artificial intelligence tools usage for automation of writing musical compositions. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The task of automating the process of music creation gained popularity among researchers after the emergence of new formats for the presentation of music data and the development of software for music analysis, which made it possible to transform audio materials into sets of structured data.

The aim of this research is solve the problem of the duration of the generated composition and increase the level of uniqueness of the output fragment. To solve the problem, a combination of approaches using neural networks and Markov chains is proposed. Neural network that takes the numerical representation of the reference audio file as training data prepares audio at the first stage. At the second stage, the Markov chain approach is applied to the neural network generation result. The LSTM neural network was chosen for the solution. The article briefly describes the network architecture and the approach to building up the structure of Markov chain.

Solution output proves that random selection of intervals when applying the Markov chain approach to the fragment generated by the neural network allows to increase the uniqueness of the generated melody. The issue of imposing restrictions on the choice of intervals that will allow maintaining the tempo and harmony of the original fragment remains open.

KEY WORDS: LSTM, MARKOV CHAIN, NEURAL NETWORK, MUSIC GENERATION.

АВТОРИ:

Гавриленко Олена Валеріївна, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри інформаційних систем та технологій, ФІОТ, Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», +380935768058, Україна, Київ, вул. Політехнічна, 41, кімната 519, gelena1980@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0413-6274

Дмитрук Олеся Юріївна, магістрант кафедри інформаційних систем та технологій, ФІОТ, Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна, вул. Політехнічна, 41, кімната 519, oj.dmytruk@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0596-0492

Тетерук А.В. Національний транспортний університет, магістрант кафедри інформаційних систем та технологій, e-mail: teteruk.anastasiia.work@gmail.com, тел.+38-044-280-70-66, Україна, 01010, м. Київ, вул. М.Омеляновича-Павленка 1, к.347а <https://orcid.org/0000-0002-5309-4122>

AUTHORS:

Olena Valeriiivna Gavrylenko, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies, FIOT, National Technical University of Ukraine «KPI named after Igor Sikorsky», +380935768058, Ukraine, Kyiv, str. 41 Polytechnica str., room 519, gelena1980@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0413-6274

Olesya Yuriivna Dmytruk, master's student of the Department of Information Systems and Technologies, FIOT, National Technical University of Ukraine «KPI named after Ihor Sikorsky», +380506992350, Kyiv, Ukraine, str. 41 Polytechnic, room 519, oj.dmytruk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0596-0492>

Anastasiya Vitaliyivna Teteruk, National Transport University, master's student of the Department of Information Systems and Technologies, e-mail: teteruk.anastasiia.work@gmail.com, phone +380442807066, Ukraine, Kyiv, St. M. Omelyanovicha-Pavlenka 1, k. 347a <https://orcid.org/0000-0002-5309-4122>

РЕЦЕНЗЕНТИ:

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

Стенін О.А., доктор технічних наук, професор, професор кафедри інформаційних систем і технологій, Національний технічний університет «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

REVIEWERS:

G. L. Baranov, professor of the Department of Information Systems and Technologies of the National Transport University, doctor of technical sciences, professor,

O.A. Stenin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Information Systems and Technologies, National Technical University «KPI named after Igor Sikorsky».

ПОЛІПШЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДВИГУНА З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ В РЕЖИМАХ ПОВНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Гора М.Д., ДП «ДержавтотрансНДІпроект», Київ, Україна, mgora@insat.org.ua,
orcid.org/0000-0002-1574-3080

IMPROVEMENT OF THE ENERGY INDICATORS OF THE ENGINE WITH SPARK IGNITION IN FULL LOADS MODES

Hora M.D., State Enterprise «State Road Transport Research Institute», Kyiv, Ukraine,
mgora@insat.org.ua, orcid.org/0000-0002-1574-3080

Постановка проблеми.

Режими роботи транспортних двигунів, зокрема автомобільних, в умовах експлуатації визначаються режимами руху автомобілів, які є сукупністю розгонів, гальмувань, усталеного руху і комбінацією цих режимів. Використання цих режимів у значній мірі залежить від місця експлуатації автомобілів. У населених пунктах, зокрема в великих містах, режими руху автомобілів залежать від інтенсивності дорожнього руху. Кількість автомобілів постійно зростає. Як показують дослідження ДП «ДержавтотрансНДІпроект», рух автомобілів у місті Києві [1] характеризується значною кількістю інтенсивних розгонів і гальмувань. У таких умовах важливим є підвищення динамічних показників автомобіля, які залежать від енергетичних показників автомобільного двигуна. Тому поліпшення цих показників двигунів з іскровим запалюванням за роботи з повним навантаженням є актуальним завданням. Підвищення енергетичних показників (крутного моменту, потужності, середнього ефективного тиску) є актуальним для спортивних транспортних засобів, енергетичних стаціонарних установок за роботи з повним навантаженням. Разом з тим у процесі визначення методу отримання високих енергетичних показників двигунів необхідно враховувати вплив методу на екологічні показники і паливну економічність автомобіля. З цієї точки зору і проведені розрахункові дослідження методу поліпшення показників двигуна з іскровим запалюванням у режимах повних навантажень додавкою закису азоту до повітряного заряду.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Підвищення енергетичних показників двигунів з іскровим запалюванням у режимах повних навантажень досягають різними методами. Основними з них, які широко використовують або досліджують, є підвищення ступеня стискання, використання двотактного циклу, підвищення частоти обертання [2]. Найбільш ефективним і таким, який знаходить широке застосування, методом є збільшення наповнення циліндрів двигуна повітрям, збільшення тиску заряду на впуск, використанням наддуву. Наддув здійснюють використанням компресора (механічний і газотурбінний наддув), хвильового обмінника тиску (акустичний або резонансний наддув). Поряд із розглянутими методами загальноновизнаним напрямом підвищення енергетичних показників двигунів з іскровим запалюванням у режимах повних навантажень є збагачення паливоповітряної суміші. Робота двигуна на збагаченій паливоповітряній суміші призводить до збільшення витрати бензину і погіршення екологічних показників, зокрема при використанні каталітичного нейтралізатора. Тому актуальними є дослідження методів, які дозволяють поліпшити одночасно енергетичні і екологічні показники двигуна в названих режимах роботи без збільшення витрати палива. Таким методом є використання добавки кисневмісних сполук до повітряного заряду. Однією з таких сполук є закис азоту, в якому кисень за об'ємом складає 33 %. Тому цей метод часто називають хімічним наддувом. Добавка закису азоту до повітряного заряду двигуна з іскровим запалюванням має бути строго дозована, так як її значне збільшення може призвести до детонації і навіть виходу двигуна з ладу. На даний час добавку закису азоту використовують у двигунах спортивних автомобілів. Дослідження двигунів серійних автомобілів показали можливість значного підвищення енергетичних показників [2]. Детальні дослідження щодо впливу добавки закису азоту до повітряного заряду на показники карбюраторного двигуна легкового автомобіля без нейтралізатора провели в роботі [3]. Показано, що добавка 12 % за об'ємом закису азоту підвищує індикаторний к.к.д. на 15,1 %, призводить до зростання ефективної потужності на 6,6 % та зниження ефективної питомої витрати палива на 6,3 %, зменшення викидів забруднених речовин з відпрацьованими газами, зокрема CO і C_mH_n .

У статті наведені результати розрахункових досліджень показників роботи двигуна з іскровим запалюванням, із системою впорскування бензину, зворотним зв'язком і трикомпонентним нейтралізатором у режимах повних навантажень при добавці закису азоту до повітряного заряду двигуна. В розрахунках використані результати експериментальних досліджень цього двигуна, проведених у лабораторії випробування двигунів Національного транспортного університету.

Виклад основного матеріалу.

Використання закису азоту, в якому кисень за об'ємом складає 33 %, що значно більше в порівнянні з повітрям (21 %), в якості добавки до повітряного заряду двигуна з іскровим запалюванням дозволяє впливати на енергетичні, екологічні показники та паливну економічність. Це особливо актуально для режиму повних навантажень, в якому показники двигуна, зокрема паливна економічність та екологічні показники, погіршуються. Добавка закису азоту до повітряного заряду не забезпечує одночасного отримання оптимальних величин названих показників. Залежно від поставленої мети добавка закису азоту до повітряного заряду двигуна з іскровим запалюванням поліпшує:

- енергетичні показники двигуна в режимі повних навантажень використанням повітряного заряду з вищим вмістом кисню і відповідно з більшою подачею бензину;
- паливну економічність без погіршення енергетичних показників переходом від роботи на збагачених бензоповітряних сумішах до роботи двигуна на стехіометричній і навіть збідненій суміші;
- умови для ефективної роботи каталітичного нейтралізатора при стехіометричному складі суміші без погіршення паливної економічності і енергетичних показників.

Для обґрунтування названих напрямів поліпшення показників двигунів з іскровим запалюванням у режимах повних навантажень добавкою закису азоту до повітряного заряду провели розрахункові дослідження з використанням результатів експериментальних досліджень двигуна 6Ч9,5/6,98 з системою впорскування, зворотним зв'язком і каталітичним нейтралізатором [4, 5].

На рисунку 1 показана залежність коефіцієнту надміру повітря від частоти обертання за роботи двигуна з повним навантаженням. В усьому інтервалі досліджуваних частот обертання коефіцієнт надміру повітря α змінюється в межах 0,84...0,88, тобто система управління для отримання високих енергетичних показників підтримує дещо збагачений склад паливоповітряної суміші, що призводить до збільшення витрати бензину.

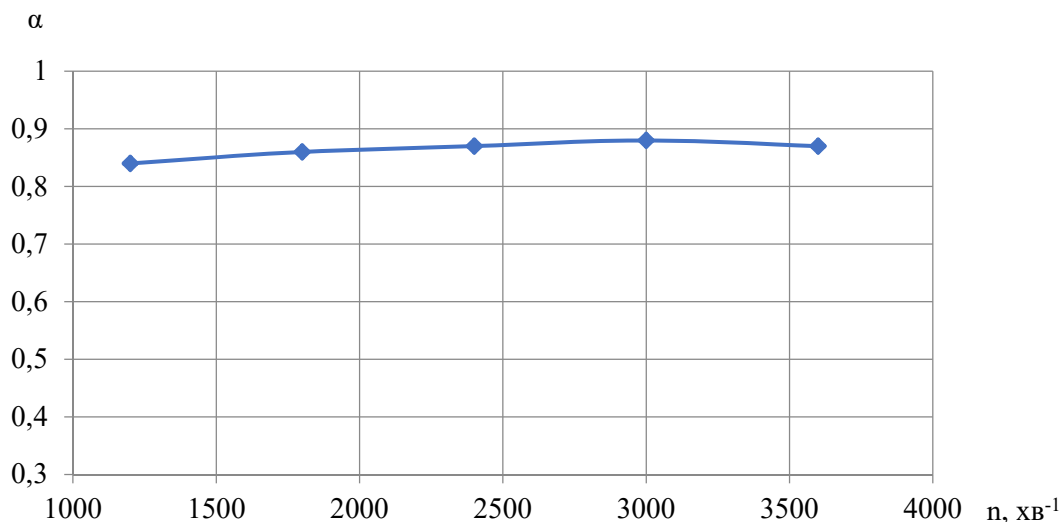


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнту надміру повітря від частоти обертання двигуна 6Ч9,5/6,98 за роботи з повним навантаженням

Figure 1 – Dependence of the coefficient of excess air on the engine speed of engine 6Ch9,5/6,98 at full load

На рисунку 2 показана залежність середнього ефективного тиску від частоти обертання при повному навантаженні.

Обрали для дослідження частоту обертання 1800 хв^{-1} , показники в цьому режимі $\alpha = 0,86$, $p_e = 0,79$ кПа.

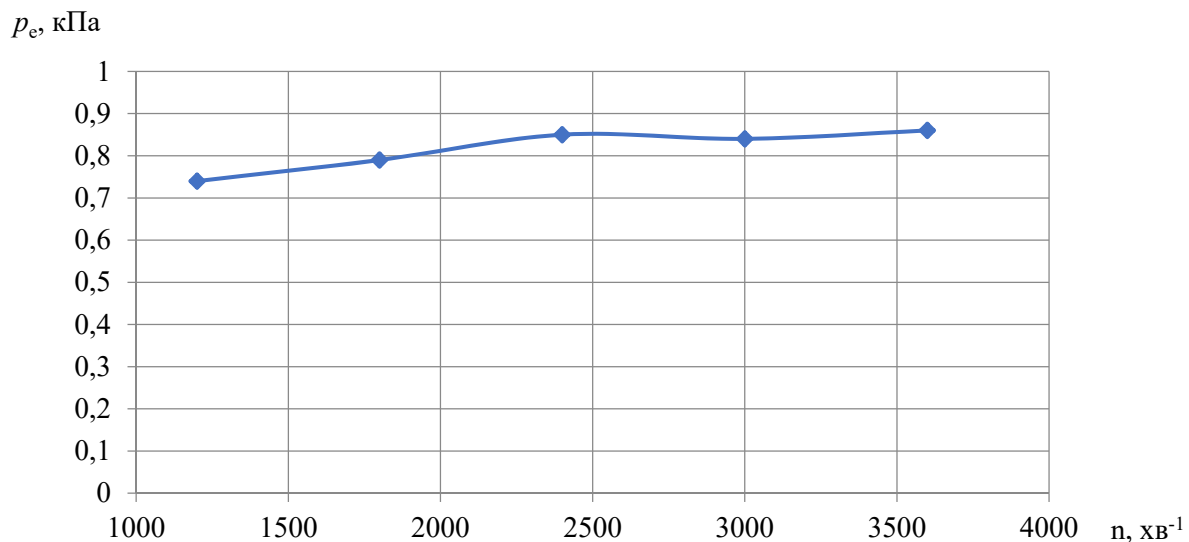


Рисунок 2 – Залежність середнього ефективного тиску від частоти обертання двигуна 6Ч9,5/6,98 за роботи з повним навантаженням

Figure 2 – Dependence of average effective pressure on engine speed of engine 6Ch9.5/6.98 at full load

Середній індикаторний тиск робочого циклу двигуна визначили з відомої залежності:

$$p_i = \frac{\eta_i}{\alpha} \cdot \frac{H_u}{l_0} \cdot \eta_v \cdot \rho_{\text{пов}}, \quad (1)$$

де p_i – індикаторний к.к.д.; H_u – нижча теплота згорання, кДж/кг; l_0 – теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1 кг палива, кг/кг; η_v – коефіцієнт наповнення; $\rho_{\text{пов}}$ – густина повітряного заряду, кг/м³. При добавці закису азоту до повітряного заряду змінюються його характеристики l_0 і $\rho_{\text{пов}}$. Інші параметри при незмінному складі паливоповітряної суміші, як показано в дослідженні [3], можуть бути прийняті незмінними, тоді залежність середнього індикаторного тиску. p'_i при добавці закису азоту до повітря на впуску матиме вигляд

$$p'_i = D \frac{\rho'_{\text{пов}}}{l'_0}, \quad (2)$$

де D – стала величина; $\rho'_{\text{пов}}$ і l'_0 – густина повітряного заряду і теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1 кг палива при добавці закису азоту до повітря на впуску. Визначили зміну l_0 при добавці закису азоту до повітряного заряду в кількості 10 % за об'ємом за відомою залежністю

$$l_0 = \frac{1}{g_{O_2}} \cdot \left(\frac{8}{3} C + 8H - O_T \right), \quad (3)$$

де g_{O_2} – масова частка кисню в повітряному заряді (кг/кг); C, H, O_T – масові частки елементів у паливі (кг/кг). $C = 0,855, H = 0,145, O_T = 0$. При добавці закису азоту змінюється g_{O_2} .

$$g_{O_2} = g_{O_{2\text{пов}}} g_{\text{пов}} + g_{O_2 N_2 O} g_{N_2 O}, \quad (4)$$

де g_{O_2} – масова частка кисню в повітрі, $g_{O_2} = 0,232$; $g_{\text{пов}}$ – масова частка повітря в суміші з закисом азоту; $g_{O_2 N_2 O}$ – масова частка кисню в закисі азоту, $g_{O_2 N_2 O} = 0,364$; $g_{N_2 O}$ – масова частка закису азоту в суміші. Масову частку g_{O_2} визначили за залежностями через об'ємні частки повітря ($r_{\text{пов}} = 0,9$) та закису азоту ($r_{N_2 O} = 0,1$)

$$g_{\text{пов}} = \frac{r_{\text{пов}} \cdot \mu_{\text{пов}}}{r_{\text{пов}} \cdot \mu_{\text{пов}} + r_{N_2 O} \cdot \mu_{N_2 O}}, \quad (5)$$

$$g_{N_2O} = \frac{r_{N_2O} \cdot \mu_{N_2O}}{r_{пов} \cdot \mu_{пов} + r_{N_2O} \cdot \mu_{N_2O}}. \quad (6)$$

У наведених залежностях $\mu_{пов} = 28,96$ кг/кмоль, $\mu_{N_2O} = 44$ кг/кмоль, отримали $g_{пов} = 0,856$, $g_{N_2O} = 0,144$, $g_{O_2} = 0,251$.

Розрахована величина l_0 за формулою (3) складає при використанні повітряного заряду без добавки закису азоту $l_0 = 14,8$ кг/кг, з добавкою 10 % за об'ємом закису азоту $l'_0 = 13,7$ кг/кг.

Густина повітряного заряду $\rho_{пов}$ в процесі визначення характеристик, показаних на рисунках 1 і 2, становила $\rho_{пов} = 1,22$ кг/м³. При добавці закису азоту до повітря в кількості 10 % за об'ємом g_{N_2O} становить 0,145, тоді густина повітряного заряду

$$\rho'_{пов} = g_{пов} \cdot \rho_{пов} + g_{N_2O} \cdot \rho_{N_2O}. \quad (7)$$

Густина закису азоту для умов проведення експерименту ($P = 101050$ Па, $T = 289$ К) становить $\rho_{N_2O} = 1,85$ кг/м³. Густина повітряного заряду при добавці закису азоту становить $\rho'_{пов} = 1,31$ кг/м³.

Визначене з залежностей (1) і (2) відношення середніх індикаторних тисків

$$\frac{p'_i}{p_i} = \frac{\rho'_{пов} \cdot l_0}{l'_0 \cdot \rho_{пов}} = 1,16.$$

Підвищення середнього індикаторного тиску призведе до підвищення ефективних показників двигуна. Визначений в експерименті середній тиск механічних втрат в цьому режимі складає $p_m = 0,12$ МПа, середній ефективний тиск $p_e = 0,79$ МПа, середній індикаторний тиск $p_i = 0,91$ МПа. Тоді очікуваний середній ефективний тиск

$$p'_e = 1,16 \cdot p_i - p_m = 0,936 \text{ МПа}. \quad (8)$$

Таким чином, можна очікувати, що добавка закису азоту до повітряної суміші заряду двигуна з іскровим запалюванням величиною 10 % за об'ємом призведе до поліпшення енергетичних показників за роботи з однаковим складом паливоповітряної суміші на 18 % ($\frac{p'_e}{p_e} = 1,18$).

Для визначення необхідного збільшення циклової подачі бензину для отримання незмінного складу паливоповітряної суміші ($\alpha = 0,86$) проаналізували вираз коефіцієнта надміру повітря для одного циклу

$$\alpha = \frac{V_h \cdot \eta_v \cdot \rho_{пов}}{l_0 \cdot q_{ц}} \cdot 10^3, \quad (9)$$

де: V_h – робочий об'єм циліндра ($V_h = 0,5$ л); η_v – коефіцієнт наповнення, визначений в експерименті ($\eta_v = 0,72$); l_0 – теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1 кг бензину (для роботи без добавки закису азоту, $l_0 = 14,8$ кг/кг, з добавкою 10 % за об'ємом $l'_0 = 13,7$ кг/кг); $\rho_{пов}$ – густина повітряного заряду, визначена в процесі експерименту $\rho_{пов} = 1,22$ кг/м³, розрахована при 10% добавці закису азоту $\rho'_{пов} = 1,31$ кг/м³; $q_{ц}$ – циклова подача бензину, визначена в експерименті $q_{ц} = 34,5$ мг/цикл, $q'_{ц}$ – необхідна для отримання незмінного складу паливоповітряної суміші ($\alpha = 0,86$).

Із залежності (9) визначили, що для отримання незмінного складу паливоповітряної суміші ($\alpha = 0,86$) при добавці 10 % за об'ємом закису азоту до повітряного заряду двигуна необхідно збільшити циклову подачу бензину з 34,5 мг/цикл до 40 мг/цикл на 16 %.

Отже, енергетичні показники двигуна, середній ефективний тиск при добавці 10 % закису азоту до повітряного заряду зростуть на 18 %. Витрата палива при незмінному складі паливоповітряної суміші збільшиться на 16 %, тобто паливна економічність двигуна не зміниться при зростанні енергетичних показників.

Висновки.

Добавка кисневмісного газу – закису азоту до повітряного заряду двигуна з іскровим запалюванням впливає на показники двигуна за роботи з повним навантаженням. Змінюючи склад паливоповітряної суміші, можливо поліпшувати енергетичні, екологічні показники та паливну економічність двигуна в режимі повного навантаження, але одночасно поліпшити названі показники

неможливо. За роботи з повним навантаженням основними є енергетичні показники, які бажано отримати без погіршення інших показників.

Розрахунки, проведені з використанням результатів експериментальних досліджень, отриманих на двигуні 6Ч9,5/6,98 з системою впорскування бензину, зворотним зв'язком і каталітичним нейтралізатором, показали, що добавка 10 % за об'ємом закису азоту до повітряного заряду призведе до зростання енергетичних показників двигуна – середнього ефективного тиску на 18 % при незмінному складі паливоповітряної суміші при зростанні циклової подачі бензину на 16 %, тобто без погіршення паливної економічності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Провести дослідження впливу особливостей конструкції нових типів колісних транспортних засобів та сучасних умов експлуатації на споживання палива і мастильних матеріалів з метою вдосконалення чинної системи нормування: звіт про НДР / ДП «ДержавтотрансНДІпроект». – Київ, 2009.

2. Лэнгфильд Т. Закись азота. Руководство пользователю / Перевод с английского / Т. Лэнгфильд. – М.: Легион-Автодата, 2007. – 136 с.

3. Гаркуша Ю.В. Поліпшення енергетичних показників і паливної економічності бензинового двигуна в режимах повних навантажень: дис.. канд. техн. наук: 05.05.03/ Гаркуша Юхим Володимирович; Нац. транс. ун-т. – К. 2010. – 146 с.

4. Дядченко В.Л. Покращення паливної економічності багатоциліндрових двигунів з впорскуванням бензину в режимах малих навантажень і холостого ходу: дис.. канд. техн. наук: 05.05.03/ Дядченко Вячеслав Леонідович; Нац. транс. ун-т. – К., 2010. – 172 с.

5. Сирота О.В. Покращення паливної економічності і екологічних показників багатоциліндрового бензинового двигуна застосуванням комбінованого методу регулювання потужності: дис.. канд. техн. наук: 05.05.03/ Сирота Олександр Вадимович; Нац. транс. ун-т. – К., 2011. – 182 с.

REFERENCES

1. Provesty doslidzhennya vplyvu osoblyvostei konstrukttsii novykh typiv kolisnykh transportnykh zasobiv ta suchasnykh umov ekspluatatsii na spozhuvannya palyva I mastylnykh materialiv z metoyu vdoskonalennya chunnoi system normuvannya [To study the impact of design features of new types of wheeled vehicles and modern operating conditions on the consumption of fuel and lubricants in order to improve the current rationing system]. State Enterprise “State Road Transport Research Institute”, Kyiv, 2009.

2. Lengfild T. Zakis azota. Rukovodstvo polzpvatelyu. [Nitrous oxide. User manual]. Moscov, Легион-Автодата Legion-Avtodata Publ., 2007. 136 p.

3. Harkusha Yu.V. Polipshennya enerhetychnykh pokaznykiv I palyvnoi ekonomichnosti benzynovoho dvyhuna v rezhymah povnykh navantazhen Dokt. Diss. [Improving the energy performance and fuel economy of a gasoline engine at full load. Doct. Diss.]. Kyiv, 2010. 146 p.

4. Dyadchenko V.L. Pokrashchennia palyvnoi ekonomichnosti bahatotsylindrovyyh dvyhuniv z vpraskuvannyam benzynu v rezhymah malykh navantazhen i holostoho hodu Dokt. Diss. [Improving the fuel economy of multi-cylinder engines with gasoline injection at low loads and idling. Doct. Diss.]. Kyiv, 2010. 172 p.

5. Syrota O.V. Pokrashchennia palyvnoi ekonomichnosti i ekolohichnykh pokaznykiv bahatotsylindrovoho benzynovoho dvyhuna zastosuvannyam kombinovanoho metodu rehulyuvannya potyzhnosti Dokt. Diss. [Improving fuel economy and environmental performance of a multi-cylinder gasoline engine using a combined power control method. Doct. Diss.]. Kyiv, 2011. 182 p.

РЕФЕРАТ

Гора М.Д. Поліпшення енергетичних показників двигуна з іскровим запалюванням в режимах повних навантажень / М.Д. Гора // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

У статті запропоновано метод поліпшення енергетичних показників двигуна з іскровим запалюванням у режимах повних навантажень шляхом використання добавки кисневмісних сполук до повітряного заряду.

Об'єкт дослідження – вплив добавки закису азоту до повітряного заряду на енергетичні показники та паливну економічність двигуна з іскровим запалюванням у режимах повних навантажень.

Мета дослідження – теоретичне дослідження поліпшення енергетичних показників двигуна з іскровим запалюванням у режимах повних навантажень при добавці закису азоту до повітряного заряду.

Наведені результати розрахункових досліджень впливу добавки кисневмісного газу – закису азоту до повітряного заряду на енергетичні показники двигуна з іскровим запалюванням, системою впорскування і зворотним зв'язком. Показано, що одночасно отримати оптимальні величини всіх основних показників роботи двигуна неможливо. Показано, що використання добавки закису азоту, в залежності від мети, можливо поліпшити енергетичні показники, паливну економічність, екологічні показники двигуна. Наведені результати розрахунків впливу добавки закису азоту на енергетичні показники двигуна і паливну економічність.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДВИГУН З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ, ЗАКИС АЗОТУ, ПАЛИВОПОВІТРЯНА СУМІШ, КОЕФІЦІЄНТ НАДМІРУ ПОВІТРЯ, СЕРЕДНІЙ ЕФЕКТИВНИЙ ТИСК, ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ, ПАЛИВНА ЕКОНОМІЧНІСТЬ.

ABSTRACT

Hora M.D. Improvement of the energy efficiency of the spark ignition engine at full load. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article proposes a method of energy efficiency improvement of a spark ignition engine at full load by adding the oxygen-containing compounds to the air charge.

The research object is the effect of the addition to the air charge on energy efficiency and fuel economy of the spark ignition engine at full load.

The purpose of the study is a theoretical research of the energy efficiency improvement of the spark ignition engine at full load with the addition of nitrous oxide to the air charge.

The result of theoretical research shows an effect on energy efficiency of a spark ignition engine with electronic control injection system with feedback by adding the oxygen-containing compounds (nitrous oxide) to the air charge. It is shown that it is impossible to obtain the optimal values of all the main indicators of engine operation at the same time. It is shown that by using a nitrous oxide, depending on the purpose, it is possible to improve engine energy efficiency, fuel economy and pollution. The results of calculation of the theoretical research of energy efficiency improvement of a spark ignition engine at full load by adding the oxygen-containing compounds to the air charge are given.

KEYWORDS: SPARK IGNITION ENGINE, NITROUS OXIDE, FUEL-AIR MIXTURE, EXCESS AIR RATIO, AVERAGE EFFECTIVE PRESSURE, ENERGY PERFORMANCE, FUEL ECONOMY.

АВТОР:

Гора Микола Дмитрович, завідувач сектору, ДП «ДержавтотрансНДІпроект», e-mail: mgora@insat.org.ua, orcid.org/0000-0002-1574-3080, тел. +380442010863, Україна, 03113, м. Київ, просп. Перемоги 57, к. 7.

AUTHOR:

Hora Mykola Dmytrovych, head of sector, State Enterprise “State Road Transport Research Institute”, e-mail: mgora@insat.org.ua, orcid.org/0000-0002-1574-3080, ph. num. +380442010863, Ukraine, 03113, Kyiv, Peremohy avenue 57, k. 7.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри «Автомобілі», Україна, Київ.

Клименко О.А., доктор технічних наук, доцент, ДП «ДержавтотрансНДІпроект», заступник директора з наукової роботи, Україна, Київ.

REVIEWER:

Sakhno V. PhD, Engineering (Dr.), professor, National Transport University, Head of Department of Automobiles, Ukraine, Kyiv.

Klymenko O. PhD, Engineering (Dr.), associate professor, State Enterprise “State Road Transport Research Institute”, Deputy Director for Research, Ukraine, Kyiv.

РОЗУМНЕ МІСТО: РЕАЛІЇ ТА МАЙБУТНЄ УКРАЇНИ

Гурч Л.М., кандидат економічних наук, доцент, Національний транспортний університет, Київ, Україна, lyudmila.gurch@ukr.net, orcid.org/ 0000-0003-3199-0695

Долінська Т.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, tanikhakuzik@gmail.com, orcid.org/ 0000-0001-8067-2912

SMART CITY: REALITIES AND FUTURE OF UKRAINE

Gurch L.M., Ph.D., National Transport University, Kiev, Ukraine, lyudmila.gurch@ukr.net, orcid.org/ 0000-0003-3199-0695

Dolinska T.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, tanikhakuzik@gmail.com, orcid.org/ 0000-0001-8067-2912

Постановка проблеми. В умовах зростання кризової ситуації не лише в Україні, а й у всьому світі докорінно змінюється життя людей. Спочатку світова пандемія COVID-19 значно прискорила і одночасно уповільнила процеси цифровізації. На початку 2021 року дослідження, проведене Європейською Бізнес Асоціацією, зафіксувало падіння Індексу настроїв малого бізнесу до 2,38 балів з 5-ти можливих, порівняно з 3,07 балами минулого року. [1]. Наступним етапом стало російське вторгнення на територію України, війна та нестабільна економічна ситуація значно уповільнює процес розвитку цифрових технологій. Логістична інфраструктура України була хронічно недофінансованою у довоєнний час, а внаслідок воєнних дій особливо потребує значних фінансових коштів для відновлення та модернізації. У проєкті Плану відновлення України, розробленому Національною радою з відновлення України від наслідків війни визначено, що загалом на відновлення транспортної інфраструктури України потрібно орієнтовно близько 212,7 млрд грн., які буде спрямовано на відновлення критичних об'єктів транспортної інфраструктури, розбудову залізничних, автомобільних і внутрішніх водних шляхів для налагодження логістики перевезень пасажирів і вантажів, відновлення експорту і забезпечення продовольчої безпеки у світі. [2] Дані дослідження підкреслюють масштаби викликів, з якими Україна стикається, намагаючись відновити свою економіку та водночас даючи відсіч російській агресії, яка не припиняється. З 23 червня 2022 року Україна є кандидатом на членство у ЄС, в якому цифровізація – це одна із складових вимог, необхідно саме зараз докласти для цього максимум зусиль. Оскільки, з огляду на процеси глобалізації та інтеграції у світі, Smart City давно почали набирати популярності серед провідних країн ЄС у всіх сферах, як в побутовому житті, так і в сфері, що стосується промисловості, громадської безпеки, державного управління, медицини, екології, транспорту та інших важливих сфер життя на національному рівні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню проблематики «розумного міста» присвячені численні публікації і зарубіжних, і вітчизняних вчених. Вагомий внесок у теорію і практику зробили такі сучасні українські науковці: Тимченко О.І., Григорак М.Ю., Гонто А.А., Бабко Н.М. та інші. До найбільш повних і ґрунтовних зарубіжних досліджень розуміння сутності «розумного міста» можна віднести праці А. Грінфілда, С. Пула.

Мета роботи. Метою роботи є виявлення теоретичних і практичних аспектів впровадження сталої мобільності для досягнення статусу «розумного» міста українським містам, а також формування ефективних рекомендацій для стрімкого зросту української економіки, за рахунок впровадження усіх складових концепції сталої мобільності в період післявоєнної розбудови.

Результати дослідження. Транспортна інфраструктура чи не найпершою прийняла на себе удар повномасштабної війни, і досі ворог не зупиняє свої атаки на неї. Окрім фізичних пошкоджень, сектор зазнає менш видимих, але не менш болючих втрат, фінансово-економічних.

Внаслідок російської агресії було пошкоджено близько 33% інфраструктури по всій країні: 305 мостів, 19 аеропортів, 110 залізничних станцій та 24 тис. км доріг. За попередніми оцінками, загальний обсяг втрат інфраструктури в Україні склав \$35,3 млрд, і ця цифра збільшується щодня.

У перші тижні війни російські війська здійснювали масовані обстріли авіаційної інфраструктури. Всього з 35 аеродромів було пошкоджено 19, зокрема 12 цивільних і 7 аеродромів

подвійного призначення. Сума втрат, за попередніми оцінками Київської школи економіки, становить \$2,14 млрд.

Згодом, цілями активних атак стали об'єкти залізничної інфраструктури, зокрема електричні підстанції. В цілому за період повномасштабної агресії РФ було пошкоджено або втрачено контроль над 6 тис. км колій залізниці. За даними Мінінфраструктури, попередній огляд стану доріг у деокупованих регіонах показує, що в середньому постраждали приблизно 10% доріг від їх загальної кількості в областях, де відбувались бойові дії. За оцінками минулого року, наданими Укравтодором, реконструкція зруйнованих доріг в середньому може обійтися в 29 млн грн за 1 км дороги, або близько \$26,6 млрд загалом. Якщо врахувати відновлення мостів, то це ще \$1,9 млрд. [3]

Слід зазначити, що всі вищезазначені цифри є лише попередніми оцінками. Точно обрахувати розмір збитків можливо тільки після завершення активних бойових дій, коли експерти матимуть безпосередній доступ до об'єктів, щоб оцінити їх технічний стан.

В період післявоєнної розбудови Україні необхідно рухатися в напрямку сталої мобільності та європейського «зеленого» курсу. Стратегія сталої і розумної мобільності ЄС (Sustainable and Smart Mobility Strategy) – це стратегічний документ Європейського Союзу, який має трансформувати європейську транспортну систему так, щоб викиди від транспорту скоротилися на 90% до 2050 року, а міста стали більш стійкими до майбутніх криз. Стратегія мобільності та План заходів до неї розраховані на 4 роки (починаючи з 2021 року) і містять 82 ініціативи, які мають трансформувати систему транспорту ЄС у розумну, конкурентоспроможну, безпечну, інклюзивну та доступну. [4]

Європейський зелений курс – це дорожня карта заходів, які мають трансформувати економіку Євросоюзу у бік більш ефективної, стійкої та конкурентоспроможної та які визначають засоби перетворення Європи на перший у світі кліматично нейтральний континент до 2050 року.

Стратегія сталої і розумної мобільності ЄС забезпечує досягнення цілей Європейського зеленого курсу в секторі транспорту і мобільності. Стратегія сталої і розумної мобільності містить ініціативи за десятьма напрямками, які об'єднані у три великі категорії (рис.1).

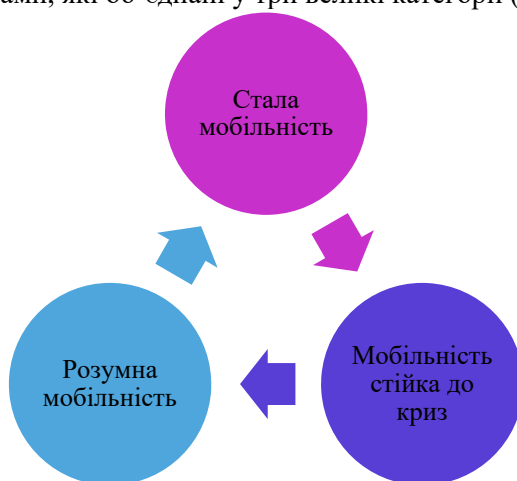


Рисунок 1 – Категорії стратегії сталої і розумної мобільності
Figure 1 – Categories of sustainable and smart mobility strategy

Джерело: сформовано автором на основі досліджень.

Викиди парникових газів від транспорту в Україні складають близько 10-12% від усіх викидів парникових газів на рік, а викиди шкідливих забруднюючих речовин у повітря від транспорту – 35-40%. У великих містах (наприклад, у Києві) викиди шкідливих речовин саме від транспорту можуть складати до 90% усіх викидів, що робить повітря у цих містах шкідливим для здоров'я жителів. Тому перехід на транспорт зі зниженими чи нульовими викидами є важливим для України. Незважаючи на певні відмінності у задекларованих цілях ЄС та України (Європейський Союз прагне скоротити викиди від транспорту на 90% та створити кліматично нейтральний континент до 2050 року, а Україна – стати вуглецево нейтральною до 2060 року), ключові пріоритети Стратегії мобільності повністю відповідають цілям і завданням України у співпраці з ЄС7. Серед спільних пріоритетів – переорієнтація на швидкісний залізничний транспорт, мультимодальні перевезення, цифровізація транспортної сфери, зміщення навантаження з автомобільних вантажних перевезень на залізничний та водний транспорт. Також Стратегія передбачає завершення Транс'європейської транспортної мережі (TEN-T), яке можливе із включенням до неї українських доріг та внутрішніх водних шляхів.

Трансформація економіки у напрямі екології закладає основи для концепції сталого розвитку. В ЄС існує індекс «зеленої» економіки, який слугує основою для створення індивідуальних систем вимірювання сталості та «зеленості» економік світу. (рис.2)

І також – Індекс низьковуглецевої економіки (The Low Carbon Economy Index), який розроблено консалтинговою компанією Pricewaterhouse Coopers у 2000р. Індекс дозволяє оцінити поступ країни G20 у частині скорочення рівня інтенсивності викидів вуглецю. Показник визначається як співвідношення обсягу викидів вуглецю до ВВП за відповідний рік (CO_2 у т/ВВП у \$ млн.), а на його результат впливають такі фактори, як енергоефективність, витрата пального, щільність населення, структура економіки в країні та стан кліматичної системи.

Глобальний індекс «зеленої» економіки (2018 р.)		
Рейтинг	Країна	Результат
1	Швеція	0,7608
2	Швейцарія	0,7594
3	Ісландія	0,7129
4	Норвегія	0,7031
5	Фінляндія	0,6997
6	Німеччина	0,6890
7	Данія	0,6800
8	Тайвань	0,6669
9	Австрія	0,6479
10	Франція	0,6405
120	Україна	0,3813

Рисунок 2 – Рейтинг країн за індексом «зеленої» економіки [5, ст.12]

Figure 2 – Ranking of countries according to the «green» economy index [5, page 12]

Як видно з рисунку 2 найкращі результати за індексом «зеленої» економіки в таких країн як Швеція, Швейцарія, Ісландія та інші. Столиці цих країн є великими потужними центрами розвитку економіки у власній країні і названі «розумними» містами. [5]

Розумне місто (розумні міста) – це те, яке використовує потенціал технологій та інновацій разом з іншими ресурсами, щоб ефективніше сприяти сталому розвитку та активно співпрацює в 6 ключових напрямках міської діяльності з використанням інформаційних, цифрових та телекомунікаційних технологій, на користь його мешканців та підприємств та побудоване на їх «розумній» кооперації, а саме: розумна економіка, розумна мобільність, розумне довкілля, розумне управління, розумне життя, розумні люди – яким відповідає ряд факторів (рис.3)

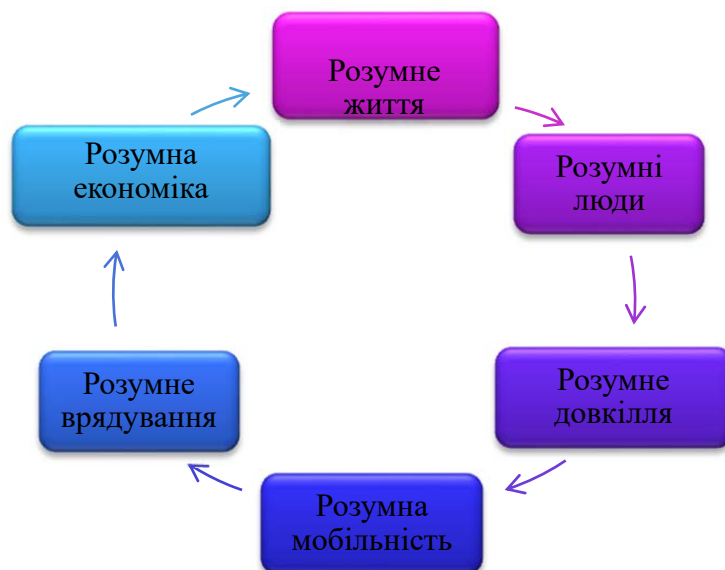


Рисунок 3 – Складові розумного міста

Figure 3 – Components of a smart city

Джерело: сформовано автором на основі досліджень.

Ці країни є не єдиними, серед топ-20 розумних міст – 10 європейських, шість американських, три азійських і одне океанське. Варто зазначити, що єдиної моделі успіху не існує. Щоб покращити місто, першим кроком є визначення моделі, якої слід дотримуватися, і сфер, у яких місто має покращитися.

Проте для міста недостатньо виділятися в одній області чи вимірі: міста повинні прагнути досягти прийнятних мінімальних показників у цілому, оскільки території, як правило, взаємопов'язані. Наприклад, моделі «мобільності та транспорту» міста матимуть відношення до «довкілля» (рис. 4). Одним із головних обов'язків міських планувальників є розуміння цих зв'язків і визначення можливостей і загроз, пов'язаних з національним контекстом.



Рисунок 4 – Приклад пов'язаних між собою компонентів розумного міста
Figure 4 – An example of interconnected components of a smart city

Джерело: сформовано автором на основі досліджень.

Лондон є лідером у сфері інтелектуальної мобільності з амбітною ціллю: до 2041 року 80% подорожей у столиці здійснюватимуться пішки, на велосипеді чи громадському транспорті. Транспортне агентство міста – Transport for London – також має унікальний та амбітний підхід до інновацій, прикладом чого є ініціатива London RoadLab. Лондон трансформує свої державні служби, щоб краще відповідати потребам своїх громадян. Місто вже давно визнано лідером у мобілізації відкритих даних для суспільного блага, про що свідчить політика відкритих даних London Datastore and Transport for London. Будучи найбільшим ринком інвестицій у комерційну нерухомість у світі і домом для всесвітньо відомого технічного центру, не дивно, що Лондон є осередком впровадження технологій розумного міста. [6]

Стокгольм був названий найрозумнішим містом у світі завдяки своїм інноваційним рішенням щодо навколишнього середовища, цифровізації та соціальної стійкості. Іншим фактором, на думку журі, стало лідерство міста в європейському проекті GrowSmarter. Місто хоче стати кліматично сприятливим до 2040 року, що зробить Стокгольм першим у світі. Швеція прагне стати вуглецево-нейтральною до 2045 року. [7]

Париж займає лише 38 місце в рейтингу ефективності розумних міст, що розвивається, але активно впроваджує політику розумного міста, започаткувавши проект спрямований на вирішення сучасних міських викликів, таких як перехід до зеленої енергії, підвищення сталої мобільності та покращення способу життя мешканців. Вирішуючи проблеми житла та щільності забудови Парижа, французька фірма Vincent Callebaut Architectures розробила пропозицію щодо кількох висотних будинків із позитивною енерговитратою (BEPOS). Париж також прагне бути «відкритим» містом, реконструкція якого об'єднує його мешканців, користувачів, економічних гравців і муніципальних чиновників. Останнім стовпом проекту є сталість, оскільки Париж бореться з інструментами, необхідними для здійснення екологічного переходу. Його стратегія передбачає запровадження нових звичок споживання (заохочення циркулярної економіки та використання відновлюваних джерел енергії), міські інновації та взаємозв'язок мереж і потоків мобільності.

Українським містам необхідно розвиватися враховуючи закордонний досвід та черпаючи у них знання. В останні роки розпочалося впровадження як повних концепцій «розумного міста», так і окремих інструментів в деяких містах України (Київ, Івано-Франківськ, Львів, Запоріжжя, Вінниця).

На шляху розбудови Україна має подолати безліч соціальних, управлінських та економічних викликів. (рис. 5)



Рисунок 5 – Виклики на шляху до розбудови концепції «розумних» міст в Україні [8, 330 ст.]
Figure 5 – Challenges on the way to developing the concept of «smart» cities in Ukraine [8, page 330]

Візьмемо для аналізу столицю України – Київ та ще декілька розвинених міст. За програмою «Безпечна столиця», яка почала реалізовуватися з 2017р., на закупівлю близько 7 000 відеокamer, систему відеоспостереження, хмарного сховища було витрачено 450 млн. грн. [8]. Завдяки smart-відеокamerам можливим стало ідентифікування людських обличч з подальшим визначенням даних про особу (ім'я та статус). Інформація надходить та аналізується в Центрі обробки даних. З імовірністю 99% можливим стало визначення державних номерів авто, незалежно від погодних умов, відслідковування переміщення транспортного засобу. Для покращення своєї конкурентної позиції Києву необхідна ефективна стратегія, що включатиме основні пріоритетні напрямки розвитку та чітко визначатиме основні критерії та індикатори результативності. На даний момент в Києві діє Стратегія розвитку міста Києва до 2025 року, що є головним нормативним документом, що визначає цілі та завдання довгострокового розвитку міста. [9]

Також досить привабливий інвестиційний рівень у Одесі. Місто займає лідируючі позиції в прагненні досягнути статусу «Smart City» максимально прискореними темпами. З міського бюджету щорічно виділяються кошти для реалізації програми «Електронне відкрите місто». У поточному році передбачено фінансування в розмірі 8,7 млн грн. Пріоритети програми – публічне управління містом: максимально відкрита влада, впровадження різних інструментів взаємодії влади і суспільства, а також взаємозв'язок різних підрозділів влади для створення «зручного міста».

Чудовим містом, що розвивається з неймовірними темпами є – Дніпро. Цікаво, що, на відміну від Естонії, де на комплексне впровадження електронних послуг знадобилося 15 років, в Дніпрі запланували впоратися зі створенням Smart City за три роки. Містові вдалося запустити безліч електронних нововведень, частина з яких реалізовані в Україні вперше (наприклад, інтерактивна карта аналізу стану доріг «Навізор» і т.п.). Серед діючих проєктів увага була спрямована на сервіси, що спрощують комунікації і перешкоджають розкрадання бюджетних коштів: електронний документообіг, сервіс електронних петицій і адміністративних послуг, відкритий бюджет і систему електронних закупівель ProZorro. З початку року в місті було проведено близько 6,6 тис. електронних торгів.

Серед інших міст України в лідерах також є Харків в декількох категоріях – освітлення, прибирання сміття, теплопостачання, друге місце займає по розвитку транспортної інфраструктури. Останнім часом Харків намагається позиціонувати себе як Smart City. Місто давно досягло успіху в створенні єдиної міської інформаційної системи управління територіями, що дозволяє автоматизувати роботу підрозділів влади, збір інформації, контроль за виконанням рішень і бізнес-процеси.

Україна має великий потенціал для розвитку громадського транспорту та велосипедного руху, а також залізничного і водного транспорту для пасажирських і вантажних перевезень, тож ці пункти зі Стратегії можуть стати орієнтиром для українських міст та уряду. Завдяки полегшеному оподаткуванню ввезення електромобілів Україна уже створює стимули для розвитку електромобільності, тож тепер доцільно зосередитися на рекомендаціях з розширення мережі електрозарядних станцій і стимулюванні використання електровелосипедів та електросамокатів. Інтеграція транспортної мережі України у TEN-T потребує виконання вимог щодо розвитку цієї мережі. Зокрема, міста, що є «вузлами» мережі, мають розробити Плани сталої міської мобільності.

Проаналізувавши основні принципи та характеристики «розумного міста» на основі закордонних прикладів використання стратегії сталої мобільності та «зеленої» економіки, пропонуються такі рекомендації післявоєнної розбудови міст України:

- прискорити широке використання транспорту з нульовими викидами, відновлюваної енергії та низьковуглецевого палива і відповідної інфраструктури;
- створити аеропорти та порти з нульовими викидами;
- зробити міжміську та міську мобільність більш сталою та здоровою;
- «озеленити» вантажні перевезення;
- оподатковувати викиди вуглецю та надати кращі стимули для користувачів;
- зробити реальністю зв'язну та автоматизовану мультимодальну мобільність;
- необхідно запроваджувати та тестувати нові технології у сфері транспорту, проводити дослідження у сфері нових технологій, зокрема, і застосування дронів та безпілотників для потреб щоденної мобільності;
- посилити безпеку на транспорті та створити простір для активного пересування.

Висновки

Внаслідок російської агресії Україна зазнала значних соціальних та економічних збитків. В період післявоєнної розбудови Україні необхідно рухатися в напрямку сталої мобільності та європейського «зеленого» курсу. Стратегія сталої і розумної мобільності ЄС забезпечує досягнення цілей Європейського зеленого курсу в секторі транспорту і мобільності, що є необхідним Україні, так як вона стала кандидатом до вступу в ЄС.

На даний момент в Києві діє Стратегія розвитку міста Києва до 2025 року, що є головним нормативним документом, що визначає цілі та завдання довгострокового розвитку міста. Також досить привабливий інвестиційний рівень у Одесі. Місто займає лідируючі позиції в прагненні досягнути статусу «Smart City» максимально прискореними темпами. З міського бюджету щорічно виділяються кошти для реалізації програми «Електронне відкрите місто». Серед інших міст України в лідерах також є Харків в декількох категоріях – освітлення, прибирання сміття, теплопостачання, друге місце займає по розвитку транспортної інфраструктури.

Проаналізувавши основні принципи та характеристики «розумного міста» на основі закордонних прикладів використання стратегії сталої мобільності та «зеленої» економіки, було запропоновано рекомендації післявоєнної розбудови міст України.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Тимченко О.І. Проблеми та перспективи розвитку малого підприємництва в умовах пандемії COVID-19 // Електронне наукове фахове видання «Ефективна економіка». №6. 2021. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/6_2021/92.pdf (дата звернення: 12.03.2022)
2. Григорак М.Ю., Гонта А.А. Передумови сталого фінансування відновлення об'єктів логістичної інфраструктури у повоєнний період // Тези доповідей XIV Міжнародної науково-практичної конференції Львів, 28 жовтня 2022 р. Львів, Видавництво Львівської політехніки
3. Європейська Бізнес Асоціація [Електронний ресурс] – 2022р. – <https://eba.com.ua/novi-tastari-vyklyky-yak-trymayetsya-ukrayinska-infrastruktura-pid-chas-vijny/>
4. РАЗОМ ДО СТАЛОЇ І РОЗУМНОЇ МОБІЛЬНОСТІ! / І. Бондаренко – К.: Екодія, 2021 – 16 с. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2021/07/razom-do-staloi-mobilnosti.pdf>
5. Конкурсна робота на тему «Конкурентоспроможність столичних мегаполісів в умовах впровадження концепції Smart City» Шифр роботи «Мережеві історії», 2019, ст. 12 URL: https://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/konkysr_stud/ES/2019/2.pdf
6. Веб-сайт Economy-Pedia.com [Електронний ресурс] – 2022р. <https://uk.economypedia.com/11036003-smart-city>
7. SMART CITIES INDEX REPORT 2022 3rd Edition, 58 URL: [file:///C:/Users/ad/Downloads/YONSEI_ISI_LAB_2022_SMART_CITIES_INDEX_REPORT_EN\(Part1\).pdf](file:///C:/Users/ad/Downloads/YONSEI_ISI_LAB_2022_SMART_CITIES_INDEX_REPORT_EN(Part1).pdf)

8. SMART-ІНФРАСТРУКТУРА У СТАЛОМУ РОЗВИТКУ МІСТ: СВІТОВИЙ ДОСВІД ТА ПЕРСПЕКТИВИ УКРАЇНИ Центр Разумкова, 2021, Видавництво «Заповіт», 2021 URL: <https://razumkov.org.ua/uploads/other/2021-SMART-%D0%A1YTI-SITE.pdf>
9. Стратегія розвитку міста Києва до 2025 року URL: <https://dei.kyivcity.gov.ua/content/strategiya-rozvytku-mista-kyieva-do-2025-roku-nova-redakciya1.html>

REFERENCES

1. Timchenko I.O. Problemy ta perspektyvy rozvytku maloho pidpriemnytstva v umovakh pandemii COVID-19 // [Problems and prospects of small business development in the conditions of the COVID-19 pandemic]. Elektronne naukovе fakhove vydannia «Efektyvna ekonomika». №6. 2021. – Electronic scientific specialist edition «Effective Economy». No. 6. 2021. Available at: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/6_2021/92.pdf (date of application: 12.03.2022)
2. Hryhorak M.Iu., Honta A.A. Peredumovy staloho finansuvannia vidnovlennia ob'ektiv lohistychnoi infrastruktury u povoiennyi period // [Prerequisites for sustainable financing of restoration of logistics infrastructure objects in the post-war period]. Tezy dopovidei XIV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii Lviv, 28 zhovtnia 2022 r. Lviv, Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki. – Abstracts of reports of the XIV International Scientific and Practical Conference Lviv, October 28, 2022 Lviv, Publishing House of Lviv Polytechnic
3. Ievropeiska Biznes Asotsiatsiia // [European Business Association]. Available at: <https://eba.com.ua/novi-ta-stari-vyklyky-yak-trymayetsya-ukrayinska-infrastruktura-pid-chas-vijny/>
4. Bondarenko I. RAZOM DO STALOI I ROZUMNOI MOBILNOSTI! // [TOGETHER TO SUSTAINABLE AND SMART MOBILITY!]. – K.: Ekodiia, 2021 – 16 s. K. – Ekodia, 2021 – 16 p. Available at: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2021/07/razom-do-staloi-mobilnosti.pdf>
5. Konkursna robota na temu «Konkurentospromozhnist stolychnykh mehapolisiv v umovakh vprovadzhennia kontseptsii Smart City» Shyfr roboty «Merezhevi istorii», 2019, st. 12 // [Competitive work on the topic «Competitiveness of capital megacities in the conditions of implementation of the Smart City concept» Code of work «Network Histories»]. 2019, p. 12. Available at: https://www.dnu.dp.ua/docs/ndc/konkysr_stud/ES/2019/2.pdf
6. Veb-sait Economy-Pedia.com // Economy-Pedia.com website. Available at: <https://uk.economy-pedia.com/11036003-smart-city>
7. SMART CITIES INDEX REPORT 2022 3rd Edition, 58. Available at: file:///C:/Users/ad/Downloads/YONSEI_ISI_LAB_2022_SMART_CITIES_INDEX_REPORT_EN(Part1).pdf
8. SMART-INFRASTRUKTURA U STALOMU ROZVYTKU MIST: SVITOVYI DOSVID TA PERSPEKTYVY UKRAINY // [SMART INFRASTRUCTURE IN SUSTAINABLE CITY DEVELOPMENT: GLOBAL EXPERIENCE AND PROSPECTS OF UKRAINE]. Tsentr Razumkova, 2021, Vydavnytstvo «Zapovit», 2021. – Razumkov Center, 2021, Zapovit Publishing House, 2021 Available at: <https://razumkov.org.ua/uploads/other/2021-SMART-%D0%A1YTI-SITE.pdf>
9. Stratehiia rozvytku mista Kyieva do 2025 roku // [Development strategy of the city of Kyiv until 2025] Available at: <https://dei.kyivcity.gov.ua/content/strategiya-rozvytku-mista-kyieva-do-2025-roku-nova-redakciya1.html>

РЕФЕРАТ

Гурч Л.М. Розумне місто: реалії та майбутнє України / Л.М. Гурч, Т.В. Долінська // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

У статті наведено розгляд теоретичних і практичних аспектів впровадження сталої мобільності для досягнення статусу «розумного» міста українським містам, а також ефективні рекомендації для стрімкого зросту української економіки, за рахунок впровадження усіх складових концепції сталої мобільності в період післявоєнної розбудови.

Російське вторгнення на територію України значно уповільнює процес розвитку цифрових технологій та розвитку міст. З 23 червня 2022 року Україна є кандидатом на членство у ЄС, в якому цифровізація – це одна із складових вимог, необхідно саме зараз докласти для цього максимум зусиль.

В період післявоєнної розбудови Україні необхідно рухатися в напрямку сталої мобільності та європейського «зеленого» курсу. Стратегія сталої і розумної мобільності ЄС забезпечує досягнення цілей Європейського зеленого курсу в секторі транспорту і мобільності, що є необхідним Україні, так як вона стала кандидатом до вступу в ЄС.

Українським містам необхідно розвиватися враховуючи закордонний досвід та черпаючи у них знання. Проаналізувавши основні принципи та характеристики «розумного міста» на основі закордонних прикладів використання стратегії сталої мобільності та «зеленої» економіки, було запропоновано рекомендації післявоєнної розбудови міст України.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СТРАТЕГІЯ МОБІЛЬНОСТІ, ЦИФРОВІЗАЦІЯ, РОЗУМНЕ МІСТО ТА ЙОГО КОМПОНЕНТИ, СТАЛІЙ РОЗВИТОК, МОБІЛЬНІСТЬ ТА ТРАНСПОРТ

ABSTRACT

Gourch L.M., Dolinska T.V. Smart city: realities and future of Ukraine. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article provides a review of the theoretical and practical aspects of the implementation of sustainable mobility for Ukrainian cities to achieve the status of a «smart» city, as well as effective recommendations for the rapid growth of the Ukrainian economy, due to the implementation of all components of the concept of sustainable mobility in the period of post-war development.

The Russian invasion of the territory of Ukraine significantly slows down the process of the development of digital technologies and the development of cities. From June 23, 2022, Ukraine is a candidate for membership in the EU, in which digitization is one of the component requirements, it is necessary to make maximum efforts for this right now.

In the period of post-war development, Ukraine needs to move in the direction of sustainable mobility and the European «green» course. The EU sustainable and smart mobility strategy ensures the achievement of the goals of the European Green Deal in the transport and mobility sector, which is necessary for Ukraine, as it has become a candidate for EU membership.

Ukrainian cities need to develop taking into account foreign experience and drawing knowledge from them. After analyzing the main principles and characteristics of the «smart city» on the basis of foreign examples of the use of the strategy of sustainable mobility and «green» economy, recommendations for the post-war development of Ukrainian cities were proposed.

KEY WORDS: MOBILITY STRATEGY, DIGITALIZATION, SMART CITY AND ITS COMPONENTS, SUSTAINABLE DEVELOPMENT, MOBILITY AND TRANSPORT

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

Долінська Тетяна Валеріївна, магістр, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: tanihkakuzik@gmail.com тел. +380965386846, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 40 А. orcid.org/0000-0001-8067-2912

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

Dolinska T.V., Master, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: tanihkakuzik@gmail.com tel. +380965386846, Ukraine, 01103, Kyiv, str. M. Boychuk, 40 A. orcid.org/0000-0001-8067-2912

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.

ПОЛІПШЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ДВИГУНА З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ УДОСКОНАЛЕННЯМ СПОСОБУ ВІДКЛЮЧЕННЯ ГРУПИ ЦИЛІНДРІВ ПРИ РЕГУЛЮВАННІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ КОМБІНОВАНИМ МЕТОДОМ

Гутаревич Ю.Ф., доктор технічних наук, 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

IMPROVING THE FUEL ECONOMY OF A SPARK IGNITION ENGINE BY IMPROVING THE CYLINDER GROUP DISCONNECTION METHOD WHEN ADJUSTING ENERGY INDICATORS USING THE COMBINED METHOD

Gutarevych Y.F., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, yugutarevich@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4939-4384

Rychok S.O., State Enterprise «State Road Transport Research Institute», Kyiv, Ukraine, srychok@insat.org.ua, orcid.org/0000-0002-7003-5116

Вступ. Відомо, що зовнішнє навантаження на двигун транспортного засобу, зокрема автомобіля, змінюється в широких межах. Це обумовлює роботу двигуна в різних швидкісних і навантажених режимах. В двигунах з іскровим запалюванням відповідність енергетичних показників зовнішньому навантаженню досягають зміною кількості свіжого заряду за допомогою дроселювання. Дроселювання є однією з причин погіршення паливної економії двигунів з іскровим запалюванням в режимах малих навантажень і холостого ходу, які є основними при використанні автомобілів в умовах експлуатації. Одним з напрямів поліпшення паливної економії двигунів з іскровим запалюванням є використання для регулювання енергетичних показників (потужності, крутного моменту, середнього ефективного тиску) відключення групи циліндрів в режимах малих навантажень і холостого ходу. При цьому в режимах середніх і максимальних навантажень двигун працює на всіх циліндрах.

Регулювання енергетичних показників за роботи з відключеними циліндрами і на всіх циліндрах досягають дроселюванням паливо-повітряної суміші, тобто в цілому для всіх можливих режимів роботи двигуна використовують комбінований метод регулювання енергетичних показників. Відключення групи циліндрів здійснюють різними способами, від від'єднання групи циліндрів від колінчастого вала до припинення подачі палива в групу циліндрів без зміни системи газообміну. В статті наведені результати теоретичних досліджень з використанням експериментальних даних впливу способів відключення групи циліндрів на паливну економічність, які можуть бути використані без значних конструктивних змін двигуна.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Комбінований метод регулювання енергетичних показників двигунів з іскровим запалюванням відомий давно і його вплив на паливну економічність досліджували в багатьох роботах. Суть комбінованого методу полягає в тому, що в режимах малих навантажень і холостого ходу, де паливна економічність двигуна значно погіршується, відключають частину циліндрів або робочих циклів, чим забезпечують роботу решти циліндрів з високим індикатором ККД і поліпшеною паливною економічністю. В режимах малих і середніх навантажень регулювання енергетичних показників здійснюється дроселюванням робочих циліндрів, в режимах середніх і великих навантажень дроселюванням всіх циліндрів, тобто регулювання енергетичних показників здійснюється комбіновано. В науково-дослідних інститутах і заводах проведено багато досліджень комбінованого методу. В Україні перші дослідження цього методу проводили в Київському автомобільно-дорожньому інституті (тепер Національний транспортний університет) під керівництвом професора Андрусенка П.І. В роботі Редзюка А.М. [1] вперше проведені дослідження впливу способу відключення циліндрів при реалізації комбінованого методу. При цьому ефективність різних способів відключення порівнювали з показниками роботи двигуна на всіх циліндрах і дроселюванні паливоповітряної суміші. Встановлено, що найбільш доцільний з точки зору практичного використання є спосіб відключення циліндрів з вільним впуском повітря у відключені циліндри. У порівнянні з роботою на всіх циліндрах, за роботи на половині циліндрів витрата палива

знижується в режимі мінімального холостого ходу на 37%, на навантажувальній характеристиці при 2000 хв^{-1} на 23,7%. Як один з перспективних способів визначено спосіб перепуску відпрацьованих газів з працюючої групи циліндрів у відключену, хоча реалізувати цей спосіб конструктивно значно складніше. Але, цей спосіб, в результаті підвищеної температури відпрацьованих газів зменшує втрати на тертя у відключених циліндрах і підвищує температуру стінки циліндра. Це дає підставу дослідити ще один спосіб відключення – вільний впуск нагрітого повітря у циліндрі.

Вплив способу відключення циліндрів на ефективність комбінованого методу регулювання енергетичних показників двигуна з іскровим запалюванням встановлено в дослідженнях Матейчика В.П. [2]. В цих дослідженнях показано, що спосіб відключення групи циліндрів з роздроселюванням відключених циліндрів підвищує індикаторний ККД, знижує механічні втрати в результаті зменшує витрату палива на 26.8% у порівнянні з роботою на всіх циліндрах.

В цих же дослідженнях показано, що спосіб відключення з роздроселюванням відключених циліндрів у порівнянні з способом відключення циліндрів без зміни системи газообміну дозволяє зменшити витрату палива в перехідних процесах включення і відключення групи циліндрів на 40...43 %, зменшити викиди оксиду вуглецю CO на 6...7%, вуглеводнів C_mH_n – на 50...54% при практично однакових викидах оксидів азоту NO_x .

В ряді робіт досліджували окремі питання впливу комбінованого методу регулювання на показники двигуна і автомобіля.

В дисертації Корпача А.О. [3] визначено оптимальний закон відключення і включення групи циліндрів. Для 8-ми циліндрового карбюраторного двигуна при відключенні чотирьох циліндрів проведені стендові і дорожні випробування автомобіля. Досліджені перехідні процеси включення і відключення циліндрів, встановлено, що такий метод регулювання потужності поліпшує паливну економічність в русі автомобіля по циклу на 8.7...13.9% та знижує викиди CO на 31%, C_mH_n на 23,5% при практично незмінних викидах NO_x .

В дисертаційній роботі Ковбасенка С.В. [4] досліджували питання зменшення викидів NO_x . Показано, що шляхом рециркуляції 5% відпрацьованих газів можливо знизити викиди NO_x в два рази. В цій же роботі встановлено, що при застосуванні методу регулювання потужності відключенням групи циліндрів на двигуні 8Ч 9.2/8 витрата палива в середньому зменшилась на 15%.

Всі названі роботи проводились на двигунах з карбюраторними системами живлення, що впливає на закономірності зміни складу паливоповітряної суміші в різних режимах роботи двигуна, величину енергетичних і екологічних показників, показників паливної економічності. Разом з тим у проведених дослідженнях не досліджували деякі можливі способи відключення групи циліндрів, зокрема спосіб вільного впуску у відключену групу повітря з підігрівом. Крім того, при дослідженні способів відключення групи циліндрів, їх, як правило, оцінювали порівнянням показників з показниками за роботи двигуна на всіх циліндрах.

Однією з перших робіт, в якій досліджували комбінований метод регулювання енергетичних показників на двигуні з системою впорскування палива була робота Худолія М.М [5]. Встановлено, що комбінований метод регулювання енергетичних показників при використанні на двигуні вантажного автомобіля дозволяє зменшити експлуатаційну витрату бензину на 8.9... 9.8 % при практично однаковій кількості шкідливих викидів забруднюючих речовин відпрацьованих газів.

Теоретичні і експериментальні дослідження комбінованого методу на сучасному двигуні з електронною системою впорскування палива провели в роботі Дядченка В.П. [6]. Дослідження проводили при підключенні циліндрів без зміни системи газообміну. Показано, що відключення трьох з шести циліндрів знижує витрату бензину в режимі холостого ходу близько 19 %, у навантажувальних режимах середня економія складає близько 13,6%. При встановленні на двигуні каталітичного нейтралізатора комбінований метод дозволяє знизити масові викиди шкідливих речовин CO, C_mH_n , NO_x та CO_2 і лише при наближенні до повного навантаження на трьох циліндрах ці показники більші.

В роботі Сироти О.В. [7] досліджені перехідні режими при комбінованому методі регулювання енергетичних показників двигуна. Встановлено, що за роботи двигуна в циклі розгін – сповільнення при комбінованому методі поліпшується паливна економічність в діапазоні зміни навантаження від 0 до $M_k = 50 \text{ Нм}$ в середньому на 10,33%, в діапазоні 0 ... 80 Нм в середньому на 8.05%. При використанні каталітичного нейтралізатора сумарні масові викиди шкідливих речовин, зведені до CO, практично не змінюються.

В дисертаційній роботі Карєва С.В. [8] вирішена задача зниження викидів NO_x з відпрацьованими газами, які в деяких режимах збільшуються при використанні комбінованого методу регулювання енергетичних показників. В роботі показано, що рециркуляцією відпрацьованих

газів в кількості близько 12% можна знизити концентрації NO_x в середньому на 45%. Розрахунками на математичній моделі руху автомобіля біля з нейтралізатором за режимами міського їздового циклу показано, що використання комбінованого методу знижує витрату бензину з 15.1 до 13.2 л/100км, при цьому сумарні масові викиди зведені до CO зросли з 10.1 до 12.8 г/цикл. Застосування рециркуляції зменшує витрату палива до 12.7 л/100км, а середні масові викиди, зведені до CO, до 10,9 г/цикл.

В експериментальному дослідженні [9] встановлено, що при використанні способу відключення групи циліндрів з вільним впуском повітря у відключену групу паливна економічність в порівнянні з відключенням при незмінній системі газообміну поліпшується в середньому по навантажувальній характеристиці на 7,25% , в режимі холостого ходу на 15,87%.

В більшості досліджень комбінований метод оцінюють в порівнянням показників при його використанні і при роботі двигуна з дроселюванням всіх циліндрів. В даній роботі порівнюються різні способи відключення при яких η_i працюючих циліндрів однаковий, тоді можна більш об'єктивно оцінити вплив механічних втрат.

Виклад основного матеріалу. При використанні комбінованого методу регулювання енергетичних показників двигуна з іскровим запалюванням відключенням групи циліндрів багатоциліндрового двигуна можна здійснити різними способами. Найбільш простим з точки зору реалізації на двигунах, які встановлені на автомобілях, є відключення подачі палива у групу циліндрів без змінювання системи газообміну. Цей спосіб достатньо досліджували і використовували на сучасних двигунах. Тому доцільно при дослідженні інших способів відключення групи циліндрів порівнювати показники роботи двигуна з показниками, які отримують при використанні цього способу.

До способів, які не вимагають значних конструктивних змін і використання яких може поліпшити паливну економічність двигуна відносять спосіб відключення подачі палива у групі циліндрів і вільний впуск в цю групу повітря з зовнішнього середовища. Одним з варіантів такого способу є підігрів цього повітря.

Відомо, що кількісною оцінкою паливної економічності двигуна внутрішнього згорання є ефективна питома витрата палива, яка розраховується за формулою

$$g_e = \frac{3600}{\eta_i \eta_m H_u} \quad (1)$$

де η_i – індикаторний к.к.д. робочого циклу;

η_m – механічний к.к.д. двигуна;

H_u – нижча теплота згорання бензину $H_u = 43,5$ МДж/кг.

Розглянемо, як можна визначити к.к.д. для різних способів відключення групи циліндрів.

Однією з залежностей, яку використовують для розрахунку η_i є

$$\eta_i = \frac{l_o \cdot \alpha \cdot p_i}{\eta_v \rho_k H_u} \quad (2)$$

де l_o – теоретично необхідна кількість повітря для згорання одиниці кількості палива, кг/кг, для бензину $l_o = 14,8$ кг/кг;

α – коефіцієнт надміру повітря, для двигунів з електронною системою впорскування і зворотним зв'язком $\alpha = 1,0$ (за винятком режиму повних навантажень $\alpha \approx 0,9$);

p_i – середній індикаторний тиск в робочому циклі, МПа;

η_v – коефіцієнт наповнення циліндрів двигуна повітрям;

ρ_k – густина повітря на впуску, для умов експерименту $\rho_k = 1,22$ кг/м³.

При порівнянні способу відключення групи циліндрів без зміни системи газообміну і способу з вільним спуском повітря (з підігрівом і без) робочий цикл в працюючих циліндрах в залежності від зовнішнього навантаження, яке можна оцінити розрідження на впуску, буде однаковим, тобто закономірність $p_i(\Delta p_k)$ і $\eta_v(\Delta p_k)$ будуть однакові для способів, що порівнюють. Виходячи з залежності 2 однаковою для цих способів буде закономірність $\eta_i(\Delta p_k)$.

Використавши експериментально визначену навантажувальну характеристику двигуна за роботи двигуна з відключеною групою циліндрів без зміни системи газообміну розраховували залежність середнього ефективного тиску p_e від розрідження на впуску $p_e(\Delta p_k)$. Використавши експериментально отриману залежність моменту механічних втрат від розрідження на впуску Δp_k при прокручуванні прогрітого двигуна визначили залежність середнього тиску механічних втрат $p_m(\Delta p_k)$. Розраховували залежність середнього індикаторного тиску $p_i(\Delta p_k)$.

При використанні названих способів відключення циліндрів робочий процес у працюючих циліндрах буде однаковим, тобто залежність середнього індикаторного тиску від розрідження на впуску $p_i(\Delta p_k)$ буде однаковою.

Експериментальне дослідження проводили на рядному шестициліндровому двигуні Opel моделі C30NE, робочий об'єм 3л. Двигун обладнаний системою електронного розподілення впорскування бензину M4.1-motronic. Двигун встановлено на стенді СГЕУ-100.

Впорскування палива здійснюється у надклапанний простір двох груп циліндрів по 3 циліндри почергово. Це дає можливість відключити 3 циліндри, при цьому кут повороту колінчастого вала між впорскуваннями витримується однаковим.

Експериментально отримані при визначенні навантажувальної характеристики за роботи з відключенням трьох циліндрів припинення подачі палива без внесення змін у систему газообміну залежності середнього ефективного тиску $p_e(\Delta p_k)$ і коефіцієнту наповнення $\eta_v(\Delta p_k)$ показані на рисунку 1. Там же показана залежність середнього ефективного тиску механічних втрат від розрідження $p_m(\Delta p_k)$, отримана прокручування прогрітого двигуна на гальмівному стенді. З використанням залежностей $p_e(\Delta p_k)$ і $p_m(\Delta p_k)$ розраховували залежність середнього індикаторного тиску від розрідження $p_i(\Delta p_k)$. При використанні способів відключення групи циліндрів, які щойно розглядали, залежності $p_i(\Delta p_k)$ і $\eta_v(\Delta p_k)$ будуть такими ж, як і для способу відключення циліндрів без внесення змін у систему газообміну.

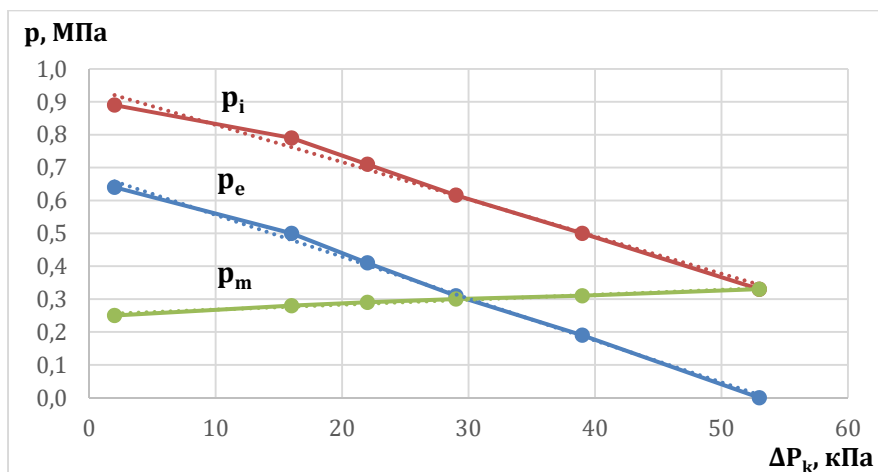


Рисунок 1 – Залежність середніх індикаторного p_i і ефективного p_e тисків і тиску механічних втрат p_m від розрідження на впуску Δp_k двигуна C30NE при відключенні трьох циліндрів ($n = 2000 \text{ хв}^{-1}$) при незмінній системі газообміну

Figure 1 – Dependence of the average indicator p_i and effective p_e pressures and pressure of mechanical losses p_m from the vacuum at the inlet $[\Delta p]_k$ of the C30NE engine when three cylinders are turned off ($n = 2000 \text{ min}^{-1}$) with an unchanged gas exchange system

Виходячи з залежності (2), для способів відключення групи циліндрів, які порівнювали, залежність індикаторного ККД від розрідження на впуску двигуна буде однаковою. Розрахована залежність показана на рисунку 2.

Механічний ККД для різних способів відключення циліндрів визначили за залежністю

$$\eta_m = 1 - \frac{p_m}{p_i} \quad (3)$$

де p_m – середній тиск механічних втрат при різних способах відключення циліндрів, МПа;

p_i – середній індикаторний тиск при відключенні циліндрів, МПа. Залежність цього тиску від розрідження на впуску однакова для різних способів відключення циліндрів (рис. 1)

Середній тиск механічних втрат визначили прокручуванням прогрітого двигуна при незмінній системі газообміну і вільному впуску повітря у відключену групу циліндрів (з підігрівом повітря і без). В залежності від розрідження на впуску двигуна ця залежність показана на рис. 3. Як видно з показаних залежностей, середній тиск механічних втрат p_m значно відрізняється для різних способів відключення циліндрів. Найбільша величина p_m при відключенні циліндрів з незмінною системою газообміну. Значно менша величина p_m при вільному впуску повітря у відключенні циліндрів (без

підігріву повітря та з підігрівом). Різниця між цими двома способами незначна, необхідно враховувати складність реалізації способу. Значне зменшення механічних втрат при цих способах пояснюється зменшенням насосних втрат. Це призводить до підвищення механічного ККД. Розраховані залежності $\eta_m(\Delta p_k)$ для різних способів показані на рис. 4.

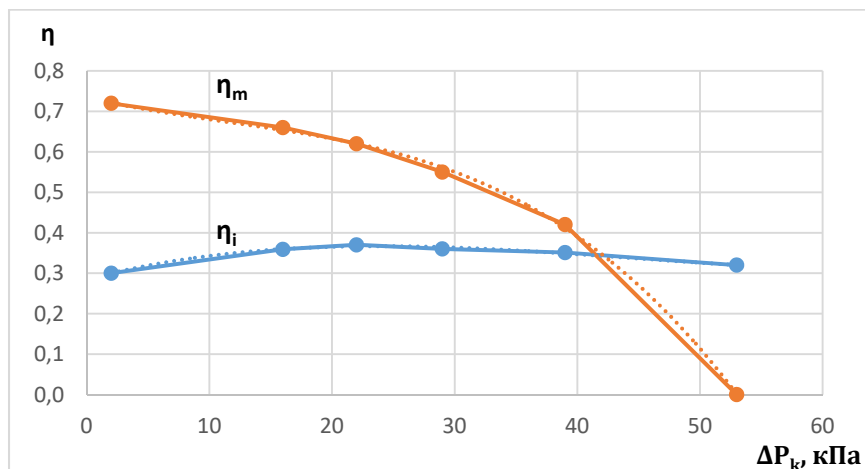


Рисунок 2 – Залежність індикаторного η_i і механічного η_m ККД від розрідження на впуску Δp_k двигуна C30NE при відключенні трьох циліндрів ($n = 2000 \text{ хв}^{-1}$) і незмінній системі газообміну

Figure 2 – Dependence of the indicator η_i and mechanical η_m efficiency on the vacuum at the inlet $[\Delta p]_k$ of the C30NE engine when three cylinders are disconnected ($n = 2000 \text{ min}^{-1}$) and the gas exchange system is unchanged

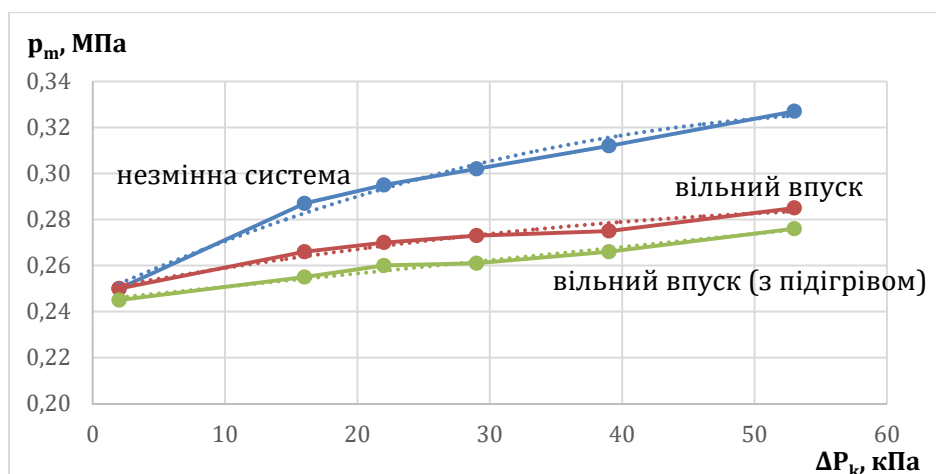


Рисунок 3 – Залежність середнього тиску механічних втрат p_m від розрідження на впуску Δp_k двигуна C30NE при відключенні трьох циліндрів ($n = 2000 \text{ хв}^{-1}$) при різних способах відключення групи циліндрів

Figure 3 – Dependence of the average pressure of mechanical losses p_m on the vacuum at the inlet $[\Delta p]_k$ of the C30NE engine when disconnecting three cylinders ($n = 2000 \text{ min}^{-1}$) with different methods of disconnecting a group of cylinders

Така закономірність $\eta_m(\Delta p_k)$ для різних способів відключення пояснюється тим, що для режиму холостого ходу величина Δp_k практично не відрізняється для різних способів, знаходиться в межах 2...3 МПа. Для режиму максимального навантаження, коли дросельна заслінка в групі відключених циліндрів повністю відкрита при незмінній системі газообміну, механічні втрати для всіх способів практично співпадають. Різниця складає 0,002...0,005 МПа.

Об'єктивною оцінкою паливної економічності двигуна є залежність ефективної питомої витрати палива від ефективних показників, зокрема середнього ефективного тиску p_e . Тому розраховали залежність $p_e(\Delta p_k)$ для розглянутих способів відключення групи циліндрів. Ці залежності показані на рис. 5.

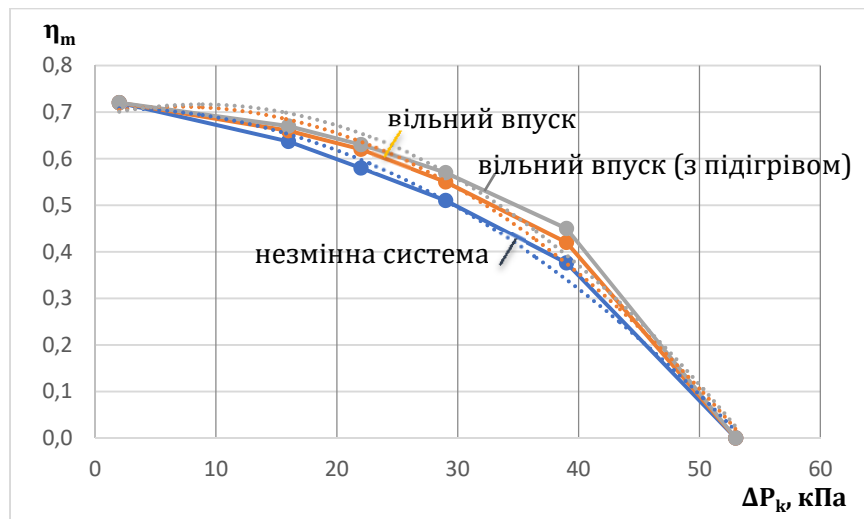


Рисунок 4 – залежність механічного η_m ККД від розрідження на впуску Δp_k двигуна С30NE при незмінній системі газообміну, при вільному впуску повітря у відключені циліндри без підігріву та з підігрівом ($n = 2000 \text{ хв}^{-1}$)

Figure 4 – the dependence of the mechanical η_m efficiency on the vacuum at the inlet $[\Delta p]_k$ of the C30NE engine with an unchanged gas exchange system, with free air intake into disconnected cylinders without heating and with heating ($n = 2000 \text{ min}^{-1}$)

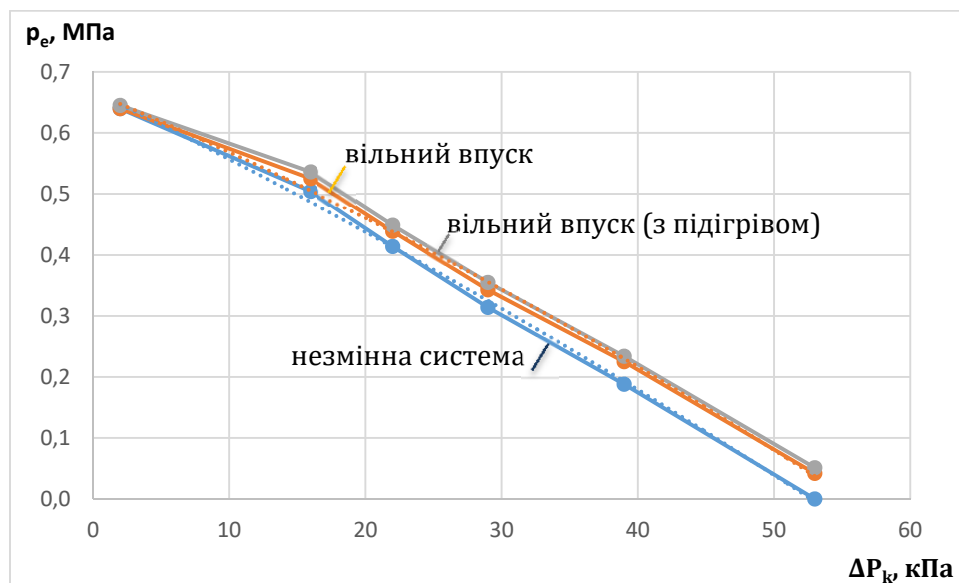


Рисунок 5 – Залежність середнього ефективного тиску p_e від розрідження на впуску Δp_k двигуна С30NE при відключенні трьох циліндрів ($n = 2000 \text{ хв}^{-1}$) при різних способах відключення групи циліндрів

Figure 5 – Dependence of the average effective pressure p_e on the vacuum at the inlet $[\Delta p]_k$ of the C30NE engine when disconnecting three cylinders ($n = 2000 \text{ min}^{-1}$) with different methods of disconnecting a group of cylinders

З використанням залежностей $p_e(\Delta p_k)$, $\eta_i(\Delta p_k)$ і $\eta_m(\Delta p_k)$ за формулою 1 розрахували залежність ефективної питомої витрати палива від середнього ефективного тиску. Ці залежності показані на рисунку 6. На них видно, що найбільшого поліпшення можна досягнути при вільному впуску підігрів повітря у відключену групи циліндрів. В порівнянні з відключенням групи циліндрів при незмінній системі газообміну економія складає 1,5 ... 13,5%. При вільному впуску повітря без підігріву у відключено групу циліндрів па економічність поліпшується на 1,5 ... 10,5 % у порівнянні з незмінною системою газообміну.

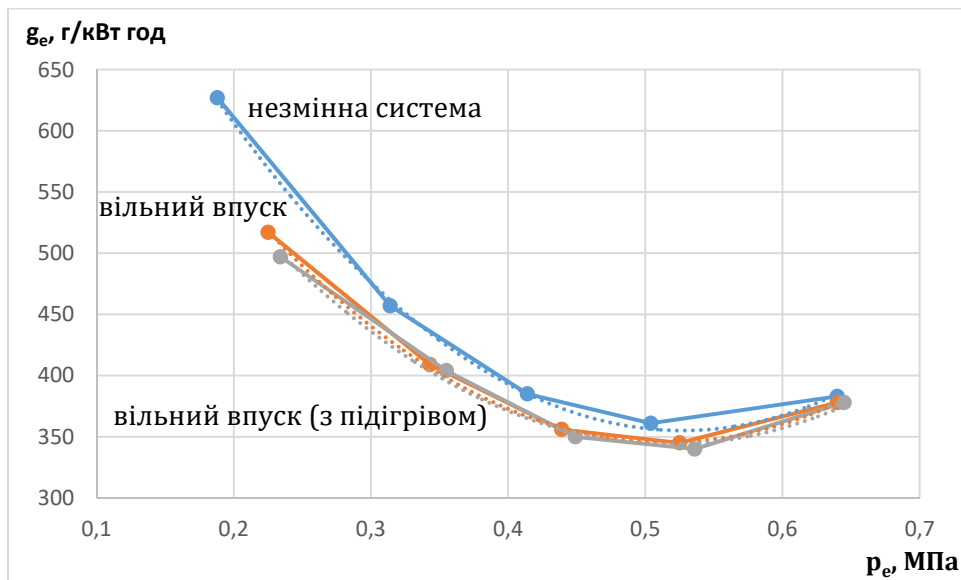


Рисунок 6 – Залежність ефективної питомої витрати палива g_e від середнього ефективного тиску p_e двигуна C30NE при незмінній системі газообміну, при вільному впуску повітря у відключенні циліндри без підігріву та з підігрівом ($n = 2000 \text{ хв}^{-1}$)

Figure 6 – Dependence of the effective specific fuel consumption g_e on the average effective pressure p_e of the C30NE engine with an unchanged gas exchange system, with free air intake in the shutdown of unheated and heated cylinders ($n = 2000 \text{ min}^{-1}$)

Висновки. Комбінований метод регулювання потужності двигунів з іскровим запалюванням може бути реалізований при відключенні групи циліндрів різними способами. Найбільш простим з точки зору конструктивних змін є спосіб припинення подачі палива у групу циліндрів без внесення змін у систему газообміну. Разом з тим, поліпшити паливну економічність двигуна у порівнянні з цим способом можна іншими способами відключення групи циліндрів. Розрахунковими дослідженнями з використанням експериментальних даних показано, що відключення групи циліндрів з вільним впуском у відключену групу циліндрів підігрітого повітря дозволяє поліпшити паливну економічність в порівнянні з відключенням без змін системи газообміну на 1,5 ... 13,5%, якщо повітря не підігрівати економія складає 1,5 ... 10,5 %.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Редзюк А.М. Повышение топливной экономичности многоцилиндровых бензиновых двигателей в режимах малых нагрузок и холостого хода. – Дис.... канд. техн. наук. – Харьков, 1982. – 237 с.
2. Матейчик В.П. Повышение топливной экономичности многоцилиндровых бензиновых двигателей совершенствованием способа отключения группы цилиндров. Дис. ...канд. техн. наук: 05.04.02.- Харьков, 1990. -231 с.
3. Корпач А.О. Улучшение экономических и токсических показателей автомобильных бензиновых двигателей в эксплуатационных условиях совершенствованием метода регулирования их мощности. Дис. ...канд. техн. наук: 05.04.02.- Харьков, 1989. -270 с.
4. Ковбасенко С.В. Покращення показників багатоциліндрових бензинових двигунів з відключенням групи циліндрів: Дис... канд. техн. наук: 05.05.03. // С.В.Ковбасенко – К., 2000. – 289 с.
5. Худолий Н.Н. Повышение топливной экономичности многоцилиндровых бензиновых двигателей совершенствованием способа регулирования мощности. Дисс. ... канд.техн.наук. – Киев, 1983, – 309 с
6. 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.
7. 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.

8. Карев С.В. Покращення паливної економічності та екологічних показників бензинового двигуна з системою впорскування та зворотнім зв'язком. Дис... канд.. техн.. наук: 05.05.03. – К., 2014. – 232с.

9. 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. 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.

2. Mateichik V.P. Improving the fuel efficiency of multi-cylinder gasoline engines by improving the method of deactivation a group of cylinders. Dis. ... Cand. tech. Sciences: 05.04.02. – Kharkov, 1990.231 p.

3. Korpach A.O. Improving the economic and toxic indicators of automobile gasoline engines under operating conditions by improving the method of power regulation. Dis. ... Cand. tech. Sciences: 05.04.02. – Kharkov, 1989.270 p.

4. Kovbasenko SV Improving the performance of multi-cylinder gasoline engines with deactivation of the cylinder group: Dis... Cand. tech. Science: 05.05.03. // SV Kovbasenko – К., 2000. – 289 p

5. 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

6. 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. – К., 2010. – 20 с.

7. 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. – К., 2011. – 295p.

8. Karev SV Improving fuel economy and environmental performance of a gasoline engine with injection system and feedback. Dissertation for Technical Sciences: 05.05.03. – К., 2014. – 232p.

9. Gutarevich Yu.F. Improvement of the combined method of power regulation of a modern gasoline engine / Gutarevich Yu.F., Karev SV / Visnik NTU. – К. NTU. 2011 – 23. – 230 p. – P. 114 -117.

РЕФЕРАТ

Гутаревич Ю.Ф. Поліпшення паливної економічності двигуна з іскровим запалюванням удосконаленням способу відключення групи циліндрів при регулюванні енергетичних показників комбінованим методом / Ю.Ф. Гутаревич, С.О. Ричок // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

У статті наведені результати теоретичних і експериментальних досліджень паливної економічності двигуна з іскровим запалюванням при регулюванні його енергетичних показників комбінованим методом і різних способах відключення групи циліндрів.

Об’єкт дослідження – двигун з іскровим запалюванням, енергетичні показники якого регулюють комбінованим методом.

Предмет дослідження – вплив способу відключення групи циліндрів на паливну економічність двигуна з іскровим запалюванням.

Мета дослідження – оцінка різних способів відключення групи циліндрів з точки зору поліпшення паливної економічності двигуна з іскровим запалюванням.

Встановлено, що найбільшого поліпшення можна досягнути при вільному впуску підігрітого повітря у відключену групи циліндрів. В порівнянні з відключенням групи циліндрів при незмінній системі газообміну економія складає 1,5 ... 13,5%. При вільному впуску у відключену групу циліндрів повітря без підігріву паливна економічність поліпшується на 1,5 ... 10,5 % у порівнянні з незмінною системою газообміну.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДВИГУН З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ, КОМБІНОВАНИЙ МЕТОД РЕГУЛЮВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ., СПОСОБИ ВІДКЛЮЧЕННЯ ЦИЛІНДРІВ, ПАЛИВНА ЕКОНОМІЧНІСТЬ.

ABSTRACT

Gutarevich Yu.F., Rychok S.O. Improvement of the fuel economy of the engine with spark ignition by improving the method of disconnecting the group of cylinders when adjusting the energy indicators by the

combined method. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article presents the results of theoretical and experimental studies of the fuel economy of a spark-ignition engine when adjusting its energy indicators using a combined method and different ways of shutting off a group of cylinders.

The object of the study is a spark-ignition engine, the energy indicators of which are regulated by a combined method.

The subject of the study is the influence of the method of disconnecting a group of cylinders on the fuel economy of a spark-ignition engine.

The purpose of the study is to evaluate various methods of disconnecting a group of cylinders from the point of view of improving the fuel efficiency of a spark ignition engine. It was established that the greatest improvement can be achieved with free admission of heated air into the disconnected cylinder group. In comparison with turning off a group of cylinders with an unchanged gas exchange system, the saving is 1.5 ... 13.5%. With the free intake of unheated air into the disconnected group of cylinders, fuel efficiency improves by 1.5 ... 10.5% compared to an unchanged gas exchange system.

KEY WORDS: SPARK IGNITION ENGINE, COMBINED METHOD OF REGULATING ENERGY INDICATORS, CYLINDER DISCONNECTION METHODS, FUEL ECONOMY.

АВТОРИ:

Гутаревич Юрій Феодосійович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри «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 Yuriy 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 Академії 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

МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТУ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В МІСТАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ОСНОВІ МОДИФІКОВАНОГО МУРАШИНОГО АЛГОРИТМУ

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

Богданець Є.І. Національний транспортний університет, Київ, Україна, getman.eugeniy@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0474-5910

METHOD OF OPTIMIZING THE ROUTE OF CARGO TRANSPORTATION IN CITIES USING INFORMATION TECHNOLOGIES BASED ON THE MODIFIED ANT ALGORITHM

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

Bogdanets Y.I., National Transport University, Kyiv, Ukraine, getman.eugeniy@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0474-5910

Вступ. Прискорена автомобілізація в умовах відставання розвитку вулично-дорожніх мереж (ВДМ) мегаполісів призводить до різкого збільшення кількості транспортних засобів на автомобільних дорогах, інтенсифікації дорожнього руху. Це, в свою чергу, суттєво впливає на завантаженість ВДМ, сприяє виникненню заторів та зменшенню швидкості руху транспортних потоків. Тривалі затори на дорогах усе частіше стають причиною не лише часових, але й економічних втрат. Особливо гострим це питання є для підприємств, які доставляють власний товар, наприклад дрібнопартійний, до споживачів без посередників, тобто власним транспортом. У більшості сегментів ринку доставка товару додає до його собівартості суму витрат, яка у деяких випадках наближається до вартості самого товару [1].

Тому, у більшій мірі ефективність функціонування таких підприємств визначається ефективністю застосування транспортної логістики. При цьому часто ключовими тут є вирішення задач маршрутизації з використанням таких методів оптимізації маршрутів, які б ефективно враховували реальну динаміку транспортних потоків на ВДМ.

Отже, актуальність дослідження визначається необхідністю розробки, впровадження та застосування відповідних моделей, методів і програмних засобів щодо оптимізації та управління процесом перевезень в умовах нестаціонарної динаміки транспортних потоків на ВДМ. Використання таких розробок дозволить підвищувати ефективність транспортування товарів в межах великих міст.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як показує аналіз, існуючі на сьогоднішній день методи розв'язання задач дискретної оптимізації транспортних процесів, що відбуваються у логістичних системах, не є досконалими і не дають однозначних рішень. Зокрема, це стосується питань оптимізації маршрутів транспортних перевезень, яким присвячена велика кількість наукових досліджень.

У [2] авторами розглядаються існуючі методи та моделі щодо оцінки ефективності транспортних та різних за видами логістичних операцій в ланцюгах постачання. За результатами аналізу показано, що на сьогодні не існує єдиного підходу для отримання адекватних оцінок ефективності відповідних процесів[2].

На відміну від [2], авторами в [3] проведено детальний аналіз впливу різних методів оптимізації для вирішення задач доставки вантажу в умовах невизначеності попиту. Також у [3] наведено порівняння деяких логістичних стратегій, що застосовуються у транспортних компаніях, для визначення найбільш ефективних за рівнем успіху.

Модель вирішення багатоцільової задачі маршрутизації транспортних засобів з часовими обмеженнями запропоновано в [4]. Ця задача вирішується за допомогою модифікованого генетичного

алгоритму. Оптимальне рішення тут являє собою компроміс між вартістю транспортування товару та розміром автомобільного парку, необхідним для обслуговування клієнтів.

У [5] авторами досліджено процес транспортування вантажів у мережевому представленні з метою удосконалення існуючих методів визначення оптимальних характеристик транспортних мереж. Встановлено вплив показників структури мережі, напрямку руху і пропускної здатності транспортних комунікацій на визначення фактичної щільності руху на транспортній мережі, що перебуває в статичному стані.

У [6] запропоновано новий алгоритм, що дає можливість проведення процедури оптимізації за одночасного розгляду всіх шляхів руху між вузлами графу з урахуванням пропускної здатності кожного з його ребер. Цей метод базується на наведенні графу у вигляді електричної мережі, кожна з ділянок якої має певний опір, що характеризує відповідну пропускну здатність. Запропонований метод, на думку авторів [6], також дозволяє насамперед зосереджуватись на обчисленнях в області проблемних зон і структур високого рівня. Це дозволяє більш ефективно використовувати час обчислень без його витрачання на вирішення несуттєвих питань, але які пов'язані з громіздкими обчисленнями.

Однак, більш глибокий аналіз методу [6] свідчить про те, що тут розв'язання задачі дискретної оптимізації зводиться до розв'язання задачі лінійного алгоритму, пов'язаного з розв'язанням відповідної системи лінійних рівнянь певної розмірності. Тому тут, принаймні, залишається актуальним пошук шляхів розв'язку систем рівнянь максимально можливої розмірності за заданих ресурсів комп'ютерів.

Слід зазначити, що за своєю ідеєю, метод [6] аналогічний методу дискретної оптимізації, що базується на використанні ефектів самоорганізації мурашиних агентів [7]. Класичний метод самоорганізації мурашиної колонії [7] передбачає можливість знаходження оптимального шляху для статичного графу. Тут мурашині агенти, що розташовані в початковий момент часу у вузлах графу, також одночасно рухаються по ребрах орієнтованого графу. Це, врешті решт, дозволяє, з урахуванням особливостей цього методу, значно зменшити час відповідних обчислень. При цьому різноманітні властивості, що приписуються мурашиним агентам, дають можливість вирішувати широкий клас задач дискретної оптимізації з урахуванням багатьох характеристик досліджуваної системи. Зокрема, подальші численні дослідження різних фізичних процесів, які проводились із застосуванням цього методу, вказують на перспективність його використання для розв'язання задач дискретної оптимізації великої розмірності [8]. Це стосується маршрутизації транспортних засобів на ВДМ та магістралях, інформаційних потоків у комп'ютерних мережах тощо.

Наведений аналіз літературних джерел вказує на те, що на теперішній час представлено достатньо великий набір моделей та методів, які застосовують для побудови оптимального маршруту доставки вантажу. Проте більшість із них є застосовними для розв'язання проблем дискретної оптимізації маршруту в задачах транспортної логістики невеликої розмірності та у статичному представленні транспортної мережі без урахування реальної динаміки транспортного потоку на ВДМ. На відміну від цього, результати проведеного аналізу вказують на перспективність використання модифікованого методу самоорганізації мурашиної колонії згідно з [9] для оптимізації маршруту доставки вантажу в умовах нестаціонарної динаміки транспортних потоків підвищеної щільності.

Метою цієї роботи є розробка методу побудови оптимального маршруту доставки вантажів на основі модифікованого мурашиного алгоритму [9] з урахуванням реальної динаміки транспортних потоків на ВДМ великих міст.

Метод оптимізації маршруту перевезень в містах на основі мурашиного алгоритму

Відповідно до постановки задачі щодо вирішення проблем маршрутизації з урахуванням процесів динаміки транспортного потоку, 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. Ваги ребер, які з'єднують певну пару вузлів графа, визначають залежно 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 здійснювалась за допомогою мурашиного алгоритму в рамках задачі комівояжера. 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 [10]. 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.

Слід зазначити, що згідно з [11] операційні витрати за елементами для підприємств, що здійснюють розвезення власного вантажу, розподіляються таким чином: матеріальні витрати, заробітна плата, нарахування на заробітну плату, амортизаційні відрахування та інше. Проаналізувавши дані річної звітності більшості вантажних автомобільних перевізників України, що наведено у [1], отримано наступні частки елементів у загальній структурі операційних витрат: матеріальні витрати – 45 %, заробітна плата – 16 %, нарахування на заробітну плату – 6 %, амортизаційні відрахування – 6 % та інше – 27 %.

Як видно з [1], матеріальні витрати мають найбільший та визначальний вплив на вартість вантажних перевезень. Основною частиною даної групи витрат є паливо, розмір витрат якого залежить, в свою чергу, від пробігу транспортного засобу та часу його використання для доставки вантажу.

Окрім того, заробітна плата водія залежить від часу його роботи. У зв'язку з цим, знаходження оптимального (мінімального) часу доставки вантажу впливає на загальну вартість його доставки.

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 [7] вносяться відповідні модифікації згідно [7, 9]. А саме:

- можливість фіксувати результати оптимізації частково пройденого шляху для розрахунку подальшого маршруту при зміні довжини ребер під час руху;
- циклічний рух колонії змінено на асинхронний рух кожної мурахи з певною швидкістю.

Таким чином, запропонована модифікація мурашиного алгоритму враховує додаткові елементи інтелектуалізації, пов'язані з виключенням з розгляду тих ділянок шляху, на яких час руху транспорту є за відповідним критерієм не виправдано великим. Крім того, існує можливість визначення оптимального маршруту в умовах реального стану транспортного потоку (зміна швидкості руху, затори тощо).

Застосування такого модифікованого методу мурашиного алгоритму для оптимізації маршруту доставки товару з урахуванням динаміки транспортного потоку здійснюється за наступних припущень:

- 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 будь-якими двома точками в межах мегаполісу має певну кількість альтернатив. Тобто доставити вантаж з однієї точки до іншої можна декількома маршрутами, які відрізняються лише довжиною та середньої швидкістю транспортного потоку на них. У нашому випадку будемо вважати, що середній час проходження по n -му ребру між двома вузлами графу знаходиться наступним чином:

$$t_n = \frac{l_n}{v_n}, t \rightarrow \min, \quad (1)$$

де t_n – середній час, витрачений на проходження n -го ребра, хв.;

l_n – довжина n -го ребра, км;

v_n – середня швидкість руху 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. Таким чином, при побудові оптимального за часом маршруту доставки вантажів враховується інформація про реальний стан ВДМ на момент побудови маршруту. При цьому, зрозуміло, що за деяких граничних значень 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.

Case Study: Застосування методу на прикладі ВДМ м. Києва. Результати імітаційних досліджень

Для апробації запропонованого методу побудови оптимального маршруту доставки вантажу використовувались дані про відстані між пунктами доставки на ВДМ м. Києва (рис. 1) та середні швидкості руху транспортних потоків на відповідних ділянках ВДМ [12,13], які наведені у таблиці 1. Фрагмент ВДМ м. Києва наводився у вигляді двонаправлено орієнтованого зваженого графу.

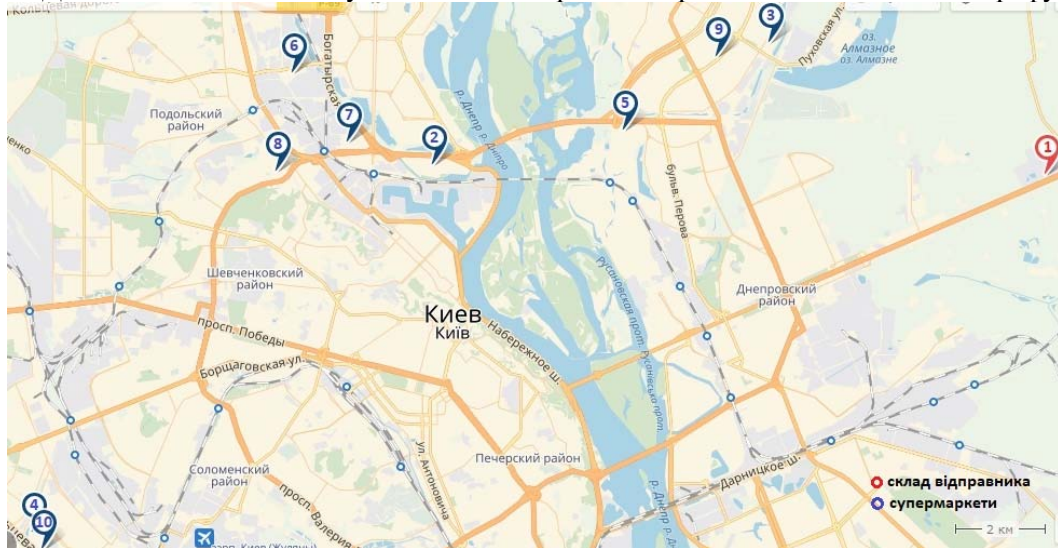


Рисунок 1 – Схема розташування пунктів доставки вантажів на ВДМ м. Києва
Figure 1 – The scheme of the location of cargo delivery points on the URN of Kyiv

Відповідні імітаційні дослідження щодо побудови оптимального маршруту виконувались згідно з методом, для 5 та 10 вузлів, які визначають пункти доставки вантажу з використанням розробленого програмного забезпечення, що наведено в [9] та на рисунку 2. Середній час проходження кожної ділянки ВДМ визначався з використанням формули (1). За параметри оптимізації вибирались довжина та середній час проїзду за маршрутом.

Таблиця 1 – Дані про відстані та середні швидкості між пунктами доставки товару на ВДМ м. Києва [12,13]

Table 1 – Data on distances and average speeds between goods delivery points on the URN of Kyiv [12,13]

Точки між об'єктами		Значення середніх швидкостей руху транспортного потоку, км/год									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значення відстаней між точками, км	1	0	54	49	44	47	44	45	25	15	32
	2	17	0	38	55	51	52	53	48	46	55
	3	16	15	0	49	56	38	45	58	38	36
	4	28	20	16	0	52	49	53	55	43	57
	5	17	5	10	25	0	55	58	50	41	43
	6	23	6	21	21	11	0	42	49	47	57
	7	19	2	17	18	7	3	0	55	59	54
	8	25	23	14	2	28	24	21	0	44	49
	9	15	8	13	28	3	14	10	31	0	53
	10	32	15	22	6	20	16	13	7	23	0

* Під головною діагоналлю наведено відстані між будь-якими двома пунктами доставки, а над головною діагоналлю матриці – середні швидкості транспортного засобу між ними.

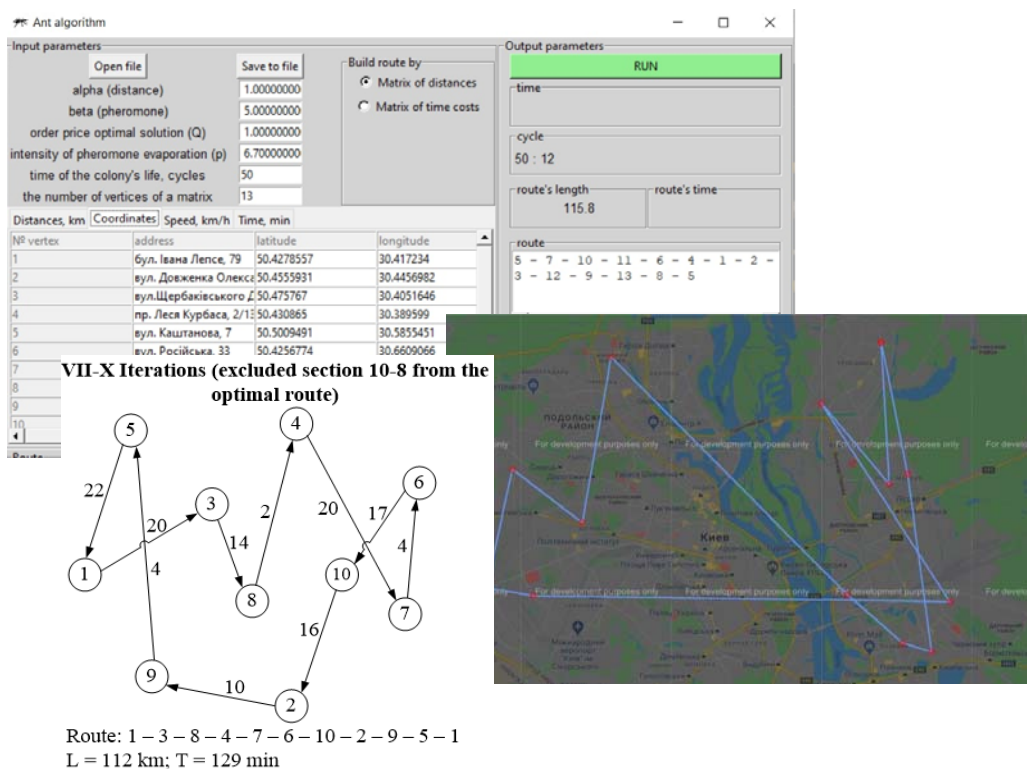


Рисунок 2 – Розроблене програмне забезпечення пошуку оптимального маршруту доставки вантажу на базі модифікованого мурашиного алгоритму
Figure 2 – Developed software for finding the optimal cargo delivery route based on a modified ant algorithm

Побудова оптимального маршруту доставки вантажу на ВДМ м. Києва з урахуванням реальної динаміки транспортних потоків.

Відомо [14], що одними з основних макроскопічних параметрів, які описують динаміку транспортного потоку, є інтенсивність руху, щільність та середня швидкість транспортних засобів, що утворюють потік. Часто, для якісного опису станів динаміки транспортного потоку, розглядають відносні показники, які відповідають цим параметрам, а саме, коефіцієнт завантаження Z , коефіцієнт щільності ρ та коефіцієнт швидкості C руху транспортного потоку. Тоді, залежно від певних граничних значень цих показників, усі можливі стани транспортного потоку розділяють на певні режими руху, які згідно з [14] отримали назву рівнів зручності. Відповідно до [14] виділяють п'ять рівнів зручності, які наведені у таблиці 2.

Слід зауважити, що класифікація режимів руху, наведена в [14], не є єдиною [11], проте для якісної інтерпретації результатів імітаційного моделювання в даній роботі її можна вважати цілком прийнятною. При цьому, тут для зручності вибирався один показник, а саме: коефіцієнт швидкості C .

Таблиця 2 – Класифікація режимів руху транспортного потоку за рівнями зручності згідно з [14]

Table 2 – Classification of traffic flow modes by levels of convenience according to [14]

Рівень зручності	Z	C	ρ	Режим руху транспортного потоку
А	$< 0,2$	$> 0,9$	$< 0,1$	Вільний рух автомобілів з max швидкістю
Б	$0,20-0,45$	$0,70-0,90$	$0,10-0,30$	Частково зв'язаний, автомобілі рухаються малими групами
В	$0,45-0,70$	$0,55-0,70$	$0,30-0,70$	Зв'язаний рух, автомобілі рухаються великими групами
Г	$0,7-1,0$	$0,40-0,55$	$0,70-1,00$	Щільний рух, автомобілі рухаються колоною з малою швидкістю, виникають затори
Д	$> 1,0$	$< 0,4$	—	Повна зупинка руху, затори

Тоді, використовуючи дані про фактичні середні швидкості транспортного потоку та швидкості транспортного потоку при вільному русі на певних ділянках ВДМ м. Києва згідно з [12], коефіцієнт швидкості проходження n -го ребра графа C_n , що відповідає певній ділянці або сукупності ділянок ВДМ, можна визначити за наступною формулою [12]:

$$C_n = \frac{v_n}{v_{Bn}}, \quad (2)$$

де v_n – середня швидкість руху транспортного потоку на n -му ребрі в рамках відповідного режиму руху; v_{Bn} – середня швидкість вільного руху транспортного потоку на n -му ребрі.

При проведенні досліджень, як вихідний, вибрано оптимальний маршрут, отриманий при виконанні процедури оптимізації за часом для незмінних початкових швидкостей на ребрах, взятих з [12], для графу з 10 вузлами. Крім того, для однозначності вважалось, що середня швидкість руху транспортних потоків внаслідок змін умов руху може одночасно змінюватись на трьох ділянках вихідного оптимального маршруту. Для цього були вибрані ділянки між вузлами 2-7, 10-8 та 4-3 (рисунок 3а, червоні лінії). У вихідному оптимальному маршруті середні швидкості і час руху транспортних потоків на цих ділянках ВДМ становили відповідно 53 км/год і 2 хв., 49 км/год і 9 хв., 49 км/год і 20 хв. Для якісної інтерпретації результатів оптимізації використовувались значення коефіцієнтів швидкості для цих ділянок, що розраховувались за формулою (2). При цьому, значення середньої швидкості вільного руху транспортного потоку на ділянці 2-7 ВДМ становило 59 км/год, тобто обмежувалось максимально дозволеним значенням швидкості руху в Києві. Для ділянок 10-8 та 4-3 ВДМ м. Києва значення середньої швидкості вільного руху транспортного потоку складало 50 км/год, що обмежується відповідними дорожніми знаками та [15].

Результати проведених імітаційних досліджень наведені в таблиці 3. Тут v_{2-7} , v_{10-8} , v_{4-3} , t_{2-7} , t_{10-8} , t_{4-3} та C_{2-7} , C_{10-8} , C_{4-3} – значення швидкостей, часів проїзду та коефіцієнтів швидкостей ділянок 2-7, 10-8, 4-3 відповідно; T – час проїзду за оптимізованим маршрутом, L – довжина оптимізованого за часом маршруту. На рисунку 3 показані етапи формування оптимізованого за часом маршруту після кожної ітерації, пов'язаної із зменшенням швидкості на зазначених ділянках ВДМ.

Таблиця 3 – Результати побудови оптимального за часом маршруту для 10 вузлів за одночасної зміни середньої швидкості руху на ділянках ВДМ 2-7, 10-8 та 4-3

Table 3 – The results of the construction of the time-optimal route for 10 nodes with simultaneous changes in the average speed of traffic on sections of URN 2-7, 10-8 and 4-3

Іт. опт.	v_{2-7} , км/год	t_{2-7} , хв	C_{2-7}	v_{10-8} , км/год	t_{10-8} , хв	C_{10-8}	v_{4-3} , км/год	t_{4-3} , хв	C_{4-3}	Маршрут	T , хв	L , км
1	53	2	0,90	49	9	0,98	49	20	0,98	1-5-9-2-7-6-10-8-4-3-1	110	90
2	45	3	0,76	45	9	0,90	45	21	0,90	1-5-9-2-7-6-10-8-4-3-1	112	90
										1-2-5-9-7-6-10-8-4-3-1	112	95
3	40	3	0,68	40	11	0,80	40	24	0,80	1-2-5-9-7-6-10-8-4-3-1	117	95
4	35	3	0,59	35	12	0,70	35	27	0,70	1-2-5-9-7-6-10-8-4-3-1	121	95
										1-3-5-9-2-7-6-10-8-4-1	121	87
5	30	4	0,51	30	14	0,60	30	32	0,60	1-3-5-9-7-6-10-8-4-2-1	123	104
6	25	5	0,42	25	17	0,50	25	38	0,50	1-3-5-9-7-6-10-8-4-2-1	126	104
7	20	6	0,34	20	21	0,40	20	48	0,40	1-3-8-4-7-6-10-2-9-5-1	129	112
8	15	8	0,25	15	28	0,30	15	64	0,30	1-3-8-4-7-6-10-2-9-5-1	129	112
9	10	12	0,17	10	42	0,20	10	96	0,20	1-3-8-4-7-6-10-2-9-5-1	129	112
10	5	24	0,08	5	84	0,10	5	192	0,10	1-3-8-4-7-6-10-2-9-5-1	129	112

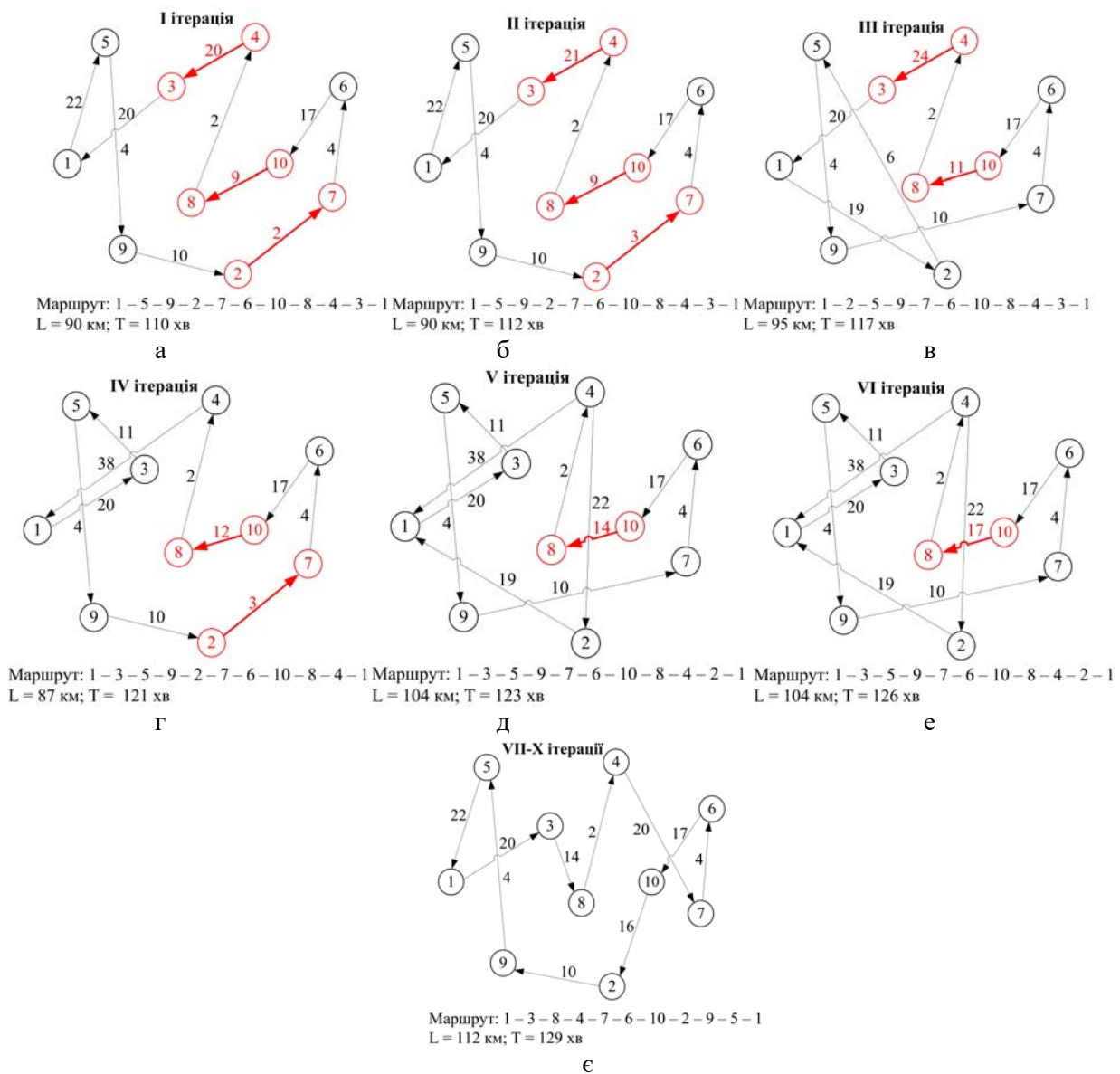


Рисунок 3 – Побудова оптимального маршруту при поступовій зміні швидкості руху на ділянках 2-7, 10-8 та 4-3 ВДМ для 10 вузлів. Червоним кольором показані ділянки ВДМ, на яких відбувається зміна середньої швидкості транспортного потоку
 Figure 3 – Construction of the optimal route with a gradual change in speed on sections 2-7, 10-8 and 4-3 of the URN for 10 nodes. Sections of URN where the average speed of the traffic flow changes are shown in red

Як видно з таблиці 3 (відповідні значення коефіцієнтів швидкостей для модельних ділянок 0,90 і 0,98), вихідний оптимальний за часом маршрут (рисунок 3, а) реалізується, коли на всіх трьох ділянках ВДМ здійснюється вільний рух автомобілів, що відповідає рівню зручності А (таблиця 2). Після другої ітерації оптимізації за часом, коли на ділянці 2-7 вже відбувається частково зв'язаний рух, а на інших двох залишається вільний рух автомобілів, зменшення швидкості на відповідних ділянках призводить до виникнення двох альтернативних оптимальних маршрутів (T = 112 хв), перший з яких відповідає вихідному, а другий трансформується так, що з нього вилючається ділянка ВДМ 2-7, на якій змінився режим руху автомобілів (таблиця 3, 2, рисунок 3, б, в). При цьому, довжина шляху для другого альтернативного маршруту більша, ніж для вихідного (95 км і 90 км відповідно). Вочевидь, коли час проходження маршрутів однаковий, а довжина маршруту різна, мабуть, більш прийнятним можна вважати той маршрут, довжина якого менша. Аналогічна ситуація з двома альтернативними маршрутами спостерігається під час четвертої ітерації (з однаковим часом проїзду за оптимізованим маршрутом T = 121 хв, але різними довжинами L 95 км і 87 км відповідно), коли на всіх трьох ділянках 2-7, 10-8, 4-3 здійснюється практично зв'язаний рух, де автомобілі рухаються великими групами (таблиця 3, таблиця 2, рисунок 3в, рисунок 3г). При цьому, що цікаво, з

кожного з цих маршрутів вилучається одна, але різна ділянка, на яких в рамках представленої моделі відбувається зменшення середньої швидкості (для одного – ділянка 2-7, для іншого – ділянка 10-8).

Під час наступної, п'ятої ітерації оптимізації за часом, що відповідає стану ВДМ, де на ділянці 2-7 спостерігається щільний рух автомобілів колоною з малою швидкістю і з великою імовірністю виникнення затору, а на двох інших – зв'язаний рух автомобілів (таблиці 2, 3), здійснюється така перебудова оптимального за часом маршруту, коли в ньому залишається тільки одна з трьох ділянок (ділянка 10-8), де в рамках нашої моделі змінюється середня швидкість транспортного потоку (таблиця 3, рисунок 3, д).

Відповідно, починаючи з сьомої ітерації оптимізації, де зменшення середніх швидкостей транспортних потоків на модельних ділянках ВДМ досягають значень, що відповідають значенням коефіцієнтів швидкості 0,33 та 0,4, тобто режиму виникнення на них заторів (таблиці 2, 3), сформований оптимальний маршрут вже не містить в собі ці ділянки ВДМ (таблиця 3, рисунок 3, є). І, зрозуміло, що подальші зменшення середніх швидкостей на них вже не призводить до перебудови оптимального маршруту (таблиця 3, рисунок 3, є).

Висновки. Запропоновано метод оптимізації маршрутів доставки вантажу у великих містах в умовах нестаціонарної динаміки транспортних потоків на ділянках ВДМ. В рамках цього методу мережа наводиться у вигляді двонаправлено орієнтованого зваженого графа. Метод базується на використанні модифікованого мурашиного алгоритму. Основним елементом модифікації є те, що реалізована можливість асинхронного руху агентів мурашиної колонії з певною швидкістю. Крім цього, також можливе фіксування результатів оптимізації частково пройденого шляху для розрахунку подальшого маршруту за зміни 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. Метод дозволяє здійснювати процес оптимізації як за часом, так і довжиною маршруту. Для перевірки коректності використання модифікованого мурашиного алгоритму проводились тестові дослідження оптимізації маршруту за довжиною з використанням методу повного перебору та методу гілок та меж. Отримані результати досліджень у повній мірі збігаються з такими, які отримані за допомогою модифікованого мурашиного алгоритму.

Для апробації запропонованого методу здійснені імітаційні моделювання процесів оптимізації маршруту в рамках задачі комівояжера на прикладі ВДМ м. Києва. При проведенні 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. Аналіз виявлених ефектів дозволив сформулювати деякі методичні рекомендації щодо прийняття управлінських рішень з питань раціональної організації перевезень вантажів.

На підставі аналізу результатів імітаційних досліджень доведена можливість використання методу для вирішення задач ефективного управління процесом перевезень в мегаполісах. Зокрема, застосування цього методу може бути корисним при формуванні оптимальних маршрутів доставки вантажу в онлайн-режимі з урахуванням реального стану руху транспорту на відповідних ділянках ВДМ.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Статистика цін на вантажні перевезення по Україні URL: http://deguz.com/price_statistics
2. Lukinskiy, V. Methods of evaluating transportation and logistics operations in supply chains / V. Lukinskiy, V. Dobromirov // Transport and Telecommunication, 2016. V. 17. P. 55-59.
3. Balasescu, S. Optimization methods for supply chain activities / S. Balasescu, M. Balasescu // Bulletin of the Transilvania University of Brasov Series V: Economic Sciences, 2014. V. 7(56). P.9-16.
4. Qingyou, Y. The Optimization of Transportation Costs in Logistics Enterprises with Time-Window Constraints / Yan Qingyou, Qian Zhang // Discrete Dynamics in Nature and Society, 2015. V. 2015. P. 10-15.
5. Prokudin G. Improvement of the Methods for Determining Optimal Characteristics of Transportation Networks / G. Prokudin, O. Chupaylenko, O. Dudnik, A. Dudnik, D. Omarov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2016. V. 6/3 (84). P. 54-61.
6. Knight, H. New algorithm can dramatically streamline solutions to the 'max flow' problem // MIT News, 2014. P. 21-26.

7. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы // *Exponenta Pro. Математика в приложениях*. 2003, №4. С.70–75.
8. Zhaoyuan, W. A Modified Ant Colony Optimization Algorithm for Network Coding Resource Minimization / W. Zhaoyuan, X. Huanlai, L. Tianrui // *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2016. V. 20 (3). P. 325-342.
9. Danchuk, V. An Improvement in Ant Algorithm Method for Optimizing a Transport Route with Regard to Traffic Flow / V. Danchuk, O. Bakulich, V.Svatko // *Procedia Engineering*, 2017. V. 187. P. 425-434.
10. Данчук, В.Д. Оптимізація пошуку шляхів по графу в динамічній задачі комівояжера методом модифікованого мурашиного алгоритму / В.Д. Данчук, В.В. Сватко // *Системні дослідження та інформаційні технології НТУУ «КПІ»*, 2012. № 2. С. 78-86.
11. Наказ Міністерства транспорту України від 05.02.2001 р. N 65 «Про затвердження Методичних рекомендацій з формування собівартості перевезень (робіт, послуг) на транспорті» URL: <http://uazakon.com/document/spart34/inx34634.htm>
12. Карта міста Києва для побудови маршрутів по Україні URL: <https://www.google.com.ua/maps/>
13. Ресурс спостереження за частиною ділянок ВДМ м. Києва URL: <http://videoprobki.ua>.
14. Лобанов, Е.М. Пропускная способность автомобильных дорог / Е.М. Лобанов, В.В. Сильянов, Ю.М. Ситников, Л.Н. Сапегин. // М.: Транспорт, 1970. 152 с.
15. Постанова Кабінету Міністрів України від 10.11.2017 № 883 «Про внесення змін до Правил дорожнього руху» URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/883-2017-%D0%BF>

REFERENCES

1. Statystyka tsin na vantazhni perevezennia po Ukraini [Statistics of prices for freight transportation in Ukraine]. Available at: http://deguz.com/price_statistics (Accessed 20 June 2022).
2. Lukinskiy, V. Methods of evaluating transportation and logistics operations in supply chains / V. Lukinskiy, V. Dobromirov // *Transport and Telecommunication*, 2016. V. 17. P. 55-59.
3. Balasescu, S. Optimization methods for supply chain activities / S. Balasescu, M. Balasescu // *Bulletin of the Transilvania University of Brasov Series V: Economic Sciences*, 2014. V. 7(56). P.9-16.
4. Qingyou, Y. The Optimization of Transportation Costs in Logistics Enterprises with Time-Window Constraints / Yan Qingyou, Qian Zhang // *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2015. V. 2015. P. 10-15.
5. Prokudin G. Improvement of the Methods for Determining Optimal Characteristics of Transportation Networks / G. Prokudin, O. Chupaylenko, O. Dudnik, A. Dudnik, D. Omarov // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016. V. 6/3 (84). P. 54-61.
6. Knight, H. New algorithm can dramatically streamline solutions to the ‘max flow’ problem // *MIT News*, 2014. P. 21–26.
7. Shtovba S.D. Murashyni alhorytmy [Ant algorithm]. *Exponenta Pro. Matematyka v prylozheniiakh* [Exponenta Pro. Mathematics in applications], 2003, issue 4, pp.70-75.
8. Zhaoyuan, W. A Modified Ant Colony Optimization Algorithm for Network Coding Resource Minimization / W. Zhaoyuan, X. Huanlai, L. Tianrui // *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2016. V. 20 (3). P. 325-342.
9. Danchuk, V. An Improvement in Ant Algorithm Method for Optimizing a Transport Route with Regard to Traffic Flow / V. Danchuk, O. Bakulich, V.Svatko // *Procedia Engineering*, 2017. V. 187. P. 425-434.
10. Danchuk, V.D., Svatko, V.V. Optyimizatsiia poshuku shliakhiv po hrafu v dynamichnii zadachi komivoiazhera metodom modyfikovanoho murashynoho alhorytmu [Optimization of the search for paths along the graph in the dynamic problem of the traveling salesman using the method of the modified ant algorithm]. *Systemni doslidzhennia ta informatsiini tekhnolohii NTUU «KPI»* [System research and information technologies of NTUU "KPI"], 2012, issue 2, pp.78-86.
11. Nakaz Ministerstva transportu Ukrainy vid 05.02.2001 r. N 65 «Pro zatverdzhennia Metodychnykh rekomendatsii z formuvannia sobivartosti perevezen (robit, posluh) na transporti» [Order of the Ministry of Transport of Ukraine dated February 5, 2001 No. 65 "On the approval of Methodological recommendations on the formation of the cost of transportation (works, services) in transport"]. Available at: <http://uazakon.com/document/spart34/inx34634.htm> (Accessed 20 June 2022).
12. Karta mista Kyieva dlia pobudovy marshrutiv po Ukraini [Map of the city of Kyiv for building routes across Ukraine]. Available at: <https://www.google.com.ua/maps/> (Accessed 20 June 2022).
13. Resurs sposterezhennia za chastynoiu dilianok VDM m. Kyieva [A resource for monitoring part of the URN sites in Kyiv]. Available at: <http://videoprobki.ua> (Accessed 20 June 2022).

14.Lobanov, E.M., Sylianov, V.V., Sytnykov, Yu.M., Sapehyn, L.N. *Propusknaia sposobnost avtomobyl'nykh dorozh* [Carrying capacity of highways]. M.: Transport, 1970, 152 p.

15.Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 10.11.2017 № 883 «Pro vnesennia zmin do Pravyl dorozhnoho rukhu» [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated November 10, 2017 No. 883 "On Amendments to the Traffic Rules"]. Available at: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/883-2017-%D0%BF> (Accessed 20 June 2022).

РЕФЕРАТ

Данчук В.Д. Метод оптимізації маршруту вантажних перевезень в містах з використанням інформаційних технологій на основі модифікованого мурашиного алгоритму / В.Д. Данчук, В.В. Сватко, Є. І. Богданець // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Для вирішення проблем маршрутизації вантажних перевезень у великих містах в умовах нестационарної динаміки транспортних потоків на ділянках вулично-дорожньої мережі (ВДМ) запропоновано метод оптимізації маршруту на мережі у вигляді двонаправлено орієнтованого зваженого графа. Метод базується на використанні модифікованого мурашиного алгоритму. Основним елементом модифікації є те, що 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 з використанням розробленого програмного забезпечення імітаційні моделювання процесів оптимізації маршруту в рамках задачі комівояжера на прикладі ВДМ м. Києва. При проведенні 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. Аналіз виявлених ефектів дозволив сформулювати деякі методичні рекомендації щодо прийняття управлінських рішень з питань раціональної організації перевезень вантажів. На підставі аналізу результатів імітаційних досліджень доведена можливість використання методу для вирішення задач ефективного управління процесом перевезень у мегаполісах. Зокрема, застосування цього методу може бути корисним при формуванні оптимальних маршрутів доставки вантажу в онлайн режимі з урахуванням реального стану руху транспорту на ділянках ВДМ

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТРАНСПОРТНИЙ ПОТІК, ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЯ МЕРЕЖА, ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, МУРАШИНИЙ АЛГОРИТМ.

ABSTRACT

Danchuk V.D., Svatko V.V., Bogdanets Y.I. Developing the method of optimizing the route of cargo transportation in cities using information technologies based on the modified ant algorithm. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

To solve the problems of freight routing in large cities in conditions of non-stationary dynamics of traffic flows on sections of the urban road network (URN), a method of optimizing the route on the network in the form of a bidirectionally oriented weighted graph is proposed. The method is based on the use of a modified ant algorithm. The main element of the modification is that the possibility of asynchronous movement of ant colony agents at a certain speed is realized. In addition, it is also possible to record the results of the optimization of the partially traveled path to calculate the further route when changing the traffic conditions of these agents. This allows you to manage the process of optimizing the route taking into account the dynamic state of the URN, which is associated with significant changes in the speed of vehicles in certain sections of the network. These changes in speed may be due to increased load on the URN areas, the occurrence of congestion, emergencies, and so on.

To test the proposed method, simulations of route optimization processes within the problem of a salesman on the example of the URN in Kyiv were performed using developed software. A number of effects were revealed during the simulation. These effects are associated with the restructuring of optimal routes while reducing the average vehicle speeds on the model sections of the URN to certain limit values

that correspond to certain modes of traffic flow. The analysis of the identified effects allowed to formulate some methodological recommendations for making management decisions on the rational organization of cargo transportation. Based on the analysis of the results of simulation research, the possibility of using the method to solve problems of effective management of the transportation process in megacities is proved. In particular, the application of this method can be useful in the formation of optimal routes for delivery of goods online, taking into account the real state of traffic in the areas of URN.

KEYWORDS: TRAFFIC FLOW, URBAN ROAD NETWORK, INFORMATION TECHNOLOGY, SOFTWARE, 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, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: vsvatko83@gmail.com, тел. +380672351170, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 347а, orcid.org/0000-0002-0712-5688.

Богданець Євгеній Іванович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: getman.eugenyi@gmail.com, тел. +380935155298, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 202.

AUTHORS:

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, M. Boychuk str. 42, of. 211, orcid.org/0000-0003-3936-4509.

Svatko V.V., Ph.D., Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of Information Systems and Technology, e-mail: vsvatko83@gmail.com, tel. +380672351170 Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 347a, orcid.org/0000-0002-0712-5688.

Bogdanets Y.I., National Transport University, PhD student, e-mail: getman.eugenyi@gmail.com, tel. +380935155298, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Boychuk str. 42, of. 202.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Костенко А.В., кандидат фізико-математичних наук, доцент, Львівський торговельно-економічний університет, завідувач кафедри комп'ютерних наук, Львів, Україна.

Аль-Амморі Алі, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Kostenko A.V., PhD (Phys.-Math.), Associate Professor, Lviv University of Trade and Economics, Head of the Department of Computer Science, Lviv, Ukraine.

Al-Ammori Ali, Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Head of the Department of Information and Analytical Activity and Information Security, Kyiv, Ukraine.

ОСОБЛИВОСТІ ВИПРОБУВАННЯ МОТОРНИХ ОЛИВ КЛАСУ LOWSAPS ДЛЯ ПОТУЖНИХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ EURO 6

Дмитриченко М.Ф., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, dmitrichenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-4223-1838

Міланенко О.А., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, milanmasla@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8197-5277

Савчук А.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, tolik_savchuk@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5460-4879

Глухонець А.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, hanti@i.ua, orcid.org/0000-0002-1183-6722

Туриця Ю.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, yuliya_tur@ukr.net, orcid.org /0000-0002-2205-0426

Куш О.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, kushch_oleksiy@bigmir.net, orcid.org /0000-0001-7147-9803

Косенко М.І., Національний транспортний університет, Київ, Україна, kosenko171194@gmail.com, orcid.org /0000-0002-5155-1828

FEATURES OF TESTING LOWSAPS MOTOR OILS FOR POWERFUL EURO 6 DIESEL ENGINES

Dmytrychenko M.F., doctor of technical science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, dmitrichenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-4223-1838

Milanenko A.A., associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, milanmasla@gmail.com, orcid.org /0000-0002-8197-5277

Savchuk A.N., associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, tolik_savchuk@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5460-4879

Hlukhonets A.A., associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, orcid.org/0000-0002-1183-6722

Turitsa Y.A., associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, yuliya_tur@ukr.net, orcid.org /0000-0002-2205-0426

Kushch O.I., associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, kushch_oleksiy@bigmir.net, orcid.org /0000-0001-7147-9803

Kosenko M.I., National Transport University, Kyiv, Ukraine, kosenko171194@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5155-1828

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Для створення сучасних моторних оливи для потужних дизельних двигунів, оснащеними системами рециркуляції відпрацьованих газів (EGR), селективного каталітичного відновлення (SCR) і протисажевими фільтрами (DPF), які відповідають екологічним нормам EURO 6, потрібно проведення спеціальних триботехнічних випробувань. Дані оливи відносяться до Low SAPS моторних оливи, що мають беззольний пакет присадок з сульфатною зольністю до 1,0%, знижену кількість фосфору до 0,12%, сірки до 0,4% для запобігання полірування хонінгувальної поверхні внутрішньої стінки циліндра дизелю та забрудненню систем нейтралізації відпрацьованих газів. З урахуванням таких жорстких вимог, відповідні моторні оливи повинні забезпечувати максимальні протизношувальні і антифрикційні властивості, що відповідають рекомендаціям Ultra High Performance Diesel (UHPD) згідно стандартів ACEA E6 для LowSaps оливи і ACEA E7 для оливи зі збільшеним інтервалом заміни.

Викладення невирішених питань.

Оскільки в Україні ще не велися і не ведуться спеціальні випробування на відповідність міжнародним стандартам ACEA E6/E7 щодо створення моторних олів класу EURO 6, пропонується розглянути методику спеціальних триботехнічних досліджень на трибометрі CSM Instruments SA (Швейцарія). Згідно запропонованій методики, на трибометрі були встановлені кращі протизношувальні і антифрикційні властивості спеціальних беззольних ZnFree трибопакетів для змащування дизелів класу EURO 6.

Постановка завдання.

Важливим чинником підвищення техніко-економічних показників транспортних засобів є покращення триботехнічних параметрів пар, зокрема, покращення антифрикційних та протизношувальних властивостей трибосполучень.

Цілком очевидним є вплив якісного стану мастильних матеріалів на ресурс контактних поверхонь пар тертя. Структурно, більшість сучасних марок моторних та трансмісійних олів, окрім базової основи (мінеральної або синтетичної), включають пакети присадок різного функціонального призначення. Комплексне вирішення задач щодо оптимізації періоду раціонального використання мастильних матеріалів, покращення їх експлуатаційних властивостей при залученні відповідних модифікаторів тертя дозволяє підвищувати надійність вузлів та агрегатів транспортних засобів.

Отже концепція полягає в оптимальному виборі триботехнічних властивостей мастильних матеріалів які використовуються в сучасних механізмах.

Викладення основного матеріалу.

Для дослідження триботехнічних властивостей мастильних матеріалів, зокрема моторних олів, проведено комплексні лабораторні випробування на трибометрі CSM Instruments SA (рис. 1).

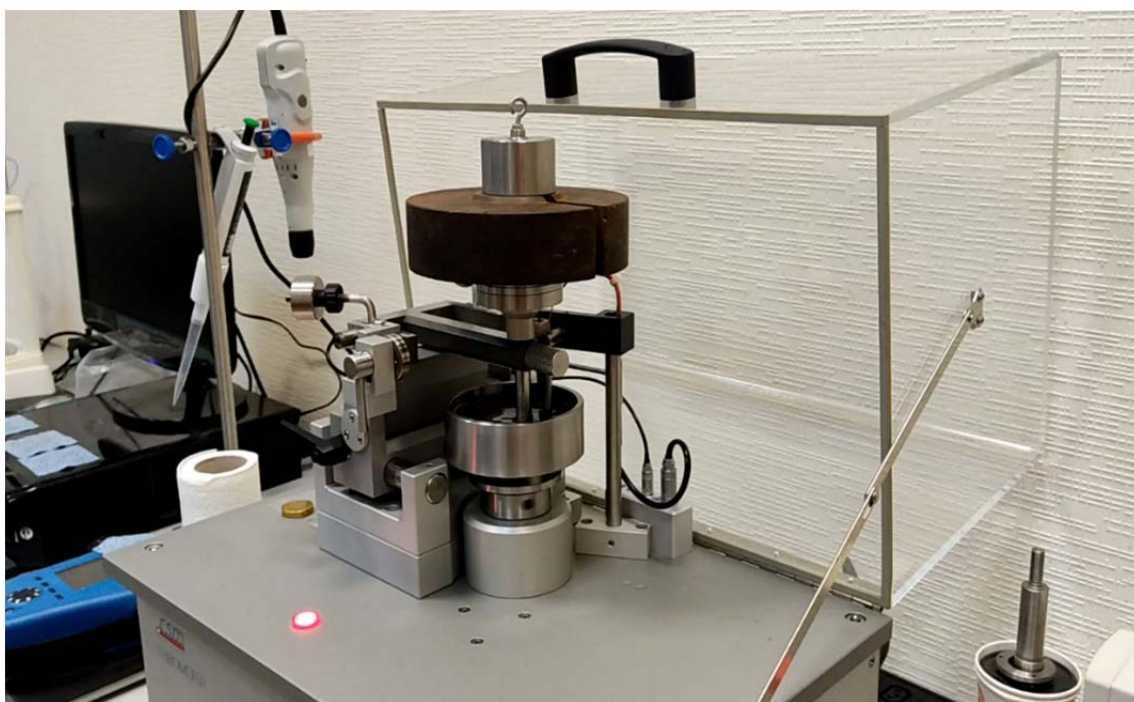


Рисунок 1 – Загальний вигляд трибометру CSM Instruments SA

Figure 1 – General view of the tribometer CSM Instruments SA

При цьому, були використані наступні зразки:

зразок №1 – I-40A – нейтральна базова олива мінерального походження;

зразок №2 – I-40A+0,6% модифікатора тертя на основі дітіофосфату цинку (ДФЦ);

зразок №3 – I-40A+0,05% беззольного (Zn-Free) модифікатора тертя на основі фосфідно-сульфідних сполук.

В якості досліджуваного матеріалу було обрано кульку діаметром $D=6$ мм зі сталі 304. Температура дослідження $t - 20^{\circ}\text{C}$ та 70°C . Вертикальне навантаження = 59,03 Н. Вологість повітря – 75%.

Кількість надходження елементів зношування (об'ємний знос) визначається за різницею (ΔH) середніх значень.

Антифрикційні властивості (коефіцієнт тертя) визначаються за числовим значенням f .

Експеримент проводився з метою визначення об'ємного зносу та коефіцієнту тертя в залежності від пробігу впродовж 7500 м. Для оптимальної достовірності отриманих результатів було зроблено 7 паралельних вимірювань. За середніми значеннями проводилася відповідна вибірка результатів.

1) Визначення протизношувальних характеристик модифікаторів тертя.

Для комплексного підвищення триботехнічних властивостей мастильних матеріалів використовуються модифікатори тертя для покращення протизношувальних і антифрикційних властивостей мастильних матеріалів.

З трьох зразків найбільша інтенсивність надходження елементів зношування (об'ємний знос) характерно для базової оливи I-40A без присадок (рис 2, крива 1), що є закономірним процесом, оскільки базова олива не містить протизношувальних і антифрикційних присадок.

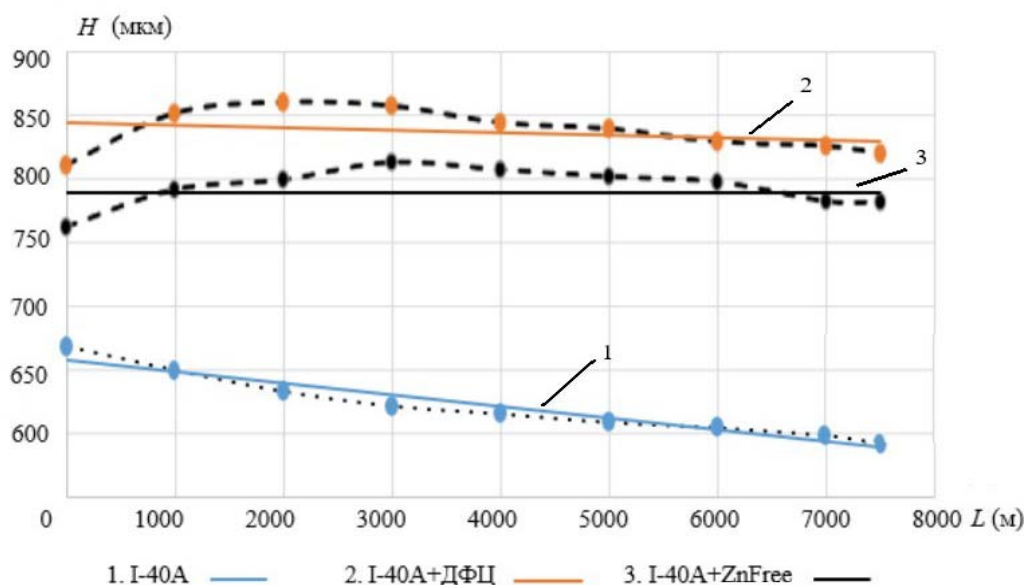


Рисунок 2 – Залежність об'ємного зносу від пробігу при $t = 20^{\circ}\text{C}$ для досліджуваних зразків

Figure 2 – Dependence of volumetric wear on mileage at $t = 20^{\circ}\text{C}$ for the studied samples

Крива 3 має більш пологі характеристики по надходженню елементів зношування в порівнянні з кривою 2, що пояснює кращі протизношувальні властивості безцольної присадки, що не містить цинк.

З трьох зразків найбільша інтенсивність надходження елементів зношування (об'ємний знос) при локальному нагріві оливи до 70°C (робоча температура важконавантажених трансмісій) характерна для базової оливи I-40A без присадок (рис. 3 крива 1). При локальному нагріві до 70°C інтенсивність надходження елементів зношування значно збільшується в порівнянні з температурою при 20°C , що пояснюється відсутністю захисних плівок в базовій оливі I-40A (рис. 3).

Крива 3 має більш пологі характеристики надходження елементів зношування в порівнянні з кривою 2, що пояснює кращі протизношувальні властивості безцольної присадки, що не містить цинк, в умовах локального нагріву до 70°C .

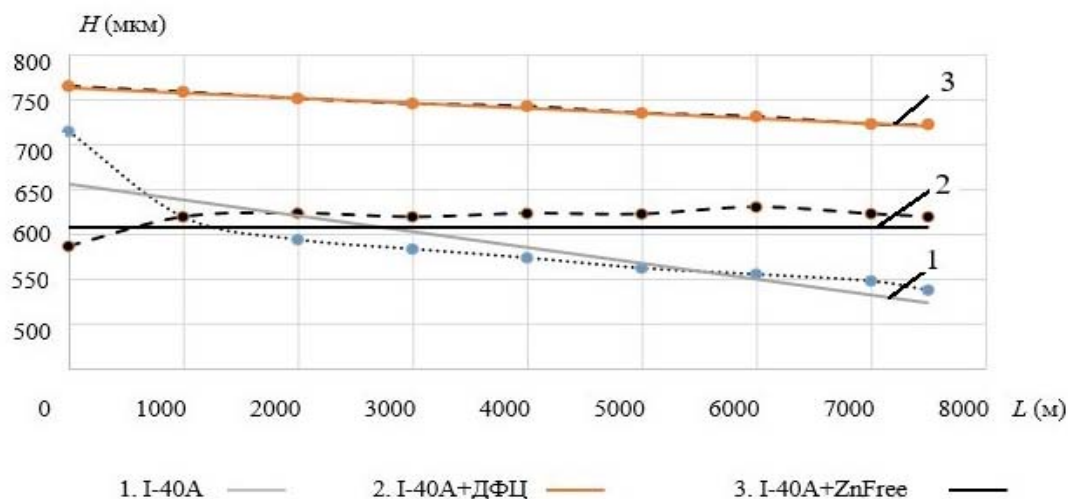


Рисунок 3 – Залежність об'ємного зносу від пробігу при $t=70^{\circ}\text{C}$ для досліджуваних зразків
 Figure 3 – Dependence of volumetric wear on mileage at $t=70^{\circ}\text{C}$ for the studied samples

Результати дослідження є важливими, оскільки органічні сполуки на основі сульфідів та фосфідів проявляють кращі протизношувальні властивості як при $t = 20^{\circ}\text{C}$, так і при локальному нагріві оливи до 70°C (робоча температура важконавантажених трансмісій), не зважаючи на те, що дані присадки містять мінімальну кількість фосфору й сірки, не містять металовмісні сполуки і, тому, можуть бути рекомендовані для змащування вузлів ЦПГ ДВЗ, що відповідають вимогам EURO6. Дані двигуни оснащені системою рециркуляції відпрацьованих газів EGR, селективними каталізаторами SCR та сажевими фільтрами, тому отримані результати поліпшених протизношувальних властивостей є важливими щодо створення моторних оливи типу LowSaps.

2) Визначення антифрикційних характеристик модифікаторів тертя.

З трьох зразків найбільший початковий коефіцієнт тертя характерний для базової оливи I-40A без присадок (рис. 4, крива 1) та зразка 2 з ДФЦ (рис. 4, крива 2). Тобто, антифрикційні властивості зразка 3 (рис. 4, крива 3) має найменший початковий коефіцієнт тертя, що пояснює кращі антифрикційні властивості при $t=20^{\circ}\text{C}$.

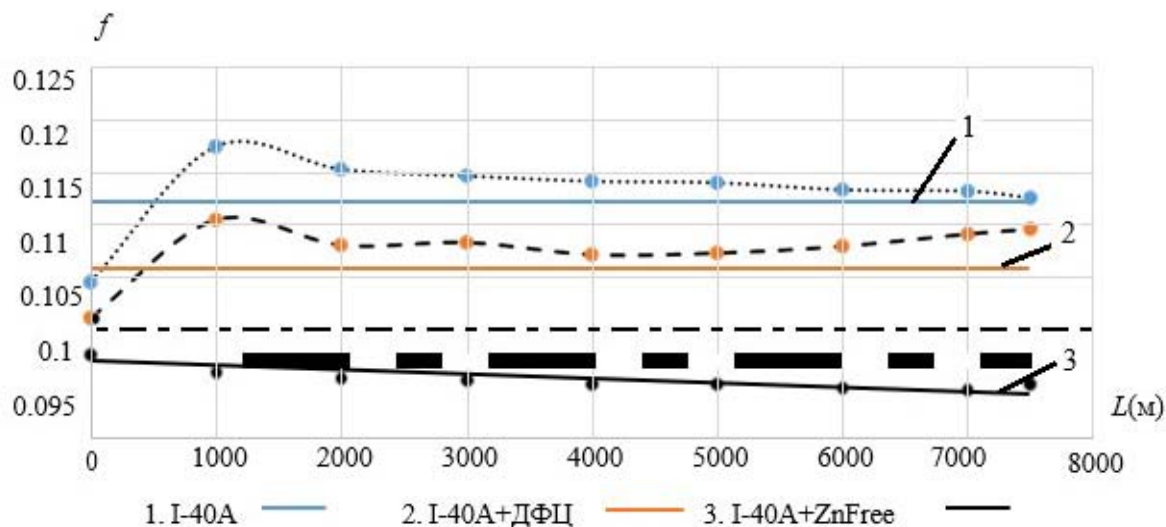


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнту тертя від пробігу при $t=20^{\circ}\text{C}$ для досліджуваних зразків
 Figure 4 – The dependence of the coefficient of friction on the run at $t=20^{\circ}\text{C}$ for the studied samples

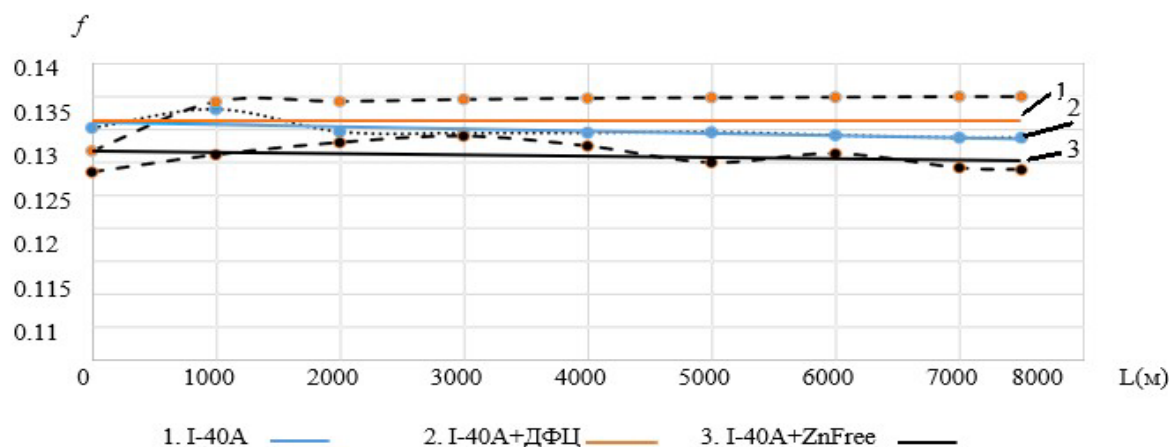


Рисунок 5 – Залежність коефіцієнту тертя від пробігу при $t=70^{\circ}\text{C}$ для досліджуваних зразків
Figure 5 – The dependence of the friction coefficient on the run at $t=70^{\circ}\text{C}$ for the studied samples

Крім того, спостерігається поступове зменшення коефіцієнту тертя впродовж пробігу 7500 м для зразка 3, на відміну від зразків 1 та 2, де спостерігається поступове збільшення коефіцієнту тертя. Таким чином, можна зробити висновок про те, що зразок 3 з беззольною присадкою має кращі антифрикційні властивості при $t=70^{\circ}\text{C}$ не тільки в початковий період, а й впродовж всього часу пробігу.

З трьох зразків найбільший початковий коефіцієнт тертя характерний для базової оливи I-40A без присадок та з присадкою ДФЦ (рис. 5, криві 1 і 2) при локальному нагріві оливи до 70°C (робоча температура важконавантажених трансмісій). Мінімальний початковий коефіцієнт тертя фіксується для зразку №3 (рис. 5, крива 3), який містить беззольний (Zn-Free) модифікатор тертя, що пояснюється кращими антифрикційними властивостями.

В подальшому, при локальному нагріві оливи до 70°C (робоча температура важконавантажених трансмісій) впродовж всього часу пробігу, спостерігається стабілізація антифрикційних властивостей для всіх зразків.

Головним чинником стабілізації коефіцієнту тертя для усіх зразків при локальному нагріві оливи до 70°C (робоча температура важконавантажених трансмісій) впродовж всього часу пробігу, є створення, при таких умовах, оптимальної еластогідродинамічної плівки, яка позитивно впливає на антифрикційні властивості.

Висновок. Встановлені кращі потизношувальні й антифрикційні властивості зразка, що містить сульфідно-фосфідні сполуки та не містить металорганічні сполуки (цинк) дають можливість розробляти по запропонованій методиці спеціальні моторні оливи LowSAPS для двигунів EURO 6 з кращими триботехнічними характеристиками, які оснащені системами нейтралізації відпрацьованих газів і, таким чином, запобігати поліруванню хонінгувальної сітки внутрішньої стінки втулки робочого циліндру ДВЗ і забрудненню систем нейтралізації зольними відкладеннями.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Підвищення надійності транспортних засобів шляхом застосування модифікаторів тертя: монографія / М.Ф.Дмитриченко, О.А.Міланенко, О.М.Білякович та інш. К.: НТУ. – 2017. – 104с.
2. Триботехнічні характеристики мастильних матеріалів в умовах експлуатації машин і механізмів: монографія / М.Ф.Дмитриченко, О.М.Білякович, А.М.Савчук та інш. – К.: НТУ.-2016. – 124 с.
3. Dmitrichenko, N.F., Bilyakovich, O.N., Savchuk, A.N., Milanenko, A.A., Turitsya, Y.A. The Effect of Rheological Parameters on the Tribotechnical Characteristics of Modified I-40A Oil. Journal of Friction and Wear, 39(2) (2018), p. 164-168.

4. Dmitrichenko, N.F., Milanenko, A.A., Hluhonets, A.A., Minyaylo, K.N. A technique for forecasting the durability of rolling bearings and the optimum choice of lubricants under flood-lubrication and oil-starvation conditions. *Journal of Friction and Wear*, 38(2), 2017, p. 126-131.
5. Dmitrichenko N.F., Savchuk A.N., Milanenko O.A., Turytsia Yu.O. Method of determining the lubricating and antifriction characteristics of oils based on estimating their rheological characteristics under nonstationary conditions of lubrication. *Journal of Friction and Wear*, 37(1), 2016, p. 146-150.
6. Dmitrichenko, N.F., Milanenko, A.A., Savchuk, A.N., Bilyakovich, O.N., Turitsa, Y.A., Pavlovskiy M.V. Improving the efficiency of lubricants by introducing friction modifiers for tracked vehicles under stationary conditions of friction. *Journal of Friction and Wear*, 37(2), 2016, p. 441-447.
7. Дмитриченко М.Ф., Міланенко О.А., Туриця Ю.О., Міняйло К.М. Науковий твір «Методика визначення оптимальної клнцентрації наномодифікатора в універсальних моторно-трансмісійних оливах» (Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 64565 дата реєстрації 21.03.2016).

REFERENCES

1. Improving the reliability of vehicles by using friction modifiers: monograph / M.F. Dmitrichenko, A.A. Milanenko, A.M. Bilyakovich and others. K.: NTU. – 2017.- 104s 2. Suslov A.G. Technological support of the state parameters of the surface layer parts. M. Machinery. 1987. 208p. (ukr)
2. Tribotechnical characteristics of oil materials in the minds of the operation of machines and mechanisms: monograph / M.F. Dmitrichenko, O.M. Bilyakovich, A.M. Savchuk and others. – K.: NTU. – 2016. – 124 p. (ukr)
3. Dmitrichenko, N.F., Milanenko, A.A., Hluhonets, A.A., Minyaylo, K.N. A technique for forecasting the durability of rolling bearings and the optimum choice of lubricants under flood-lubrication and oil-starvation conditions. *Journal of Friction and Wear*, 38(2), 2017, p. 126-131. (rus)
4. Dmitrichenko, N.F., Milanenko, A.A., Hluhonets, A.A., Minyaylo, K.N. A technique for forecasting the durability of rolling bearings and the optimum choice of lubricants under flood-lubrication and oil-starvation conditions. *Journal of Friction and Wear*, 38(2), 2017, p. 126-131. (rus)
5. Dmitrichenko N.F., Savchuk A.N., Milanenko O.A., Turytsia Yu.O. Method of determining the lubricating and antifriction characteristics of oils based on estimating their rheological characteristics under nonstationary conditions of lubrication. *Journal of Friction and Wear*, 37(1), 2016, p. 146-150. (rus)
6. Dmitrichenko, N.F., Milanenko, A.A., Savchuk, A.N., Bilyakovich, O.N., Turitsa, Y.A., Pavlovskiy M.V. Improving the efficiency of lubricants by introducing friction modifiers for tracked vehicles under stationary conditions of friction. *Journal of Friction and Wear*, 37(2), 2016, p. 441-447. (rus)
7. Dmitrichenko M.F., Milanenko O.A., Turitsa Yu.A., Minyailo K.M. Scientific work "Method of determining the optimal concentration of a nanomodifier in universal motor-transmission oils" (Certificate of registration of copyright for the work No. 64565 registration date 03/21/2016). (ukr)

РЕФЕРАТ

Дмитриченко М.Ф. Управління екологічною безпекою мегаполісу / М.Ф.Дмитриченко, О.А.Міланенко, А.М.Савчук, О.О.Глухонець, Ю.О.Туриця, О.І.Куш, М.І.Косенко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Стаття присвячена визначенню об'ємного зносу та коефіцієнту тертя в залежності від пробігу автомобіля. Для комплексного підвищення триботехнічних властивостей мастильних матеріалів використовуються модифікатори тертя для покращення протизношувальних і антифрикційних властивостей мастильних матеріалів. Пропонується розглянути методику спеціальних триботехнічних досліджень на трибометрі CSM Instruments SA (Швейцарія). Згідно запропонованій методики, на трибометрі були встановлені кращі протизношувальні і антифрикційні властивості спеціальних беззольних ZnFree трибопакетів для змащування дизелів класу EURO 6. Результати дослідження є важливими, оскільки органічні сполуки на основі сульфідів та фосфідів проявляють кращі протизношувальні властивості як при $t = 20^{\circ}\text{C}$, так і при локальному нагріві оливи до 70°C , не зважаючи на те, що дані присадки містять мінімальну кількість фосфору й сірки, не містять металовмісні сполуки і, тому, можуть бути рекомендовані для змащування вузлів циліндро-

поршневої групи (ЦПГ) двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), що відповідають вимогам EURO6. Дані двигуни оснащені системою рециркуляції відпрацьованих газів EGR, селективними каталізаторами SCR та сажевими фільтрами, тому отримані результати поліпшених протизношувальних властивостей є важливими щодо створення моторних оливи типу LowSaps. Визначено, що головним чинником стабілізації коефіцієнту тертя для усіх зразків при локальному нагріві оливи до 70°C (робоча температура важконавантажених трансмісій) впродовж всього часу пробігу, є створення, при таких умовах, оптимальної еластогідродинамічної плівки, яка позитивно впливає на антифрикційні властивості. Встановлені кращі протизношувальні й антифрикційні властивості зразка, що містить сульфідно-фосфідні сполуки та не містить металорганічні сполуки (цинк) дають можливість розробляти по запропонованій методиці спеціальні моторні оливи LowSAPS для двигунів EURO 6 з кращими триботехнічними характеристиками, які оснащені системами нейтралізації відпрацьованих газів і, таким чином, запобігати поліруванню хонінгувальної сітки внутрішньої стінки втулки робочого циліндру ДВЗ і забрудненню систем нейтралізації зольними відкладеннями.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОТОРНА ОЛИВА, ТЕМПЕРАТУРА, МАСТИЛЬНИЙ МАТЕРІАЛ, АНТИФРИКЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ, КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ, ЗНОС, ТРАНСМІСІЯ, ПРИСАДКА.

ABSTRACT

Dmytrychenko M.F., Milanenko A.A., Savchuk A.N., Hlukhonets A.A., Turitsa Y.A., Kushch O.I., Kosenko M.I. Features of testing lowsaps motor oils for powerful euro 6 diesel engines. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article is devoted to the determination of volumetric wear and friction coefficient depending on the vehicle mileage. For a comprehensive increase in the tribological properties of lubricants, friction modifiers are used to improve the antiwear and antifriction properties of lubricants. It is proposed to consider the methodology of special tribotechnical studies on the CSM Instruments SA (Switzerland). According to the proposed method, the best antiwear and antifriction properties of special ashless ZnFree tribopackages for lubricating diesel engines of the EURO 6 class. The results of the study are important, since organic compounds based on sulfides and phosphides exhibit the best antiwear properties both at $t = 20^{\circ}\text{C}$ and at local heating of the oil to 70°C , despite the fact that these additives contain a minimum amount of phosphorus and sulfur, which do not contain metal-containing compounds and, therefore, can be recommended for lubricating units of the cylinder-piston group (CPG) of internal combustion engines (ICE) that meet EURO6 requirements. These engines are equipped with an EGR system, selective SCR catalysts and particulate filters, so the results of improved anti-wear properties are important for the creation of LowSaps type engine oils. It has been determined that the main factor in stabilizing the friction coefficient for all samples during local heating of the oil to 70°C (operating temperature of heavily loaded transmissions) throughout the entire run time is the creation of an optimal elastohydrodynamic film under such conditions, which positively affects the antifriction properties. The established preferred sweat-seeking and anti-friction properties of a sample containing sulfide-phosphide compounds and not containing organometallic compounds (zinc) make it possible to develop special LowSAPS engine oils for EURO 6 engines with the best tribotechnical characteristics, which are equipped with such systems, using the proposed method. Thus, to prevent polishing of the honing mesh of the inner wall of the sleeve of the working cylinder of the internal combustion engine and contamination of the neutralization systems with ash deposits.

KEY WORDS: ENGINE OIL, TEMPERATURE, OIL MATERIAL, ANTIFRICTION PROPERTIES, GEAR COEFFICIENT, DRIFT, TRANSMISSION, ADDITIVE.

АВТОРИ:

Дмитриченко Микола Федорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, тел. (044)2808203, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 318, orcid.org/0000-0003-4223-1838

Міланенко Олександр Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: milanmasla@gmail.com, тел. (044)2801886, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к.102, orcid.org/0000-0002-8197-5277

Савчук Анатолій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: tolik_savchuk@ukr.net, тел. (044)2801886, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к.102, orcid.org/0000-0001-5460-4879

Туриця Юлія Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: yuliya_tur@ukr.net, тел. (044)2801886, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к.102, orcid.org/0000-0002-2205-0426

Кушч Олексій Іванович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: kushch_oleksiy@bigmir.net, тел. (044)2801886, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к.102, orcid.org/0000-0001-7147-9803

Косенко Максим Ігорович, аспірант, Національний транспортний університет, Київ, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к.102, e-mail: kosenko171194@gmail.com, tel. 0669708998, orcid.org/0000-0002-5155-1828

AUTHORS:

Dmytrychenko Mukola 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, Omelyanovicha-Pavlenko str., 1, of. 318, orcid.org/0000-0003-4223-1838

Milanenko Aleksandr A., associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: milanmasla@gmail.com, tel. (044)2801886, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., of. 102, orcid.org/0000-0002-8197-5277

Savchuk Anatoliy N, associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: tolik_savchuk@ukr.net, tel. (044)2801886, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., of. 102, orcid.org/0000-0001-5460-4879

Turitsa Yuliya A., associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: yuliya_tur@ukr.net, tel. (044)2801886, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., 1, of. 102, orcid.org/0000-0002-2205-0426

Kushch Aleksey I., associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: kushch_oleksiy@bigmir.net, tel. (044)2801886, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., 1, of. 102, orcid.org/0000-0001-7147-9803

Kosenko Maxim Igorovich, master's degree, postgraduate student, NTU, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str. 1, of. 102, e-mail: kosenko171194@gmail.com, tel. 0669708998, orcid.org / 0000-0002-5155-1828

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гуменчук М.І., кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, Київ, Україна.

Тамаргазін О.А., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій аеропортів факультету літальних апаратів Національного авіаційного університету.

REVIEWERS:

Gumenchuk M.I., associate professor, National Transport University, Ukraine, Kyiv.

Tamargazin A.A., doctor of technical sciences, professor, head of the airport technology department of the faculty of aircraft of the National aviation university.

3D-МОДЕЛЮВАННЯ ЗУБОЗАОКРУГЛЮЮЧИХ ВПАДИН НАКАТНИКА ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ТОРЦЕВИХ ПОВЕРХОНЬ ЗУБЦІВ ШЕСТЕРЕНЬ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НАКАТУВАННЯМ

Дулеба А.Д., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, a.d.duleba@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6333-1737

Сопотсько Ю.О., Національний транспортний університет, Київ, Україна, yuriysopotsko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0458-7844

Дулеба Н.В., кандидат економічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, N.V.Duleba@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3881-2413

3D MODELING OF TEETH ROUNDING FALLS OF ROLLER FOR FORMING ROUNDED END SURFACES OF TEETH OF GEAR WHEELS OF VEHICLES BY ROLLING

Duleba A.D., associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, a.d.duleba@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6333-1737

Sopotsko Y.O., National Transport University, Kyiv, Ukraine, yuriysopotsko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0458-7844

Duleba N.V., associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, N.V.Duleba@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3881-2413

Постановка проблеми

Шестерні непостійного зачеплення широко використовуються в автомобільних та тракторних коробках передач, роздавальних коробках, коробках відбору потужності. Вмикання передачі при такому зачепленні здійснюється осьовим переміщенням шестерні до іншої шестерні, яка розміщена на паралельному валі. Для покращення введення в зачеплення зубця однієї шестерні у впадину іншої, на зубцях обох виконується торцеве зубозаокруглення. Незважаючи на те що, таку обробку можна виконати на верстатах з ЧПУ, виробники шестерень працюють над удосконаленням та виробництвом нескладних верстатів для виконання заокруглення торцевої поверхні зубців та зняття фасок з кромek зубців. З метою підвищення продуктивності виробництва шестерень пропонується використовувати в якості чорнової обробки шестерень гаряче накатування евольвентного профілю з одночасним заокругленням торцевої поверхні зубців. Після чого проводиться тільки чистова обробка профілів зубців, залишаючи заокруглена торцевої поверхні в стані після прокатування. Або теж проводиться тільки чистова обробка торцевої поверхні зубців.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Механічні коробки передач продовжують широко використовуватися в автомобілях та металообробних верстатах. Необхідними елементом шестерень, що переключаються переміщенням вздовж валів для зчеплення з іншими шестернями є заокруглення поверхні торців зубців. Таку обробку можна виконати на верстатах з ЧПУ, але виробники шестерень працюють над удосконаленням та виробництвом нескладних верстатів для виконання заокруглення торцевої поверхні зубців та зняття фасок з кромek зубців [1]. Одним з продуктивних способів виробництва шестерень є формування зубчатих профілів гарячим накатуванням з заокругленням торців зубців описаний в роботі [2].

В роботі [2] вперше була запропонована методика побудови профілю зубозаокруглюючої западини з використанням кінематичної теорії обвідних сімейства поверхонь. Методика визначення геометричних параметрів складна та дає можливість тільки приблизно визначити форму та розміри зубозаокруглюючого профілю накатника.

Моделювання форми і розмірів накатника.

Для проектування зубозакругляючого профілю були вибрані параметри для зубчастого вінця шестерні (число зубців $z_{зв}=37$ та модулем $m=3,5$ мм) для накатника було вибране число зубців $z_n=33$. Результати розрахунку даного зачеплення представлені в табл. 1

Таблиця 1 – Розрахункові дані зчеплення накатника та шестерні
Table 1 – Calculation data of knurl and gear coupling

Число зубців накатника Z_H	Число зубців зубчастого вінця шестерні $Z_{ЗВ}$	Модуль накатника та шестерні, m (мм)	Міжцентрова відстань, A (мм)	Діаметр ділильної окружності накатника, d_{0H} (мм)	Діаметр ділильної окружності шестерні, $d_{0Ш}$ (мм)
37	33	3,5	122,5	129,5	115,5

За даними розрахунків в програмі AutoCad були змодельовані частина зубчастого вінця шестерні коробки передач та уявна заготовка зубозаокруглюючого накатника, що має форму диска (рис. 1).

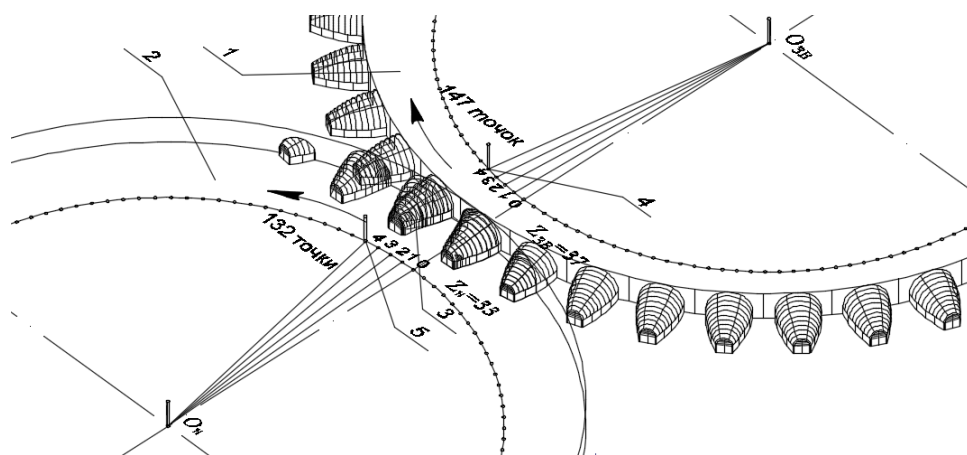


Рисунок 1– Модель створення зубчастого зачеплення зубозаокруглюючих впадин накатника та фрагменту зубчастого вінця шестерні коробки передач автомобіля: 1 – 3d-модель зубчастого вінця; 2 – 3d-модель оброблюваної заготовки; 3 – 3d-модель утвореної зубозаокруглюючої впадини; 4, 5 – орієнтувальні мітки зубчастого вінця та заготовки відповідно
Figure 1– The model of the creation of the gear engagement of the tooth-rounding depressions of the knurled gear and the fragment of the toothed crown of the gear box of the car: 1 – 3d model of the toothed crown; 2 – 3d model of the processed workpiece; 3 – 3d model of the formed tooth-rounding cavity; 4, 5 – orientation marks of the toothed crown and workpiece, respectively

Для формування зубозаокруглюючої впадини у вказаній програмі проводилась імітація обкатування зубчастим вінцем дископодібної заготовки накатника. Зубозаокруглені торці зубців формували зубозаокруглюючі впадини накатника. Торцева поверхня зубців зубчастого вінця формувалась шляхом обертання навколо своєї осі евольвентної кривої, яка є твірною бокової поверхні зубців (рис. 2).

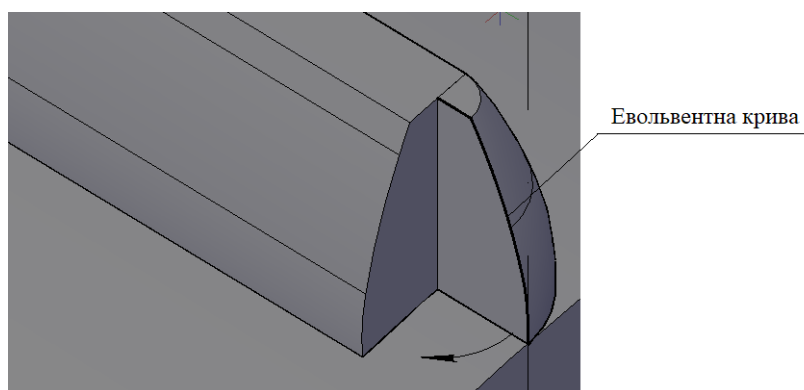


Рисунок 2 – Моделювання торцевої поверхні зубця
Figure 2 – Modeling the end surface of the tooth

Для формування безпосередньо зубозаокруглюючих впадин накатника необхідно було на певні кути віртуально повертати, у вказаному стрілками напрямку, зубчастий вінець та заготовку. Після провороту необхідно було в програмі AutoCad, використовуючи команду «Віднімання» – від 3d-моделі диску відняти 3d-модель зубчастого вінця. В результаті даної дії утворюється відбиток зубця. Однак в даному випадку модель зубчастого вінця зникає. Для того, щоб це уникнути необхідно було попередньо зробити копію моделі вінця. Потім проводиться наступний проворот моделей від точки «0» до точки «1» (потім від точки «2» до «3» і так далі) у напрямку, вказаному стрілкою. Після чого, операція віднімання з копіюванням повторюється, допоки не утвориться повна 3d-модель зубозаокруглюючого накатника.

Для правильного відтворення зачеплення необхідно, щоб 3d-моделі повертались на різні кути, оскільки зубчастий вінець має 37 зубців, а накатник 33 зубця. Тому довільно вибрані окружності 3d-моделей (див. рис.1) були поділені на кількість частин, кратну кількості зубців кожної. В нашому випадку для зубчастого вінця окружність була поділена 148-ма точками, а накатника – 132-ма (відповідно – $37 \times 4 = 148$, $33 \times 4 = 132$). Велика кількість точок була вибрана для того, щоб утворена поверхня була більш плавною. Для зручності умовного повертання на 3d-моделях були зроблені мітки.

В результаті 3d-моделювання в програмі AutoCad було візуалізовано зубозаокруглюючий накатник та зубчастий вінець деталі, що знаходяться між собою в зачепленні (рис. 3).



Рисунок 3 – Візуалізоване зображення 3d-моделі зубозаокруглюючого накатника та зубчастого вінця
Figure 3 – A rendered image of a 3d model of a tooth-rounding knurling tool and gear ring

Даний віртуальний процес обкатування показав, що у внутрішній частині зубозаокруглюючої впадини утворюється певний дефект у вигляді підминання поверхні обкатування (при нарізанні зубців це явище називається підрізування) (рис. 4). Це пояснюється тим, що моделювання даних 3d-об'єктів здійснювалось в умовах беззazorного зачеплення.

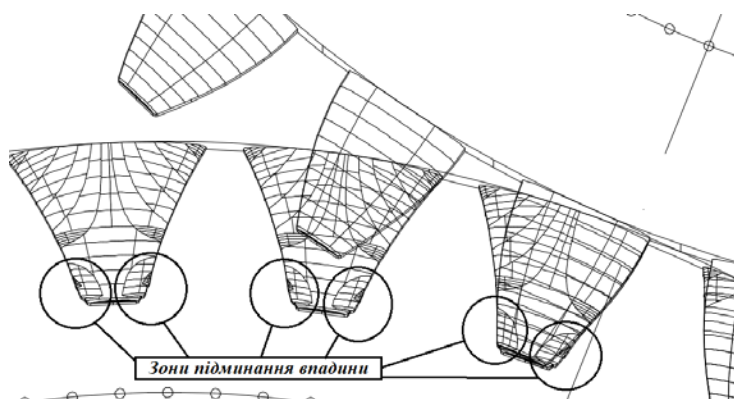


Рисунок 4 – Дефекти зубозаокруглюючих впадин при їх формуванні обкатуванням (виділені кружечками)

Figure 4 – Defects of tooth-rounding depressions when they are formed by rolling (marked with circles)

Для перевірки процесу формування зубозаокруглюючої впадини торцевою поверхнею зубців зубчастого вінця були надруковані на 3d-принтері з ABS-пластику фрагменти зубозаокруглюючої впадини та торцевої поверхні зубця (рис. 5).



Рисунок 5 – Зображення надрукованих на 3d-принтері з пластику фрагменти зубозаокруглюючої впадини та торцевої поверхні зубця: а – деталі розміщені окремо; б – деталі знаходяться в зачепленні
Figure 5 – Image of the fragments of the tooth-rounding cavity and end surface of the tooth printed on a 3d-printer from plastic: a – details are placed separately; b – the parts are engaged

Дані фрагменти були закріплені на дисках, міжцентроміру моделі КПД-300, схема якого представлена на рис. 6.

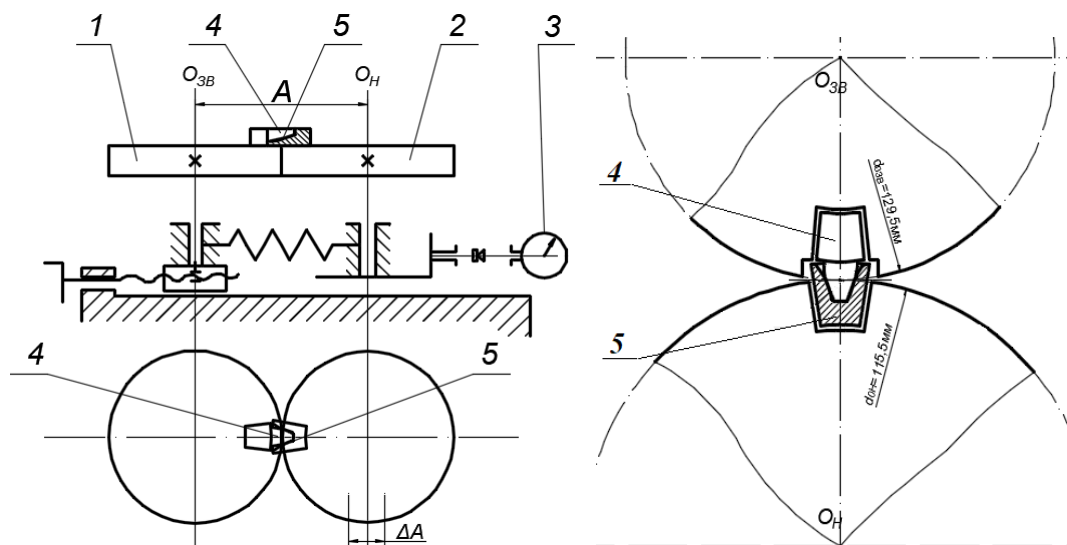


Рисунок 6 – Схема приладу для визначення коливання вимірювальної міжцентрової відстані:

1, 2 – обертаючі диски; 3 – індикатор; 4 – пластикова модель зубця; 5 – пластикова модель зубозаокруглюючої впадини

Figure 6 – Scheme of the device for determining the fluctuation of the measuring intercenter distance:

1, 2 – rotating discs; 3 – indicator; 4 – plastic model of a tooth; 5 – plastic model of the tooth-rounding cavity

Пристрій був використаний для перевірки обкатування зубозаокругленого профілю торцевої поверхні зуба та профілю заокруглюючих западини накатника. Виготовлення моделей профіля зуба та накатника підтвердили можливість формування зубозаокругленого профіля накатника в програмі AutoCad.

Виготовлення накатника для заокруглення торцевих поверхонь зубців.

На підставі отриманих даних та побудованого фрагменту зубозаокруглюючої впадини та торцевої поверхні зубця були проведені розрахунки накатника для заокруглення торцевої поверхні зубців із синхронізуючим вінцем [3]. Дана схема накатування забезпечує синхронне обертання

шестерні та накатника під час накатування. Виготовлення зубозаокруглюючих впадин накатника проводилося фасонною пальцевою фрезою (за розмірами близькою до розмірів зубця) (рис. 7).

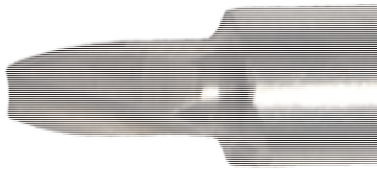


Рисунок 7 – Фасонна пальцева фреза
Figure 7 – Shaped finger mill

Під час обробки фреза отримувала обертальний рух. Рух обкатування та осьової подачі надавався заготовці накатника (рис. 8). Рух обкатування складався з обертального та поступального руху накатника паралельно його осі. В результаті цих двох рухів досягалося обкатування накатника відносно фрези.

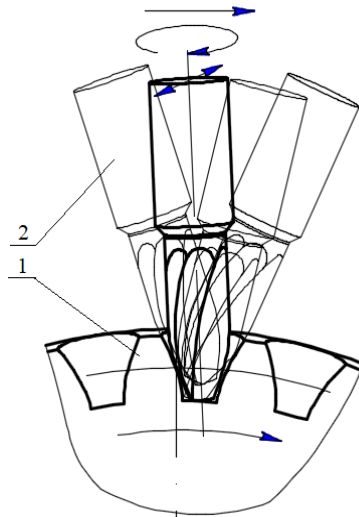


Рисунок 8 – Рух накатника та пальцевої фрези під час виготовлення зубозаокруглюючої впадини
Figure 8 – The movement of the knurling tool and the finger cutter during the production of the tooth-rounding cavity

Внаслідок реалізації процесу зубофрезерування були виготовлені фасонні зубозаокруглюючі впадини (рис. 9) зубозаокруглюючого накатника (рис. 10). Для якісного формування торцевих поверхонь зубців зубчастих коліс даний інструмент має синхронізуючий вінець та зубозаокруглюючі впадини. Синхронізуючий вінець забезпечує синхронне обертання накатника відносно зубців шестерні, що заокруглюються.

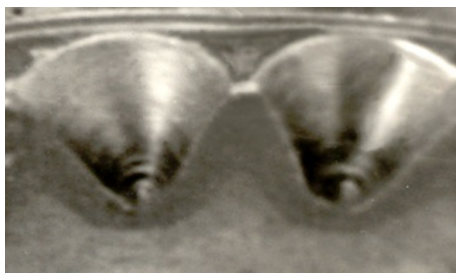


Рисунок 9 – Поверхня зубозаокруглюючих впадин накатника
Figure 9 – The surface of the tooth-rounding depressions of the knurling tool

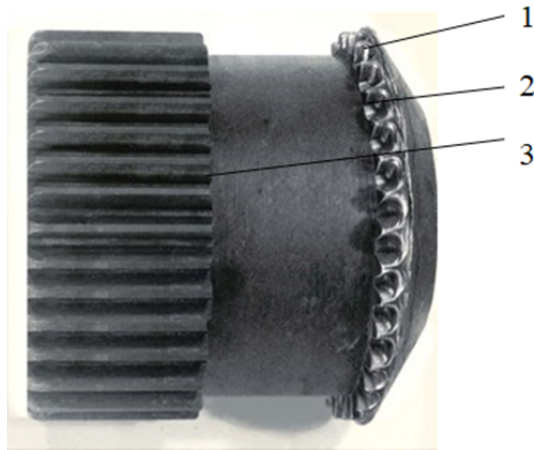


Рисунок 10 – зубозаокруглюючий накатник: 1 – відрізний ніж; 2 – зубозаокруглююча впадина;
3 – синхронізуючий вінець

Figure 10 – Tooth-rounding knurling tool: 1 – cutting knife; 2 – tooth-rounding depression; 3 – synchronizing crown

Розрахунок геометричних параметрів синхронізуючого вінця накатника (табл.1) здійснювався по аналогії із розрахунком звичайного зубчастого колеса, при цьому була прийнята кількість зубців $z_H=33$, що пояснюється конструктивними розмірами пристрою для накатування.

Згідно запропонованій схемі [2] проводилось заокруглення торцевих поверхонь зубців шестерень ($z=37$, $m=3,5$ мм).

Випробування зубозакруглюючого накатника проводилося на токарному верстаті 16K20. Схема пристосування показана на рис.11. Синхронізуюча шестерня закріплюлася в патроні токарного верстата та піджималася обертовим центром. Зубозаокруглюючий накатник закріплювався на супорті токарного верстата. Накатування проводилося з осьовою та радіальною подачею.

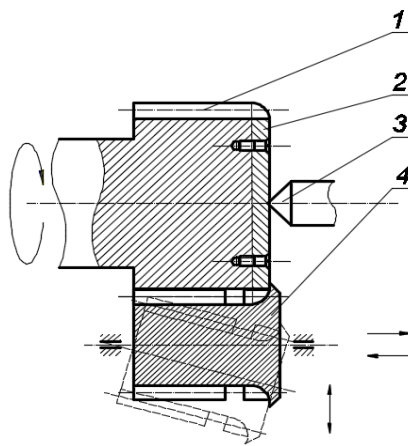


Рисунок 11– Схема пристосування для випробування накатника для заокруглення торців зубців на бронзових зразках: 1 – синхронізуюча шестерня; 2 – бронзова заготовка

3 – центр задньої бабки; 4 – зубозаокруглюючий накатник

Figure 11 – Scheme of the device for testing the knurling tool for rounding the ends of the teeth on bronze samples: 1 – synchronizing gear; 2 – bronze workpiece
3 – center of the rear headstock; 4 – tooth-rounding knurling tool

Накатування торцевої поверхні проводилося на бронзових зразках без нагрівання шестерні. При взаємному обкатуванні накатника та поверхні торців зубців були отримані зубозаокруглюючі поверхні торців зубців, що за формою відповідають вимогам ДСТУ [4, 5]. Зовнішній вигляд зразка представлений на (рис. 12). Так як даний процес здійснювався без нагрівання заготовки, то в розрахунках міжцентрової відстані не враховувалась зміна геометричних параметрів деталі та інструменту внаслідок температурного розширення матеріалу.



Рисунок 12 – Торцеві поверхні зубців бронзового зразка утворені при накатуванні накатником
Figure 12 – The end surfaces of the teeth of the bronze sample were formed by rolling with a roller

Для перевірки формування торцевої поверхні зубців режими накатування вибирались із найменшим навантаженням на деталь при окружній швидкості накатування 0,46 м/с та швидкості радіальній подачі накатника $0,710^{-3}$ м/с [2]. Заміри геометричних параметрів, фактично отриманого і теоретично розрахованого, профілю зубців мали розбіжність в межах 0,08...0,10 мм враховуючи, що допуск на відхилення радіуса заокруглення торця зубців для модуля 3,5 мм складав 0,7 мм. Зміщення центра заокруглення від площини симетрії зуба знаходилося в межах допуску 0,3 мм. Шорсткість сформованої поверхні не перевищувала $R_a = 0,92$ мкм.

Отримані дані підтвердили, що накатування зубців зубчастих коліс запропонованим інструментом дозволяє забезпечити форму торцевої поверхні зубців, геометричні параметри якої відповідають технічним вимогам. На якість формування торцевої поверхні зубців впливало дотримання відповідної міжцентрової відстані при накатуванні, збільшення якої до 0,3...0,5 мм призводило до недоформування зубозаокруглених поверхонь (рис. 13).



Рисунок 13 – Недозаокруглена торцева поверхня зуба
Figure 13 – Underrounded end surface of the tooth

При зменшенні міжцентрової відстані на величину 0,3...0,5 мм виникало підрізання торцевої поверхні (рис. 14). Попередні експериментальні дослідження із заокруглення торцевої поверхні зубців бронзових зразків в холодному стані показали необхідність дотримання заданої міжцентрової відстані з відхиленням радіуса заокруглення 0,1...0,7 мм (при допустимому $\pm 0,7$ мм), а відхилення осі симетрії зуба становило 0,1...0,15 мм (при допустимому 0,3 мм). Шорсткість поверхні дорівнювала $R_a = 0,86...0,92$ мкм.

Отже, дані дослідження підтвердили можливість проведення розрахунків геометричних параметрів зубозаокруглюючих накатників запропонованою методикою, які б забезпечили якісне формування робочих поверхонь зубців зубчастих коліс.

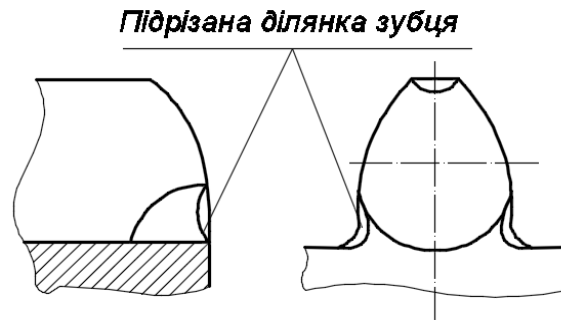


Рисунок 14 – Підрізана торцева поверхня зубця
Figure 14 – The cut end surface of the tooth

Висновки.

1. Моделювання процесу обкатування в програмі AutoCad дозволяє достатньо просто отримати профілі взаємно огинаючих поверхонь та візуально визначити дефекти формування зубозаокруглюючих впадин.
2. 3d-моделювання в програмі AutoCad дає можливість отримати пластикові зразки поверхонь шляхом друку на 3d-принтері.
3. Попереднє обкатування надрукованих на 3d-принтері зразків дозволяє скоригувати геометричні розміри інструменту для нарізання зубозаокруглюючих впадин.
4. Використання схеми накатування, при якій накатування евольвентного профілю та заокруглення торцевої поверхні здійснюється різними накатниками є більш доцільним.
5. Це дає можливість підвищити ступінь точності накатаних зубчастих коліс, так як вимоги до їх евольвентних поверхонь значно вище, ніж до форми заокруглення торцевої поверхні зубців.
6. Виготовлення зубчастих коліс для автомобільних коробок передач та верстатів попереднім (чорновим накатуванням) дає можливість одночасно формувати заокруглення та фаски на торцевих поверхнях зубців, що значно зменшує трудомісткість виробництва цих деталей.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Prabhudev Mallapur, Shiva Krishna J, Umesh Hosmani et al. Design of Gear Tooth Rounding and Chamfering Machine. Trends in Machine Design. 2017; 4(3): 38–44p. DOI: 10.13140/RG.2.2.29305.93285.
2. Голяк Олег. Визначення оптимальних режимів відновлення шестерень накатуванням / Олег Голяк, Андрій Дулеба // Вісник Національного Транспортного університету. – 2004. – № 9 . С. 23–27.
3. Голяк Олег. Методика розрахунку геометричних параметрів зубозаокруглюючого накатника / Олег Голяк, Володимир Леонов, Андрій Дулеба, Юрій Сопочко // Вісник Національного Транспортного університету. – 2004. – №9. С. 15–20.
4. ДСТУ ISO 1328-1:2006 Колеса зубчасті циліндричні. Система точності ISO. Частина 1. Терміни та визначення понять і встановлені допуски відхилень бічних поверхонь зубців зубчастого колеса (ISO 1328-1:1995, IDT).
5. ДСТУ ISO/TR 10064-1:2006 Колеса зубчасті циліндричні. Правила контролю. Частина 1. Контроль однойменних профілів зубців зубчастих коліс (ISO/TR 10064-1:1992, IDT).

REFERENCES

1. Prabhudev Mallapur, Shiva Krishna J, Umesh Hosmani et al. Design of Gear Tooth Rounding and Chamfering Machine. Trends in Machine Design. 2017; 4(3): 38–44p. DOI: 10.13140/RG.2.2.29305.93285.[in English]/
2. Holiak Oleh, Duleba Andrii. (2004). Vyznachennia optymalnykh rezhymiv vidnovlennia shesteren nakatuvanniam [Determination of optimal modes of recovery of gears by rolling]. Visnyk Natsionalnoho Transportnoho universytetu – Bulletin of the National Transport University. 2004. – No. 9. P. 23–27 [in Ukrainian].

3. Oleh Holiak, Volodymyr Lieonov, Andrii Duleba, Yurii Sopotsko. (2004). Metodyka rozrakhunku heometrychnykh parametriv zubozaokruhliuiuchoho nakatnyka [The method of calculating the geometric parameters of the tooth of a circular knurled tool]. Visnyk Natsionalnoho Transportnoho universytetu – Bulletin of the National Transport University. 2004. – No. 9. P. 15–20 [in Ukrainian].

4. ДСТУ ISO 1328-1:2006 Колеса зубчасті циліндричні. Система точності ISO. Частина 1. Терміни та визначення понять і встановлені допуски відхилень бічних поверхонь зубців зубчастого колеса (ISO 1328-1:1995, IDT)/

5. ДСТУ ISO/TR 10064-1:2006 Колеса зубчасті циліндричні. Правила контролю. Частина 1. Контроль однойменних профілів зубців зубчастих коліс (ISO/TR 10064-1:1992, IDT).

РЕФЕРАТ

Дулеба А.Д. 3D-модельовання зубозаокруглюючих впадин накатника для формування торцевих поверхонь зубців шестерень транспортних засобів накатуванням / А.Д. Дулеба, Ю.О. Сопощко, Н.В. Дулеба // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

В статті теоретично обґрунтована та практично підтверджена можливість формування торцевих поверхонь зубців шестерень обкатуванням зубозаокруглюючим накатником. В програмі AutoCad було змодельоване зачеплення обкатуваних заготовки накатника та шестерні із заокругленими торцевими поверхнями зубців. В результаті чого, були утворені фасонні впадини зубозаокруглюючого накатника, які дозволяють формувати заокруглені торцеві поверхні зубців обкатуванням. На 3d-принтері були надруковані із пластику зразки фрагментів зубозаокруглюючої впадини накатника та торцевої поверхні зубця шестерні. Отримані зразки були закріплені на спеціальному оберталю пристрої для перевірки можливості зачеплення фасонної впадини накатника із торцевою поверхнею зубця шестерні. При обкатуванні зразків модель торцевої поверхні зуба чітко входила у модель фасонної впадини та виходила з неї. Це підтверджувало обернену можливість формування торцевої поверхні зубців змодельованою фасонною впадиною.

На основі результатів модельовання був виготовлений накатник із фасонними зубозаокруглюючими впадинами із сталі. Формування фасонної впадини здійснювалось пальцевою фрезою. На спеціальному пристосуванні, створеному на базі токарного верстата, було здійснено формування торцевої зубозаокругленої поверхні зубців виготовленим накатником на бронзових зразках. Результати досліджень показали задовільну якість утворення торцевої поверхні зубців зразків.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: НАКАТУВАННЯ, ЗУБОЗАОКРУГЛЮЮЧИЙ НАКАТНИК, ФАСОННА ВПАДИНА, ТОРЦЕВА ПОВЕРХНЯ ЗУБЦЯ ШЕСТЕРНІ, 3D-МОДЕЛЬ ФАСОННОЇ ВПАДИНИ, 3D-МОДЕЛЬ ТОРЦЕВОЇ ПОВЕРХНІ ЗУБЦЯ, БРОНЗОВИЙ ЗРАЗОК ШЕСТЕРНІ.

ABSTRACT

Andrii Duleba, Yurii Sopotsko, Nadiia Duleba. 3D modeling of the tooth-rounding depressions of the roller for forming the end surfaces of the teeth of the gears of vehicles by rolling. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article theoretically substantiates and practically confirms the possibility of forming the end surfaces of gear teeth by rolling with a tooth-rounding roller. In the AutoCad program, the engagement of the rolled-in blanks of the knurl and the gear with the rounded end surfaces of the teeth was modeled. As a result, shaped depressions of the tooth-rounding knurl were formed, which allow forming the rounded end surfaces of the teeth by rolling. Samples of fragments of the tooth-rounding depression of the knurl and the end surface of the gear tooth were printed on a 3d printer. The obtained samples were fixed on a special rotary device to check the possibility of engagement of the shaped recess of the knurled wheel with the end surface of the gear tooth. When the samples were rolled, the model of the end surface of the tooth clearly entered and exited the model of the shaped cavity. This confirmed the inverse possibility of forming the end surface of the teeth with a modeled shaped depression.

Based on the modeling results, a knurling tool with shaped tooth-rounding depressions made of steel was manufactured. The shaped depression was formed with a finger mill. On a special device, created on the basis of a lathe, the formation of the tooth-rounded end surface of the teeth was carried out using a knurling tool on bronze samples. The results of the research showed the satisfactory quality of the formation of the end surface of the teeth of the samples.

KEY WORDS: ROLLING, TOOTH ROUNDING KNUCKLE, SHAPED POCKET, END SURFACE OF GEAR TEETH, 3D MODEL OF SHAPED POCKET, 3D MODEL OF TOOTH END SURFACE, BRONZE SPECIMEN OF GEAR.

АВТОРИ:

Дулеба Андрій Дмитрович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: a.d.duleba@gmail.com, тел. (044)2809805, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к.104а, orcid.org / 0000-0001-6333-1737

Сопощко Юрій Олександрович, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: yuriysopotsko@gmail.com, тел. (044)2809805, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к.102, orcid.org/0000-0002-0458-7844

Дулеба Надія Вікторівна, кандидат економічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри економіки, e-mail: N.V.Duleba@gmail.com, тел. (044)2803016, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к.313, orcid.org/0000-0002-3881-2413

AUTHOR:

Duleba Andrei D., associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: a.d.duleba@gmail.com, tel. (044)2809805, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovich Pavlenko str. 1, of. 104a, orcid.org / 0000-0001-6333-1737.

Sopotsko Yury O., National Transport University, senior lecturer of the department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: yuriysopotsko@gmail.com, tel. (044)2809805, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovich-Pavlenko str., 1, of. 102, orcid.org/0000-0002-0458-7844

Duleba Nadiya V., associate professor, National Transport University, associate professor of the Department of Economics, e-mail: N.V.Duleba@gmail.com, tel. (044)2803016, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovich-Pavlenko str., 1, of. 313, orcid.org/0000-0002-3881-2413

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Лісовал А.А., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри двигунів і теплотехніки, Київ, Україна.

Калініченко В.І., кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України, Київ, Україна.

REVIEWER:

Lisoval A. A., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Professor of the Department of engines and heat engineering, Kyiv, Ukraine.

Kalinichenko V.I., candidate of technical sciences, Senior Research Fellow, G.S. Pisarenko Institute for Problems of Strength National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

РОЗРОБКА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ВАРІАНТІВ СТРАТЕГІЧНИХ РІШЕНЬ У ПУБЛІЧНІЙ СФЕРІ ЗА ІННОВАЦІЙНОЮ МЕТОДИКОЮ

Коваленко О.Л., Національний транспортний університет, Київ, Україна, akconua@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6085-7781

DEVELOPMENT OF ALTERNATIVE OPTIONS OF STRATEGIC DECISIONS IN THE PUBLIC SPHERE ACCORDING TO THE INNOVATION METHODOLOGY

Kovalenko O.L., National Transport University, Kyiv, Ukraine, akconua@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6085-7781

Постановка проблеми

Проблематика та особливості механізму розробки основних етапів стратегічних рішень в розвитку демократичного суспільства є досить актуальною на сучасному етапі. Участь громадян у процесах прийняття рішень дозволяє налагодити соціальний діалог із найважливіших питань. Місцеве самоврядування є найближчим до громадян рівнем, і така близькість обов'язково передбачає або має обов'язково передбачати підвищення рівня участі громадян у вирішенні місцевих справ. На практиці в українському законодавстві часто закладені складні та негнучкі методи та процедури, що знеохочують громадян брати активну участь у процесі прийняття рішень на місцевому рівні. Іншим важливим викликом на рівні місцевої влади є низький рівень довіри людей до публічних службовців та обраних представників.

Отже, потреба у запровадженні інноваційних механізмів взаємодії держави і громади, а також суспільства в цілому, є актуальною і дає змогу посилити взаємну відповідальність усіх учасників суспільного життя, створити умови для подальшого соціально-економічного розвитку держави та суспільства [2].

Сучасні методики розробки альтернативних варіантів стратегічних управлінських рішень мають суттєвий вплив на розвиток менеджменту в цілому та на сферу прийняття управлінських рішень. А для того щоб ефективно функціонувала будь-яка організаційна структура, а саме досягалися поставлені цілі, мають прийматися виважені, оптимальні, раціональні управлінські рішення.

Це призводить до необхідності дослідження управлінських процесів під час прийняття управлінських рішень, які виникають під час прийняття альтернативних варіантів стратегічних рішень публічної сфери. Виходячи з цього, необхідний дієвий інструментарій для напрацювання, аналізу та прогнозування варіантів рішень в процесі їх прийняття.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Особливий внесок у теорію прийняття управлінських рішень, та дослідження питань прийняття якісних управлінських рішень на різних рівнях управління внесли такі вітчизняні й закордонні вчені, як: П. Анохін, В. Бакуменко, В. Василенко, Р. Вокюн, А. Воронкова, І. Гевко, Д. Дерлоу, Н. Калюжна, Ю. Козелецький, В. Колпаков, О. Кондрашов, Й. Кхол, Н. Мала, Ю. Маляревський, О. Ніпіаліді, Ю. Пертруня, Ю. Погорелова, І. Сіменко, Е. Смірнов, В. Теліна, Ю. Тихомиров, Р. Фатхутдинов, С. Цюцюра та багато інших. Серед них доцільно виділити наукові нароби Г. Саймона, І. Ансоффа, В. Василенка, В. Герасимчука, Р. Гріфіна, А. Загороднього, Є. Крикавського, М. Мескона, Г. Осовської, В. Отенка, М. Портера, В. Пономаренко, А. Томпсона, Ф. Хедоурі, Н. Чухрай, А. Шегди, В. Юкаєвої та ін. Питанням забезпечення якості прийняття управлінських рішень присвячені роботи таких вчених як: В. Андрійчук, В. Геловани, Р. Лепа та багато інших дослідників.

Однак, проблема розробки і реалізації альтернативних варіантів стратегічних рішень в системі публічного управління і публічного адміністрування, передбачає поглибленого аналізу методик розробки альтернативних варіантів стратегічних управлінських рішень та систематизацію факторів впливу.

Мета статті – виступає вивчення проблематики та методологічних основ формування інноваційної методики розробки, прийняття та реалізації управлінських рішень публічної сфери. До основних завдань варто віднести наступні: вивчення методик розробки, прийняття та реалізації

управлінських рішень сучасними світовими школами менеджменту, визначення особливостей вітчизняних підходів до визначення алгоритму розробки інноваційної методики прийняття управлінських рішень; проаналізувати приклади її застосування під час прийняття рішень в публічній сфері.

Виклад основного матеріалу.

При прийнятті управлінських рішень та прогнозуванні можливих результатів особа, яка приймає рішення, зазвичай стикається зі складною системою взаємозалежних компонент (ресурси, бажані результати або цілі, особи або група осіб тощо), яку потрібно проаналізувати. Мабуть, чим глибше людина вникає в цю складність, тим краще будуть його прогнози або прийняті рішення [1].

Розглянемо підходи до алгоритму розробки, прийняття та реалізації управлінських рішень, які застосовуються сучасними світовими школами управління, а саме американською, європейською, японською, російською та вітчизняною школами менеджменту. Переважна більшість сучасних науковців пропонують приблизно однаковий набір умовно обов'язкових елементів, які входять до алгоритму прийняття управлінського рішення (рис. 1).

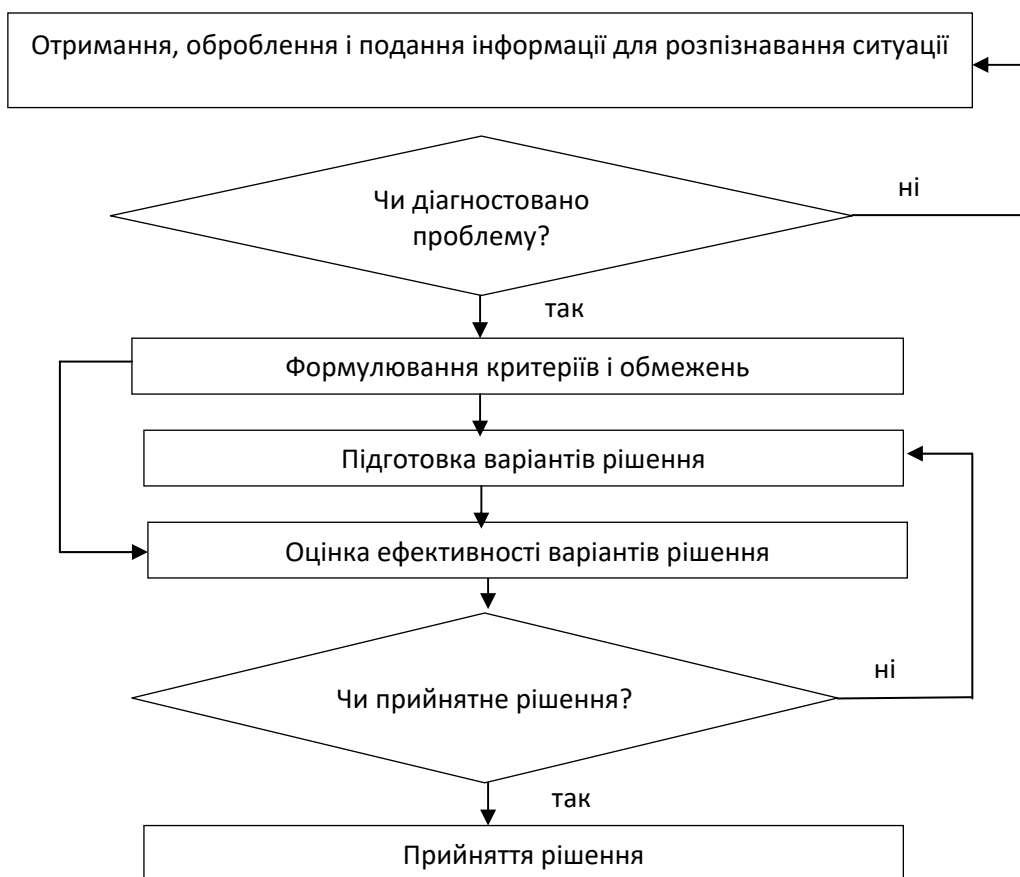


Рисунок 1 – Алгоритм розробки основних етапів управлінських рішень [1]
Figure 1– Algorithm for the development of the main stages of management decisions

Проаналізуємо відмінність алгоритму розробки основних етапів управлінських рішень між різними загальноновизнаними світовими школами менеджменту. Американський підхід наголошує на комплексному виборі та аналізі всіх існуючих альтернатив, необхідних для вирішення задачі або досягненні стратегічних цілей. Тобто управлінський персонал має хвилювати не тільки сам факт прийняття управлінського рішення, а також все, що пов'язано з ним та ефект на виході після реалізації управлінського рішення [1, с. 184].

Європейська школа управління дещо відрізняється процедурою прийняття управлінського рішення, зокрема в частині планування та способу контролю самого процесу організації та реалізації управлінського рішення. Схожість американської та європейської моделі обумовлена тим, що обидві мають потребу в науковому, раціональному обґрунтуванні рішень, що приймаються. [2].

Основною відмінністю від світових шкіл менеджменту японської філософії, в частині прийняття управлінських рішень, є слідування колективному способу пошуку альтернативного варіанту прийняття управлінського рішення. Основоположним фактором для підприємства стає

якість здібностей менеджера, який вносить свій вклад в межах своїх здібностей та компетентностей в реалізацію загальних цілей [3, с. 131-132].

Українська школа управління (Бакуменко В., Найдюк С.) перед вибором альтернативи розглядає необхідність розширення елементного ряду.

Отже процес прийняття стратегічних рішень вимагає логічного та впорядкованого підходу, оскільки приймаються рішення, які пов'язані з певними зобов'язаннями і необхідністю втілення їх у життя. Альтернативність управлінських рішень може мати різну форму:

- Стандартне рішення, при прийнятті якого існує фіксований набір альтернатив;
- Бінарне рішення в якому представлені дві діаметрально протилежні альтернативи;
- Багатозначне альтернативне рішення (існує дуже широкий, а іноді необмежений, принаймні теоретично, вибір альтернатив);
- Інноваційне (новаторське) рішення, коли потрібно діяти, але прийнятних альтернатив немає.

Отже, у менеджерів, які приймають стратегічні рішення лежить пошук альтернатив, які б з одного боку враховували всі вимоги до правильності рішення, а з іншого відповідали певній кількості критеріїв притаманних стратегічним рішенням та вибору найпріоритетних напрямків досліджень, які забезпечать громадськість потрібними умовами на тривалий час, а також найоптимальніший шлях реалізації прийнятих рішень. Метою системного підходу до прийняття стратегічних рішень є підвищення ступеня об'єктивності і забезпечення врахування всіх важливих даних у комплексі.

Тобто з усіх доступних альтернатив необхідно вибрати рішення, яке дозволить досягнути певної стратегічної мети найкоротшим шляхом, тобто з найбільшими вигодами і найменшими витратами в короткі терміни. Одним із методів прийняття рішень є застосовування інноваційної методики CivicLab. методика CivicLab забезпечує реальне дотримання і практичне виконання керівних принципів участі громадян (різного віку та статі, людей з інвалідністю, соціально незахищених, вразливих та маргіналізованих груп тощо) у процесі розробки та прийняття ефективних політичних рішень законодавчою владою, органами місцевого самоврядування, центральними та місцевими органами виконавчої влади задля того, щоб їх думка була врахована, а голос почутий з дотриманням принципів гендерної рівності та недискримінаційності.

Якщо причинно-наслідковий аналіз є дедуктивним процесом, який змушує менеджера чи аналітика збирати дані, а потім «фільтрувати» їх шляхом критичного виключення, то процес прийняття стратегічних управлінських рішень за допомогою методики CivicLab надає методику та покрокові алгоритми, що дозволяє всім, хто ним користується, адаптувати набір інструментів відповідно до потреб зацікавлених сторін в процесі прийняття рішень враховуючи національний контекст.

Інструментарій CivicLab, що побудований безпосередньо на парадигмі URSO Ради Європи, стане корисним помічником для центральних, місцевих органів влади та неурядових організацій з метою посилення участі громадськості у процесах прийняття рішень як на місцевому і регіональному, так і на національному рівнях.

Інструментарій CivicLab пропонує інноваційну методику оцінки потреб та відбору учасників на захід за критеріями, цифрову компоненту (включно із набором матриць) напрацювання, аналізу та прогнозування варіантів рішень, що може бути застосована як в офлайн, так і в онлайн форматі та адаптована до потреб певної аудиторії та відповідної тематики заходу. Інструментарій містить стандарти Ради Європи щодо громадської участі у процесі прийняття рішень та на успішних прикладах демонструє їх імплементацію завдяки використанню методики під час розробки національних стратегій розвитку, пропозицій до планів заходів, нормативних документів, місцевих програм, проєктів законів тощо, а також приклади належної практики участі громадськості, зокрема молоді та вразливих та маргіналізованих верств населення, у процесах прийняття рішень.

Методологія CivicLab і набір інструментарію (рис. 2.), що пропонується до використання, є прикладним і таким, що забезпечує практичну реалізацію:

- всіх принципів громадської участі: чіткість процедури, простота, зручність для участі громадян/ок, достатній час, публічність, відкритість, відповідні ресурси, підзвітність, відповідальність;
- легітимність рішень органів влади;
- дотримання 12 принципів відкритого та доброго врядування.

Для досягнення мети і виконання завдань, методика CivicLab використовує набір інструментарію із чотирьох прикладних компонентів.

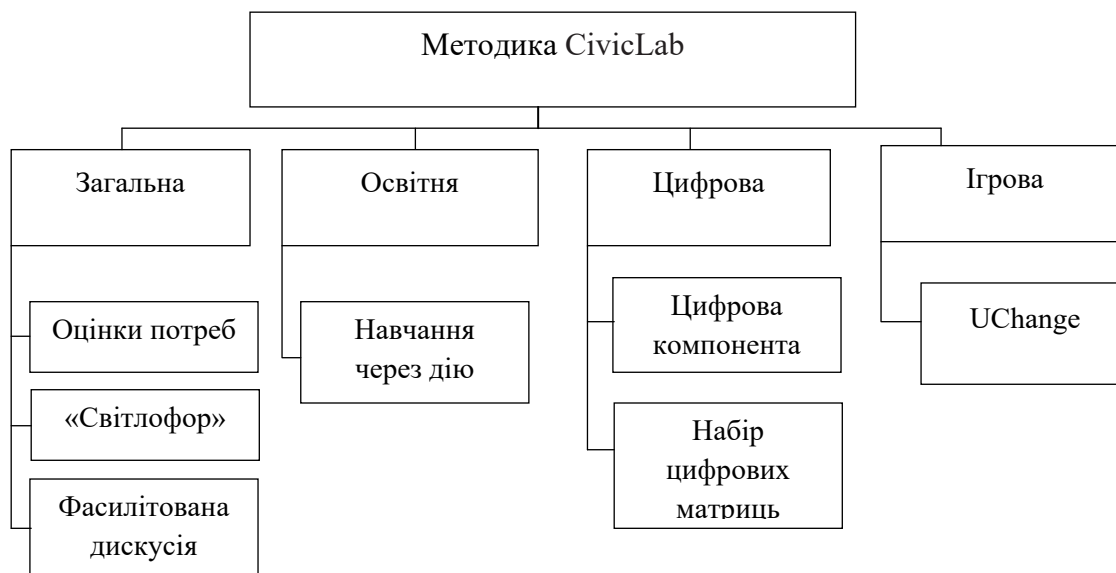


Рисунок 2 – Методологія CivicLab і набір інструментарію [4]
Figure 2 – CivicLab methodology and tools

Загальна компонента, що використовується задля підвищення ефективності процесу консультацій та отримання достовірного результату за рахунок якісного цільового відбору учасників і включає наступні елементи: якісну оцінку потреб та очікувань аудиторії, методику відбору учасників процесу консультацій відповідно до критеріїв, методику організації фасилітаційної дискусії в групах, методику «Світлофор» – розподіл учасників/ць процесу консультацій на групи з урахуванням їх приналежності до однієї з цільових аудиторій.

Освітня компонента – новий методичний підхід до освіти, що використовує принцип «навчання через дію» завдяки якому учасники/ці на реальних прикладах кращих успішних практик опановують теорію та закріплюють її практичними вправами.

Цифрова компонента – інструмент напрацювання якісних пропозицій, аналізу та прогнозування результатів рішень під час проведення консультацій.

Ігрова компонента (гра UChange), дозволяє провести гейміфікацію будь-якого освітнього та консультативного процесу, доповнивши його практичною частиною по напрацюванню пропозицій, тим самим максимально зробивши його дружнім та адаптованим до потреб учасників/ць незалежно від їх віку, рівня знань, практичних навичок та компетенцій.

Методика CivicLab дозволяє комбінувати цифрову компоненту з освітньою та ігровою в різних варіантах з метою підвищення ефективності та результативності як процесу прийняття рішень, так і участі громадськості у ньому. Це дозволяє напрацювати більш якісні рішення в різних форматах (онлайн, офлайн та змішана форма (одні працюють онлайн, інші офлайн)) та варіантах роботи (індивідуальна чи групова) із збереженням активності та мотивації учасників/ць впродовж всього терміну роботи.

Приклад успішного застосування Методики CivicLab: під час розробки екологічної стратегії м.Києва. Організаторами виступали: Управління екології КМДА, КМР [5].

Результат: напрацьовано пропозиції до екологічної стратегії за шістьма напрямками, пропозиції враховано експертами. Всього було створено 5 груп і проведено 9 заходів, тривалістю 2,5 години/захід. Кількість людей за весь час «Розробки екологічної стратегії м.Києва» – 360 осіб.

Результат пошуку рішень представлено на рис.3.

Ефективність методології CivicLab зростає, якщо вони реалізують принципи громадської участі. Також суттєвою перевагою інструментарію є те, що він дозволяє збирати пропозиції в належний спосіб, що підвищує їх якість та шанси бути врахованими під час розробки та прийняття якісних та ефективних рішень

Отже, методика CivicLab забезпечує реальне дотримання і практичне виконання керівних принципів участі громадян у процесі розробки та прийняття ефективних рішень в публічній сфері.

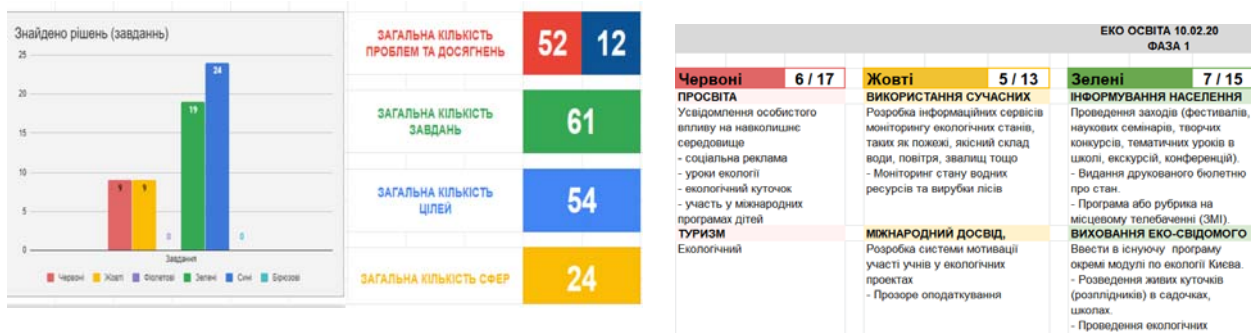


Рисунок 3 – Фрагмент результату цифрової компоненти методології CivicLab під час розробки екологічної стратегії м.Києва [12]
Figure 3 – A fragment of the result of the digital component of the CivicLab methodology during the development of the environmental strategy of the city of Kyiv

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мескон М., Альбер М., Хедоурі Ф. Основы менеджмента. 3-е издание: Пер.с англ. – М.: ООО "И. Д. Вильямс", – 2006. – 672 с
2. Гулюк Н. В. Сравнительный анализ моделей менеджмента: изменение ценностей сотрудников с личностных на корпоративные // Бизнес-образование в экономике знаний. – 2016. – №3 (5). – С. 10-12
3. Мацусита К. Миссия бизнеса / Коносуке Мацусита; Пер. с англ. – М.: Альпина Паблишера, – 2010.- 193 с.
4. CivicLab. Інструментарій для напрацювання, аналізу та прогнозування варіантів рішень в процесі їх прийняття – 2020 – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://rm.coe.int/coe-toolkit-civiclabb-ukr/1680a0a747>
5. Інструментарій залучення громадян до процесу прийняття рішень. – Institut.e of International Sociology of Gorizia – 2020 – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://rm.coe.int/civil-participation-in decision-making-toolkit-/168075c1a5>
6. URSO – Інструментарій для моніторингу та оцінки навчальних програм для професійного розвитку місцевого самоврядування. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.coe.int/web/good-governance/urso>
7. 12 принципів доброго демократичного врядування. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.coe.int/en/web/good-governance/12- principles>
8. ELoGE – European Label of Governance Excellence. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://wcd.coe.int/ViewDoc.jsp?p=&id=2405655&Site=&BackColorInternet=B9BDEE&BackColorIntranet=FFCD4F &BackColorLogged=FFC679>
9. Результат методології CivicLab під час розробки екологічної стратегії м. Києва. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://bit.ly/3fPawWy> –

REFERENCES

1. Meskon M., Alber M., Khedouri F. (2006). Osnovy menedzhmenta. 3-e yzdaneye: Per.s anhl. – М.: ООО "Y. D. Vyliams", 672 p
2. Huliuk N. V. (2016) Sravnytelnyi analiz modelei menedzhmenta: yzmenenye tsennostei sotrudnykov s lychnostnykh na korporatyvnye // Byznes-obrazovanye v ekonomyke znanyi. №3 (5). – p. 10-12
3. Matsusyta K. Myssyia byznessa / Konosuke Matsusyta; Per. s anhl. – М.: Alpyna Pablyshera, – 2010.- 193 s.
4. CivicLab. Instrumentarii dlia napratsiuvannia, analizu ta prohnozuvannia variantiv rishen v protsesi yikh pryiniattia (2020). [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://rm.coe.int/coe-toolkit-civiclabb-ukr/1680a0a747>
5. Instrumentarii zaluchennia hromadian do protsesu pryiniattia rishen. – Institut.e of International Sociology of Gorizia. (2020). [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <http://rm.coe.int/civil-participation-in decision-making-toolkit-/168075c1a5>

6. URSO – Instrumentarii dlia monitorynhu ta otsinky navchalnykh prohran dlia profesiinoho rozvytku mistsevoho samovriaduvannia. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <http://www.coe.int/web/good-governance/urso>
7. 12 pryntsypiv dobroho demokratychnoho vriaduvannia. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://www.coe.int/en/web/good-governance/12-principles>
8. ELoGE – European Label of Governance Excellence. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://wcd.coe.int/ViewDoc.jsp?p=&id=2405655&Site=&BackColorInternet=B9BDEE&BackColorIntranet=FFCD4F&BackColorLogged=FFC679>
9. Rezultat metodolohii CivicLab pid chas rozrobky ekolohichnoi stratehii m. Kyieva. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://bit.ly/3fPawWy> -

РЕФЕРАТ

Коваленко О.Л. Розробка альтернативних варіантів стратегічних рішень у публічній сфері за інноваційною методикою / О.Л. Коваленко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

У демократичній державі громадянське суспільство, через свої інститути, активно впливає на вироблення владними інституціями політики, контролює їх публічну діяльність спрямовану на реалізацію виробленої політики, фактично спонукаючи чиновників служити інтересам людей. Це призводить до необхідності дослідження управлінських процесів під час прийняття управлінських рішень, які виникають під час прийняття альтернативних варіантів стратегічних рішень публічної сфери. Виходячи з цього, необхідний дієвий інструментарій для напрацювання, аналізу та прогнозування варіантів рішень в процесі їх прийняття.

Інструментарій, що побудований безпосередньо на парадигмі URSO Ради Європи, стане корисним помічником для центральних, місцевих органів влади та неурядових організацій з метою посилення участі громадськості у процесах прийняття рішень як на місцевому і регіональному, так і на національному рівнях.

Він пропонує інноваційну методику оцінки потреб та відбору учасників на захід за критеріями, цифрову компоненту (включно із набором матриць) напрацювання, аналізу та прогнозування варіантів рішень, що може бути застосована як в офлайн, так і в онлайн форматі та адаптована до потреб певної аудиторії та відповідної тематики заходу. Інструментарій містить стандарти Ради Європи щодо громадської участі у процесі прийняття рішень та на успішних прикладах демонструє їх імплементацію завдяки використанню методики під час розробки національних стратегій розвитку, пропозицій до планів заходів, нормативних документів, місцевих програм, проєктів законів тощо, а також приклади належної практики участі громадськості, зокрема молоді та вразливих та маргіналізованих верств населення, у процесах прийняття рішень.

Мета статті – виступає вивчення проблематики та методологічних основ формування інноваційної методики розробки, прийняття та реалізації управлінських рішень публічної сфери. До основних завдань варто віднести наступні: вивчення методик розробки, прийняття та реалізації управлінських рішень сучасними світовими школами менеджменту, визначення особливостей вітчизняних підходів до визначення алгоритму розробки інноваційної методики прийняття управлінських рішень; проаналізувати приклади її застосування під час прийняття рішень в публічній сфері

Отже, завдяки впровадженню методики CivicLab, на заміну формальних рішень (в класичному їх розумінні) приходять ефективні стратегічні рішення, що дозволяють досягти чіткого, конкретного та вимірюваного результату. Це забезпечує ефективну реалізацію публічної політики на національному, регіональному та місцевому рівнях задля сталого розвитку самоврядної громади

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: СТРАТЕГІЧНЕ УПРАВЛІННЯ, УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ, АЛЬТЕРНАТИВНІ РІШЕННЯ, ПРИЙНЯТТЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ, ПУБЛІЧНА СФЕРА

ABSTRACT

Kovalenko O.L. Development of alternative options of strategic decisions in the public sphere according to the innovation methodology. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

In a democratic state, civil society, through its institutions, actively influences the development of policies by government institutions, controls their public activities aimed at the implementation of the developed policies, actually encouraging officials to serve the interests of the people. This leads to the need to study management processes during management decision-making, which arise during the adoption of alternative options for strategic decisions in the public sphere. Based on this, an effective toolkit is needed for development, analysis and forecasting of decision options in the process of their adoption.

The toolkit, built directly on the URSO paradigm of the Council of Europe, will be a useful assistant for central, local authorities and non-governmental organizations in order to strengthen public participation in decision-making processes both at the local and regional and national levels.

It offers an innovative method of assessing needs and selecting participants for the event according to criteria, a digital component (including a set of matrices) of development, analysis and forecasting of decision options, which can be applied both offline and online and adapted to the needs of a certain audience and of the relevant theme of the event. The toolkit contains the standards of the Council of Europe on public participation in the decision-making process and demonstrates their implementation through successful examples through the use of the methodology during the development of national development strategies, proposals for action plans, regulatory documents, local programs, draft laws, etc., as well as examples of good participation practices public, in particular youth and vulnerable and marginalized sections of the population, in decision-making processes.

The purpose of the article is to study the problems and methodological foundations of the formation of innovative methods of development, adoption and implementation of management decisions in the public sphere. The main tasks should include the following: study of the methods of development, adoption and implementation of management decisions by modern world schools of management, determination of the peculiarities of domestic approaches to the definition of the algorithm for the development of innovative management decision-making techniques; analyze examples of its application during decision-making in the public sphere

Therefore, thanks to the implementation of the CivicLab methodology, formal decisions (in their classical sense) are replaced by effective strategic decisions that allow to achieve a clear, concrete and measurable result. This ensures the effective implementation of public policy at the national, regional and local levels for the sustainable development of the self-governing community

KEY WORDS: STRATEGIC MANAGEMENT, PROJECT MANAGEMENT, ALTERNATIVE SOLUTIONS, PROJECT DECISION MAKING, PUBLIC SPHERE

АВТОРИ:

Коваленко Олексій Лелевич, аспірант кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний транспортний університет, 04107, Україна, м.Київ, вул.Нагірна, б.12, кв.80, тел: +380505839373.

AUTHOR:

Oleksii Lelevych Kovalenko, PhD student, National Transport University, Kyiv, 04107, Ukraine, Nagirna Street, b.12, apartment 80, phone: +380505839373.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Дудюк В.С., доц. к.е.н., Доцент кафедри економіки та менеджменту, Львівського державного університету фізичної культури ім. Л. Боберського

Хрутьба В. О., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедра екології та технологій захисту навколишнього середовища.

REVIEWERS:

V. S. Dudyuk, Assoc. Doctor of Economics, Associate Professor of the Department of Economics and Management, Lviv State University of Physical Culture named after L Bobersky

V. O. Khrutba, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of Ecology and Environmental Protection Technologies.

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИКОРИСТАННЯ ДИЗЕЛЬНОГО БІОПАЛИВА З УТИЛІЗОВАНИХ ВІДХОДІВ ПРОДОВОЛЬЧИХ ЖИРІВ

Ковбасенко С.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, s-kov@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7309-8200

Бугрик О.В., кандидат технічних наук, Державне підприємство «Державний автотранспортний науково-дослідний та проектний інститут», Київ, Україна, bugrik_a@i.ua, orcid.org/0000-0003-4581-3294

Сімоненко В.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, v.simonenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0002-7556-069X

Мороз В.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, frostvaliko@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3000-4961

DETERMINATION OF RATIONAL PARAMETERS OF DIESEL USE BIOFUELS FROM DISPOSED WASTE OF FOOD FATS

Kovbasenko S.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, s-kov@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7309-8200

Buhryk O.V., Ph.D., State Enterprise "State Motor Transport Research and Design Institute", Kyiv, Ukraine, bugrik_a@i.ua, <https://orcid.org/0000-0003-4581-3294>

Simonenko V.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, v.simonenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0002-7556-069X

Moroz V.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, frostvaliko@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3000-4961

Вступ. Кількість автомобільних транспортних засобів з дизелями у світі постійно зростає, однак, незважаючи на очевидні переваги, використання автотранспортних засобів з дизелями пов'язане з певними недоліками, а саме: споживанням палив нафтового походження, запаси яких обмежені, та забрудненням навколишнього середовища шкідливими викидами. За даними BP Statistical Review of World Energy нинішнє глобальне співвідношення споживання до видобування показує, що запасів нафти вистачить приблизно на 50 років [1]. Значне споживання палив нафтового походження призводить до зменшення запасів нафти у світі та до інших негативних природних наслідків. Тому виникла необхідність у здійсненні пошуку альтернативних джерел енергії та в реформуванні паливно-енергетичного комплексу. Усвідомлюючи проблеми, які постійно супроводжують використання автомобільного транспорту, значно активізувалися науково-дослідні роботи у сфері використання альтернативних, більш екологічно чистих, моторних палив на автомобільному транспорті, а також розробляються нові програми щодо розширення використання альтернативних видів палив, до яких належать біопалива, природний газ, водень тощо [2]. В той же час широко піднімаються питання щодо зменшення викидів, що утворюються в результаті діяльності автомобільного транспорту, тому проблема екологічної безпеки стає більш гострою [3]. Одним зі шляхів підвищення екологічної безпеки автотранспортних засобів з дизелями є повне або часткове заміщення дизельного палива альтернативними паливами. Також слід врахувати, що автотранспортні засоби з дизелями є досить привабливими в плані споживання альтернативних моторних палив.

Одним з перспективних напрямів розширення паливної бази автотранспортних засобів з дизелями є використання олій різних культур для виробництва дизельного біопалива. Україна має необхідну сировинну базу для виробництва дизельного біопалива завдяки вирощуванню різноманітних олійних культур як: соняшник, ріпак, соя, коноплі тощо. Враховуючи сприятливі аграрні умови в Україні та особливості процесу виробництва дизельного біопалива, найчастіше виробляють та використовують метилові ефіри ріпакової олії (МЕРО). В Україні виробництво ріпаку складає близько 3,5 млн. т на рік [4], однак переважна кількість його експортується за межі держави.

Відомо, що складниками МЕРО є суміші метилових ефірів жирних кислот, що їх виробляють із рослинних олій та тваринних жирів. Тому, окрім цілеспрямованого вирощування технічних культур для отримання сировини з метою подальшого виробництва біопалива, можливим способом розширення сировинної бази дизельного біопалива варто розглядати раціональну утилізацію

(повторне використання) відходів виробництв, побутових відходів тощо. Адже за сучасних умов значного зростання об'єктів харчової промисловості виникає потреба в утилізації продуктів харчування, а саме продовольчих жирів, які створюють негативний вплив на навколишнє середовище. За інформацією з деяких джерел кількість відходів за добу може складати від декількох кілограмів до десятків тон. Цей напрям може бути навіть більш привабливим завдяки підвищенню енергетичної ефективності використання дизельного біопалива, зниженню забрудненню довкілля, розширенню сировинної бази для виробництва моторних палив, а також зменшенню собівартості виготовлення дизельного біопалива.

Повторне використання олій рослинних культур та жирів, які повністю виконали свої продовольчі функції, може підвищити рентабельність виробництва дизельного біопалива та вирішити проблему подальшої утилізації відходів виробництв. Тому альтернативною сировиною для виробництва дизельного біопалива можуть бути, наприклад, технічний курячий жир (ТКЖ), отриманий з жиромістких відходів птахопереробних підприємств (ЖВПП) [5-6]. Вартість такої сировини для виготовлення дизельного біопалива втричі нижча у порівнянні з оліями рослинного походження. ТКЖ добувають з пір'я, крові, субпродуктів, м'ясо-жирових відходів, що за лишаються після розділення тушок і виробництва м'ясо-кісткового борошна [7-8].

Сировиною для виробництва метилових і етилових ефірів жирних кислот можуть бути рослинні олії, тваринний і пташиний жир, сало, жовтий жир і побічні продукти риболовецької галузі. Основним компонентом олій та жирів є тригліцериди, які складають близько 90-98% від загальної маси сировини [4]. Схему переробки відходів птахопереробних підприємств у біопаливо наведено на рис. 1.

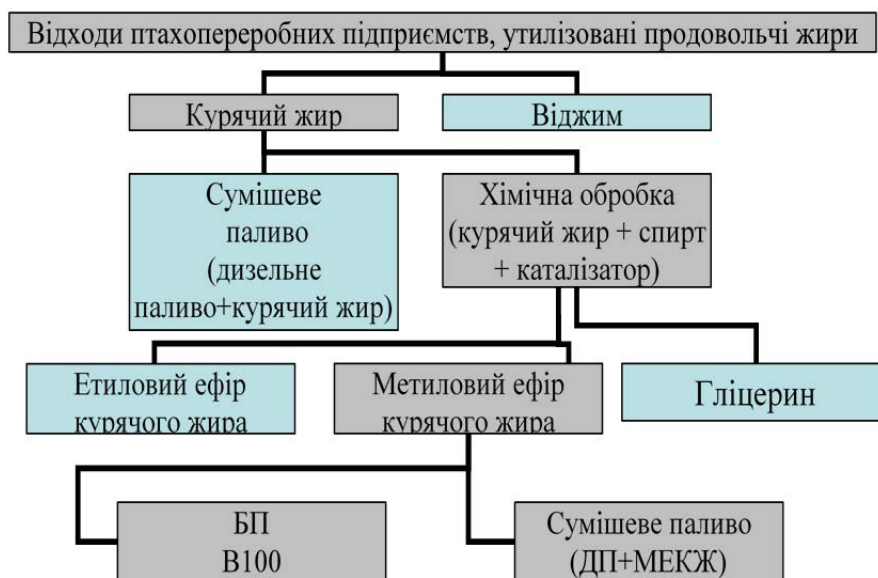


Рисунок 1 – Схема переробки відходів птахопереробних підприємств у біопаливо
Figure 1 – Scheme of processing waste from poultry processing enterprises into biofuel

Застосування дизельного біопалива з утилізованих відходів продовольчих жирів не вимагає значних змін в конструкції двигуна, разом з тим, дозволить розширити паливну базу дизелів транспортних засобів та знизити їх шкідливий вплив на довкілля..

Мета роботи – визначення раціональних параметрів використання дизельного біопалива з утилізованих відходів продовольчих жирів, зокрема, впливу складу суміші та температури палива на показники автомобільних транспортних засобів з дизелями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Жирні кислоти, які є основним компонентом тваринних жирів, представляють собою високомолекулярні кисневімісні сполуки з вуглеводневою основою. Тому всі тваринні жири можна використовувати як моторне паливо. Низька випаровуваність та висока в'язкість тваринних жирів робить проблематичним їх використання в

двигунах з іскровим запалюванням, але їх можна успішно застосовувати як моторні палива для дизелів.

В Україні впроваджено Державні стандарти якості дизельного біопалива. Якість дизельного біопалива регламентується наступними документами: ДСТУ 6081:2009 «Паливо моторне. Ефіри метилові жирних кислот олій і жирів для дизельних двигунів. Технічні умови»; ДСТУ 7178:2010 «Паливо альтернативне. Естери етилові жирних кислот олій та жирів для дизельних двигунів. Технічні вимоги та методи контролювання»; ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне Євро. Технічні умови»; ДСТУ 8695:2016 «Паливо альтернативне для дизельних двигунів. Технічні умови», Технічний регламент щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових і котельних палив передбачають використання метилових або етилових естерів жирних кислот у складі нафтових дизельних палив у кількості до 7 %. Слід відмітити, що основні фізико-хімічні властивості дизельного біопалива відрізняються від властивостей мінерального дизельного палива через різний хімічний склад та будову естерів жирних кислот, що входять до складу дизельного біопалива [9].

Оптимізувати фізико-хімічні властивості можна декількома способами: використанням композитного палива, яке складається із декількох складових, кожна з яких забезпечує оптимізацію фізико-хімічних властивостей дизельного біопалива; застосуванням регульованого підігріву дизельного біопалива; або поєднанням обох цих способів

Для забезпечення необхідних в'язкісно-температурних показників дизельних біопалив були виконані дослідження щодо визначення доцільної температури та раціонального складу суміші.

Програма досліджень передбачала виконання таких завдань:

- визначення в'язкісно-температурних характеристик дизельного палива та сумішевого дизельного біопалива;
- визначення оптимального складу сумішевого дизельного біопалива;
- визначення оптимальної температури сумішевого дизельного біопалива з врахуванням його складу та максимальних температурних значень роботи ПНВТ дизеля за в'язкісно-температурними характеристиками.

Результати моторних випробування двигуна VAG ASV 1.9 Tdi при живленні сумішевими дизельними біопаливами [10], проведені в лабораторії кафедри двигунів і теплотехніки Національного транспортного університету, показали, що звичайне змішування двох палив не забезпечує необхідних фізико-хімічних властивостей та знижує паливну економічність двигуна.

Для оцінювання відносної зміни кінематичної в'язкості штатного та сумішевих дизельних біопалив від температури, проведено дослідження щодо визначення зміни кінематичної в'язкості ν від температури для штатного дизельного палива, метилового ефіру жирних кислот (МЕЖК) і сумішевих палив із його 10, 20 та 30% вмістом. Проведено попередні експериментальні випробування дизельних біопалив, щодо визначення в'язкісно-температурних параметрів. За результатами випробувань визначено, що всі досліджувані зразки сумішевих палив відповідають стандарту ДСТУ 7688:2015.

Визначення раціонального складу сумішевого палива базується на максимально допустимому значенні концентрації МЕЖК у сумішевому паливі і технічних характеристиках паливного насоса високого тиску (ПНВТ), а саме максимальному температурному режимі насоса. Для ПНВТ дизеля VAG 1Z 1.9 Tdi це значення становить близько 60° С. Більші значення температури палива у ПНВТ дизеля призводять до зменшення циклової подачі палива, до утворення парових пробок та погіршують прокачуваність палива в паливній системі автомобіля.

Значення температури дизельного палива в ПНВТ дизеля VAG 1Z 1.9 Tdi знаходиться в межах 40-50° С. З метою максимально замінити дизельне паливо дизельним біопаливом в суміші та за умови рівності при температурі 50° С та додатковому підігріві 10°С доцільним дизельним біопаливом визначено суміш, яка складається з 80% ДП та 20% МЕЖК. Суміш 90% ДП та 10% МЕЖК в меншій кількості замінює дизельне паливо, а суміш 70% ДП та 30% МЕЖК при температурі 50° С та додатковому підігріві 14° С не задовольняла значення максимальної температури роботи ПНВТ 60° С, встановленої заводом-виробником паливного насоса.

Отже, встановлено доцільний склад сумішевого дизельного біопалива, яке базується на максимально допустимому значенні концентрації МЕЖК у сумішевому паливі і технічних характеристиках до ПНВТ. Більші значення температури палива у ПНВТ дизеля призводять до зменшення циклової подачі палива, а також до утворення парових пробок, які погіршують прокачуваність палива в паливній системі автомобіля.

Виклад основного матеріалу. Визначення раціонального складу сумішевого дизельного біопалива та температури його додаткового підігріву. Одним із способів оптимізації фізико-хімічних показників дизельного біопалива є регульований підігрів.

В лабораторії досліджень використання палив та екології Державного підприємства «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут» було проведено дослідження та визначено залежності зміни густини дизельного палива, дизельного біопалива та суміші 80% ДП та 20% МЕЖК (рис. 2).

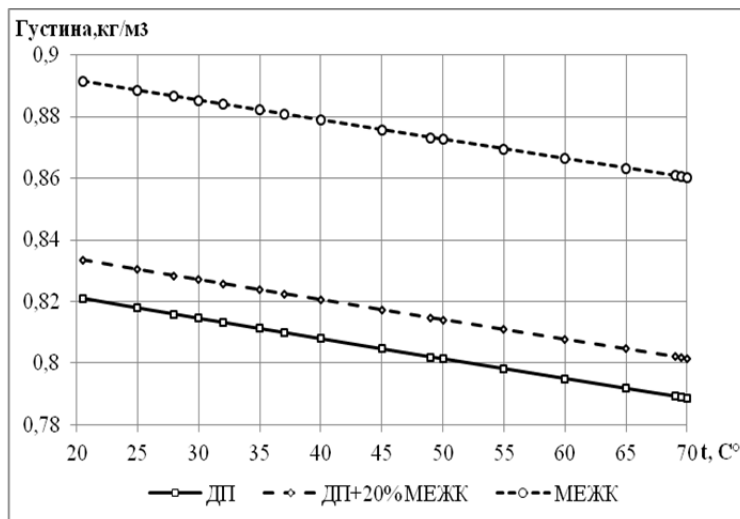


Рисунок 2 – Залежність зміни густини різних палив від температури
Figure 2 – Dependence of the change in density of various fuels on temperature

З рисунка 2 видно, що густина сумішевого дизельного біопалива (80% ДП та 20% МЕЖК) зменшується зі збільшенням температури палива та відповідає значенням густини, встановленим ДСТУ 7688:2015. Тому можна зробити висновок, що отримані результати є основою для вибору сумішевого дизельного біопалива, яке складається з 80% ДП та 20% МЕЖК, за доцільної температури 60° С, необхідної для його підігрівання та з метою наближення кінематичної в'язкості сумішевого дизельного біопалива до рівня показників штатного палива для адаптації палива до ПНВТ дизеля VAG 1Z 1.9 Tdi.

Для визначення впливу в'язкісно-температурних показників штатного дизельного палива і дизельного біопалива на економічні та енергетичні показники двигуна в лабораторіях кафедри двигунів і теплотехніки Національного транспортного університету та ДП «ДержавтотрансНДІпроект» виконувалися стендові випробування та були визначені регульовальні характеристики дизелів за температурою підігріву палива, яке надходить в паливний насос високого тиску (рис. 3).

Як видно з наведеної характеристики, в'язкісно-температурний показник палива суттєво впливає на економічні показники дизеля. Витрата сумішевого дизельного біопалива на 5% більше, ніж штатного дизельного палива.

Температура палива у ПНВТ повинна знаходитись у межах 55 - 60° С, так як ці значення за попередньо проведеними дослідженнями дають найбільший ефект. Тому виникла необхідність у розробці багатопаливної системи живлення з додатково встановленим підігрівачем для забезпечення в'язкісно-температурних характеристик палива.

Для цього було проведено аналіз існуючих підігрівачів палива різних видів, які класифікують за способом джерела теплоти, за способом надходження теплоти та за потужністю теплоносія. Теплоносієм для підігрівача обрано рідину системи охолодження, як найбільш стабільну теплову систему в двигуні. Схему системи живлення багатопаливного двигуна наведено на рис. 4.

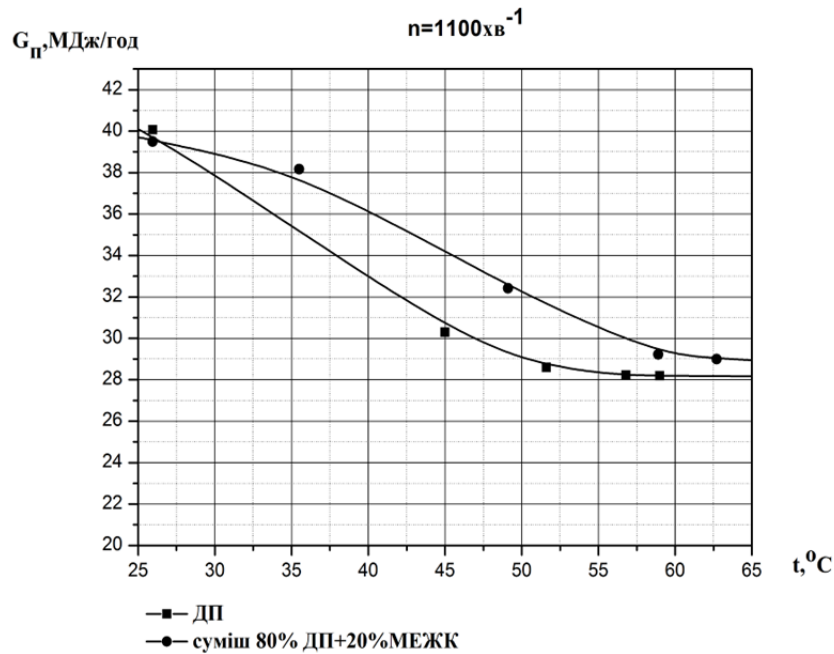


Рисунок 3 – Регульовальна характеристика годинної витрати палива дизеля VAG ASV 1.9TDI за температурою підігріву палива, яке поступає до паливного насоса високого тиску
 Figure 3 – Regulatory characteristic of the hourly fuel consumption of the VAG ASV 1.9TDI diesel according to the temperature of fuel heating, which is supplied to the high-pressure fuel pump

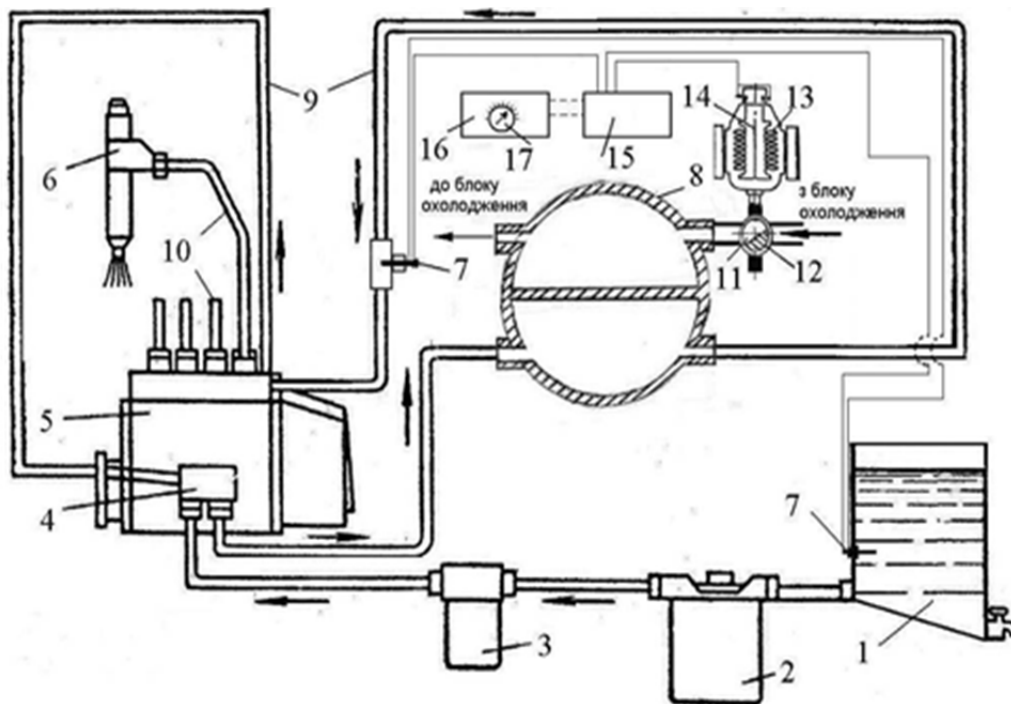


Рисунок 4 – Система живлення багатопаливного двигуна
 Figure 4 – Power system of a multi-fuel engine

Система живлення складається з паливного бака 1, фільтра грубої очистки палива 2, фільтра тонкої очистки палива 3, паливопідкачувального насоса низького тиску 4, паливного насоса високого тиску 5, форсунок 6, датчика температури палива 7, підігрівача палива (теплообмінника) 8, паливопроводів низького 9 та високого 10 тиску, регульованого крана 11, який подає охолоджену рідину в підігрівач 8, та золотника 12, який регулює кількість підігрітої охолодженої рідини,

крокового двигуна 13, вала 14, який жорстко закріплений до золотника 12. Кроковий двигун 13 електрично зв'язаний через підсилювач напруги 15 з електронним блоком 16 регулятора напруги перемикача 17 режимів роботи (в залежності від виду використовуваного палива).

На розроблену систему живлення багатопаливного двигуна з додатково встановленим підігрівачем палива рідинного типу для оптимізації в'язкісно-температурних показників дизельних біопалив отримано патент на винахід «Система живлення багатопаливного двигуна» [11] та патент на корисну модель «Спосіб використання присадки до дизельного палива, сумішей дизельного палива та біодизельного палив [12].

Роботоздатність системи живлення багатопаливного двигуна перевірено та підтверджено експлуатаційними випробуваннями трактора ЮМЗ-6 з дизелем РМ-80 в різних навантажувальних та швидкісних режимах (рис. 5).

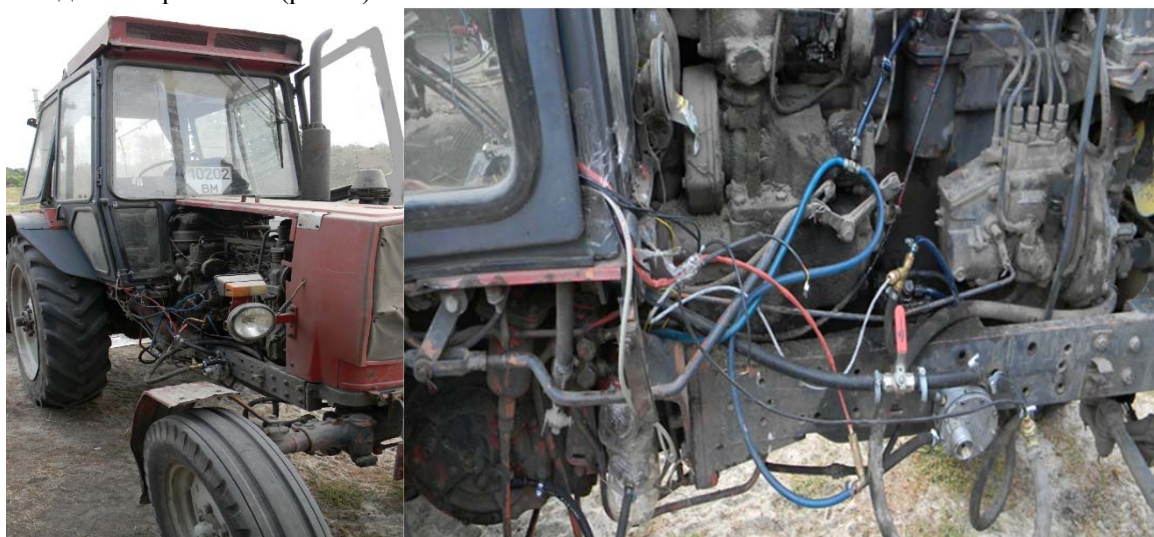


Рисунок 5 – Загальний вигляд трактора ЮМЗ-6 з дизелем РМ-80 та встановленою експериментальною системою живлення багатопаливного двигуна з підігрівачем дизельного біопалива

Figure 5 – General view of the YuMZ-6 tractor with a PM-80 diesel engine and an installed experimental multi-fuel engine power system with a diesel biofuel heater

Висновки. Використання дизелями палив з утилізованих відходів продовольчих жирів має низку переваг: розширює сировинну базу для виробництва моторних палив, запобігає забрудненню довкілля, зменшує собівартість, підвищує енергетичну ефективність біопалив. Основні фізико-хімічні властивості дизельного біопалива можуть відрізнятися від властивостей мінерального дизельного палива, а звичайне змішування двох палив не забезпечує необхідних фізико-хімічних властивостей та знижує паливну економічність дизеля. Для забезпечення необхідних в'язкісно-температурних показників дизельних біопалив були виконані дослідження щодо визначення доцільної температури та раціонального складу суміші. В результаті проведених досліджень визначені раціональні параметри використання дизельного біопалива. Встановлено раціональний склад суміші дизельного біопалива (80% дизельного палива та 20% МЕЖК). Для забезпечення необхідних в'язкісно-температурних показників сумішевого біопалива температура палива у ПНВТ має знаходитись у межах 55 - 60° С. Тому виникла необхідність та була розроблена система живлення дизеля з додатковим підігрівачем палива рідинного типу для забезпечення необхідних в'язкісно-температурних показників дизельних біопалив. Роботоздатність системи живлення багатопаливного двигуна перевірено та підтверджено експлуатаційними випробуваннями.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. BP Statistical Review of World Energy 2019// bp.com [сайт]. [2019]. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>. – 2019.
2. Ковбасенко С.В. Аналіз можливостей підвищення екологічної безпеки транспортних засобів з дизелями застосуванням альтернативних палив // Матеріали X-ої міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14-15 квітня 2022 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки

України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2022. – С. 114-120. ISBN 978-966-641-910-4.

3. Гутаревич Ю. Ф., Зеркалов Д.В. та інші. Екологія та автомобільний транспорт: Навчальний посібник 2-ге вид., перероблене та доповнене. – К.: Арістей, 2008. – 296 с.

4. Агробізнес України, 2020. Доступно: <https://agribusinessinukraine.com/the-infographics-report-ukrainian-agribusiness-2020/>.

5. С.В. Ковбасенко, В.В. Сімоненко, О.В. Бугрик, «Поліпшення показників транспортних засобів використанням дизельних біопалив з рослинної та утилізованої тваринної сировини», Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, № 106, с. 40-45, 2019.

6. О.В. Бугрик, «Перспективи використання біодизельних палив, отримуваних утилізацією відходів харчової промисловості в двигунах колісних транспортних засобів», Вісник НТУ. – №1(37), с.35 – 41, 2017.

7. Г.М. Калетник, Д.М. Токарчук, О.П. Скорук, Організація і економіка використання біоресурсів: підручник: 2-ге видання. – Вінниця: ТОВ «Друк», – 372 с., 2020.

8. М. М. Муштрук Ю.Г. Сухенко, «Перспективи виробництва дизельного біопалива з технічних тваринних жирів в Україні», Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України, № 62(ч. 2), с. 315-318, 2011.

9. Матвеева І. В., Яковлева А.В., Зубенко С.О., Гудзь А.В. Перспективи розширення сировинної бази для виробництва біодизельного палива в Україні. Наукоємні технології. 2019. № 1(41). С. 69– 76.

10. Павловський М.В. Поліпшення паливної економічності та екологічних показників дизеля при використанні біодизельних палив: дис. канд.техн. наук/М.В. Павловський. – К.,2013. – 237с.

11. Патент на винахід № 114871 Україна F02M 31/02, F02D 19/06 «Система живлення багатопаливного двигуна» / Говорун А.Г., Бугрик О.В., Краснокутська З.І., Павловський М.В., Подпіснов В.С. / (Україна); Заявник і патентовласник: Національний транспортний університет; заяв. 10.02.2017; опубл. 10.08.2017, Бюл. № 15.

12. Патент на корисну модель № 122625 Україна, МПК (2017.01), F02B 47/00, F02B 51/00 «Спосіб використання присадки до дизельного палива, сумішей дизельного та біодизельного палив» / Говорун А.Г., Клименко О.А., Бугрик О.В. / (Україна); Заявник і патентовласник: Національний транспортний університет; заяв. 10.04.2017; опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.

REFERENCES

1. BP Statistical Review of World Energy 2019// (2019) bp.com [Sait]. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf>. – 2019.

2. Kovbasenko S.V. Analiz mozhyvostei pidvyschennia ekolohichnoi bezpeky transportnykh zasobiv z dyzeliamy zastosuvanniam alternatyvnykh palyv // Materialy X-oi mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi internet-konferentsii «Problemy i perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu», 14-15 kvitnia 2022 roku: zbirnyk naukovykh prats [Elektronnyi resurs] / Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy, Vinnytskyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet [ta insh.]. – Vinnytsia: VNTU, 2022. – S. 114-120. ISBN 978-966-641-910-4.

3. Hutarevych Yu. F., Zerkalov D.V. ta inshi. Ekolohiia ta avtomobilnyi transport: Navchalnyi posibnyk 2-he vyd., pereroblene ta dopovnene. – К.: Aristei, 2008. – 296 s.

4. Ahrobiznes Ukrainy, 2020. Dostupno: <https://agribusinessinukraine.com/the-infographics-report-ukrainian-agribusiness-2020/>.

5. S.V. Kovbasenko, V.V. Simonenko, O.V. Buhryk, «Polipshennia pokaznykiv transportnykh zasobiv vykorystanniam dyzelnykh biopalyv z roslynnoi ta utylizovanoi tvarynnoi syrovyny», Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo, № 106, s. 40-45, 2019.

6. O.V. Buhryk, «Perspektyvy vykorystannia biodyzelnykh palyv, otrymuvalnykh utylizatsiieiu vidkhodiv kharchovoi promyslovosti v dvyhunakh kolisnykh transportnykh zasobiv», Visnyk NTU. – №1(37), s.35 – 41, 2017.

7. H.M. Kaletnik, D.M. Tokarchuk, O.P. Skoruk, Orhanizatsiia i ekonomika vykorystannia bioresursiv: pidruchnyk: 2-he vydannia. – Vinnytsia: TOV «Druk», – 372 s., 2020.

8. М. М. Муштрук Ю.Н. Сухенко, «Перспективы виробництва дизельного біопалива з технічних тваринних жирів в Україні», Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України, № 62(ч. 2), с. 315-318, 2011.

9. Matvieieva I. V., Yakovlieva A.V., Zubenko S.O., Hudz A.V. Perspektyvy rozshyrennia syrovynnoi bazy dla vyrobnytstva biodyzelnoho palyva v Ukraini. Naukoiemni tekhnolohii . 2019. No 1(41). S. 69– 76.

10. Pavlovskiy M.V. Polipshennia palyvnoi ekonomichnosti ta ekolohichnykh pokaznykiv dyzelia pry vykorystanni biodyzelnykh palyv.:dys. kand.tekhn. nauk/M.V. Pavlovskiy. – K.,2013. – 237s.

11. Patent na vynakhid № 114871 Ukraina F02M 31/02, F02D 19/06 «Systema zhyvlennia bahatopalyvnoho dvyhuna» / Hovorun A.H., Buhryk O.V., Krasnokutska Z.I., Pavlovskiy M.V., Podpisnov V.S. / (Ukraina); Zaiavnyk i patentovlasnyk: Natsionalnyi transportnyi universytet; zaiav. 10.02.2017; opubl. 10.08.2017, Biul. № 15.

12. Patent na korysnu model № 122625 Ukraina, MPK (2017.01), F02V 47/00, F02V 51/00 «Sposib vykorystannia prysadky do dyzelnoho palyva, sumishei dyzelnoho ta biodyzelnoho palyv» / Hovorun A.H., Klymenko O.A., Buhryk O.V / (Ukraina); Zaiavnyk i patentovlasnyk: Natsionalnyi transportnyi universytet; zaiav. 10.04.2017; opubl. 25.01.2018, Biul. № 2.

РЕФЕРАТ

Ковбасенко С.В. Визначення раціональних параметрів використання дизельного біопалива з утилізованих відходів продовольчих жирів / С.В. Ковбасенко, О.В. Бугрик, В.В. Сімоненко, В.В. Мороз // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Об'єкт дослідження – вплив складу суміші та температури дизельного біопалива з утилізованих відходів продовольчих жирів на роботу дизелів автотранспортних засобів.

Мета роботи – визначення раціональних параметрів використання дизельного біопалива з утилізованих відходів продовольчих жирів, зокрема, впливу складу суміші та температури палива на показники автомобільних транспортних засобів з дизелями.

У статті розглянуто способи оптимізації властивостей дизельних біопалив. Основні фізико-хімічні властивості дизельного біопалива відрізняються від властивостей мінерального дизельного палива, а звичайне змішування двох палив не забезпечує необхідних фізико-хімічних властивостей та знижує паливну економічність двигуна. Для забезпечення необхідних в'язкісно-температурних показників дизельних біопалив були виконані дослідження щодо визначення доцільної температури та раціонального складу суміші.

Для цього були проведені дослідження щодо визначення зміни кінематичної в'язкості від температури для штатного дизельного палива, метилового ефіру жирних кислот і сумішевих палив із його 10, 20 та 30% вмістом. Встановлено раціональний склад суміші дизельного біопалива 80% дизельного палива та 20% метилового ефіру жирних кислот. Для забезпечення необхідних в'язкісно-температурних показників сумішевого біопалива температура палива у паливному насосі високого тиску має знаходитись у межах 55 - 60°C. Саме тому була розроблена система живлення дизеля з додатковим підігрівачем палива рідинного типу. Ця система дозволить розширити межі використання біопалив з різними фізико-хімічними властивостями. Роботоздатність системи живлення багатопаливного двигуна перевірено та підтверджено експлуатаційними випробуваннями.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДИЗЕЛЬНЕ БІОПАЛИВО, РАЦІОНАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ, СКЛАД СУМІШІ, ТЕМПЕРАТУРА ПАЛИВА, СИСТЕМА ЖИВЛЕННЯ

ABSTRACT

Kovbasenko S.V., Buhryk O.V., Simonenko V.V., Moroz V.V. Determination of rational parameters of diesel use biofuels from disposed waste of food fats. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The object of the study is the influence of the mixture composition and temperature of diesel biofuel from recycled food fat waste on the operation of motor vehicle diesel engines.

The purpose of the work is to determine the rational parameters for the use of diesel biofuel from recycled food fat waste, in particular, the influence of the composition of the mixture and fuel temperature on the performance of motor vehicles with diesel engines.

The article discusses ways to optimize the properties of diesel biofuels. The main physico-chemical properties of diesel biofuel differ from those of mineral diesel fuel, and the usual mixing of the two fuels does not provide the necessary physico-chemical properties and reduces the fuel efficiency of the engine. In order to ensure the necessary viscosity-temperature indicators of diesel biofuels, studies were carried out to determine the appropriate temperature and rational composition of the mixture.

For this, studies were conducted to determine the change in kinematic viscosity as a function of temperature for standard diesel fuel, methyl ether of fatty acids and mixed fuels with its 10, 20 and 30% content. The rational composition of a diesel biofuel mixture of 80% diesel fuel and 20% methyl ether of fatty acids was established. In order to ensure the necessary viscosity-temperature parameters of the mixed biofuel, the fuel temperature in the high-pressure fuel pump must be within 55-60°C. That is why a diesel fuel system with an additional liquid-type fuel heater was developed. This system will allow to expand the limits of the use of biofuels with different physical and chemical properties. The performance of the power supply system of the multi-fuel engine has been checked and confirmed by operational tests.

KEYWORDS: DIESEL BIOFUEL, RATIONAL PARAMETERS, MIXTURE COMPOSITION, FUEL TEMPERATURE, POWER SUPPLY SYSTEM

АВТОРИ:

Ковбасенко Сергій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: s-kov@ukr.net, тел.: +380503539600, Україна, 01010, Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. с-145, orcid.org/0000-0002-7309-8200.

Бугрик Олексій Вікторович, кандидат технічних наук, Державне підприємство «Державний автотранспортний науково-дослідний та проектний інститут», науковий співробітник, e-mail: bugrik_a@i.ua, тел.: +380991595157, Україна, 03113, м. Київ, проспект Перемоги, 57, orcid.org/ 0000-0003-4581-3294.

Симоненко Віталій Васильович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: v.simonenko@ntu.edu.ua, тел.: +380999262767, Україна, 01010, Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, orcid.org/ 0000-0002-7556-069X.

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.

AUTHORS:

Kovbasenko Serhii V., PhD in Technical Sciences, National Transport University, professor department of transport construction machinery engineering, e-mail: s-kov@ukr.net, tel. +380503539600, Ukraine, , 01010, Kyiv, street. Omelyanovicha-Pavlenko 1, of. c-145, orcid.org/0000-0002-7309-8200.

Buhryk Oleksii Viktorovych, Ph.D. in Technical Sciences, State Enterprise "State Motor Transport Research and Design Institute", researcher, e-mail: bugrik_a@i.ua, tel.: +380991595157, Ukraine, 03113, Kyiv, Peremohy Avenue, 57, orcid.org/ 0000-0003-4581-3294.

Simonenko Vitalii Vasylovych, PhD in Technical Sciences, associate professor, National Transport University, associate professor of the department of transport construction machinery engineering, e-mail: v.simonenko@ntu.edu.ua, tel.: +380999262767, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., 1, of. c-148, orcid.org/ 0000-0002-7556-069X.

Moroz Valentyn Valentynovych, Candidate of Science (Engineering), National Transport University, associate professor department of transport construction machinery engineering, e-mail: frost2013@i.ua, tel. +380936794238, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovicha-Pavlenka, 1, of. 226, orcid.org/0000-0003-3000-4961.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

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

Клименко Олексій Андрійович, заступник директора з наукової роботи ДП «ДержавтотрансНДІпроект», доктор технічних наук, доцент, дійсний член Транспортної академії України

REVIEWER:

Khrutba Viktoriia O., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of Department of Ecology and Safety of Vital Functions, Kyiv, Ukraine.

Klymenko Oleksiy A., Deputy Director for Scientific Work of DerzhavtotransNDIproekt, PhD, Engineering (Dr.), Associate Professor, Full Member of the Transport Academy of Ukraine.

ДО ПИТАННЯ ПРО ВПЛИВ ЗМІН ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ

Корчевська А.А., Національний транспортний університет, Київ, Україна,
alinakorchevskaja@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8245-9891

ON THE QUESTION OF THE INFLUENCE OF CHANGES IN THE TRANSPORT INFRASTRUCTURE ON THE CHARACTERISTICS OF TRANSPORT FLOWS

Korchevskaya A.A., National Transport University, Kiev, Ukraine, alinakorchevskaja@gmail.com,
orcid.org/0000-0001-8245-9891

Постановка проблеми.

Непрогнозоване збільшення рівня автомобілізації щорічно призводить до утворення заторових ситуацій на дорожній мережі міста. Це призводить до збільшення витрат часу, палива та викидів в атмосферу, а також до затримки руху транспорту. Для вирішення цієї проблеми необхідно розвивати інфраструктуру, проте зазвичай це потребує значних фінансових витрат.

Мета роботи.

Розглянути значення і застосування систем моніторингу дорожнього руху. У проблемі виникнення заторів на прикладі одного з підходів до міста та пропозиції щодо вдосконалення умов руху, розвантаження проїзної частини із забезпеченням безпеки учасників руху.

Основний виклад

Потокові дані про дорожній рух (FCD – floating car data) зазвичай використовуються для отримання даних про подорожі на окремих дорогах, а також оцінки алгоритмів даних про рух. FCD, що є GPS-даними, отриманими з навігаційних пристроїв і додатків, забезпечують дані про місце і швидкість руху автомобіля, що є основою для роботи автоматизованих систем управління дорожнім рухом.

Порівняння часу поїздки протягом «пікових» годин та у період вільного руху транспортних засобів(ТЗ) може бути використано для визначення основних місць виникнення заторів по всій дорожній мережі. Також можна порівняти «гарячі точки», або «вузькі місця», один з одним і сформулювати заходи, спрямовані на зменшення затримки у русі.

Для дослідження та збирають інформацію про наступні категорії даних: інтенсивність, класифікація ТЗ, вага ТЗ, швидкість руху, кількість пасажирів ТЗ.

На практиці застосовуються наступні види засобів моніторингу:

Таблиця 1 – Засоби моніторингу

Table 1 – Monitoring tools

Контактні пристрої	Безконтактні пристрої
Індуктивна петля	Активне інфрачервоне випромінювання
Магнітний сенсор	Пасивне інфрачервоне випромінювання
Пневматична трубка	Мікрохвильовий радар
П'єзоелектричний сенсор	Ультразвуковий радар
WIM – пластини згинання	Звуковий радар
WIM – зі зміною ємності	Відеофіксація руху
WIM – гідравлічна система	
WIM – із п'єзоелектричним елементом	

На досліджуваній ділянці дороги використовується система WIM (далі – Система зважування в русі) із п'єзоелектричним елементом, що генерує напругу під час деформації. Зміна напруги перераховується у відповідне навантаження на вісь. Також ділянка облаштована індуктивними петлями, реєстратором кількості шин, оглядовою камерою, сканером розмірів, камерою розпізнавання номерних знаків та давачем температури.

Для дослідження була обрана ділянка на трасі М-06 Київ – Чоп, км 4+112. Особливістю даної ділянки є лівоповоротні виділені смуги для розвороту на зустрічний напрям. Оскільки під час

виконання розвороту автомобілі перетинають зустрічний напрямок, в зонах конфліктних точок виникає небезпека виникнення ДТП. Окрім цього існує проблема виникнення заторів та високий показник затримки ТЗ на даній ділянці дороги у «пікові години».

Для проведення порівняльного аналізу умов руху на ділянці до та після впровадження рішення було використано програмне забезпечення PTV VISSIM та створено 2 моделі. У якості вихідних даних інтенсивності було використано дані системи WIM. Протягом останніх 3 років спостерігається збільшення середньодобової інтенсивності руху на майданчику.[1]

Таблиця 2 – Середньорічна величина добова інтенсивність руху на майданчику WIM01
Table 2 – Annual average daily traffic intensity at the WIM01 site

Напрямок руху	Середньорічна добова інтенсивність руху, авто/доба		
	рік		
	2019	2020	2021
Київ	23 048	26 376	27 875
Статистична значущість*, %	3	95	93

* статистична значущість визначена як відношення кількості повних діб, впродовж яких здійснювався облік інтенсивності руху та складу транспортного потоку, до кількості діб у році

Протягом дня найбільше завантаження ділянки відбувається у будні дні в ранковий та вечірній періоди, а також у вихідні з 11.00 до 19.00.

Таблиця 3 – Середня інтенсивність руху на майданчику WIM01 у 2021 році
Table 3 – Average traffic intensity at the WIM01 site in 2021

Проміжок часу	Середня інтенсивність руху за днями тижня, авто/год						
	понеділок	вівторок	середа	четвер	п'ятниця	субота	неділя
00-01	522	455	427	418	418	425	369
01-02	366	351	328	329	330	309	256
02-03	267	282	269	276	266	250	190
03-04	237	266	239	260	249	222	162
04-05	287	323	298	302	299	272	169
05-06	651	620	545	570	546	428	234
06-07	1 677	1 588	1 497	1 494	1 425	768	435
07-08	1 569	1 540	1 598	1 612	1 548	957	583
08-09	1 622	1 682	1 666	1 696	1 675	1222	776
09-10	1 527	1 554	1 573	1 591	1 562	1 402	1022
10-11	1 492	1 489	1 509	1 532	1 491	1 470	1 230
11-12	1 487	1 438	1 467	1 475	1 491	1 541	1 478
12-13	1 504	1 437	1 454	1 493	1 486	1 596	1 733
13-14	1 524	1 443	1 476	1 496	1 476	1 618	1 879
14-15	1 506	1 420	1 440	1 517	1 501	1 667	1 951
15-16	1 512	1 459	1 482	1 564	1 551	1 701	1 939
16-17	1 547	1 496	1553	1 584	1 583	1 723	1 726
17-18	1565	1 542	1609	1683	1 650	1 717	1 639
18-19	1 538	1 496	1564	1622	1 555	1 653	1 582
19-20	1389	1 335	1344	1420	1 392	1562	1 621
20-21	1275	1207	1215	1266	1229	1381	1 523
21-22	1056	983	989	1035	1001	1116	1389
22-23	841	775	765	776	788	785	1158
23-00	620	565	561	577	573	540	795

Для обох варіантів моделювання розподіл транспортних потоків відбувається наступним чином: в напрямку Житомира рухаються 70% ТЗ, 20% виконують розворот та прямують до смт Чайки, 10% розвертаються в напрямку Києва; в зворотному напрямку 70% рухаються до Києва, 10% повертають до смт Чайки, 20% виконують розворот до Житомира.

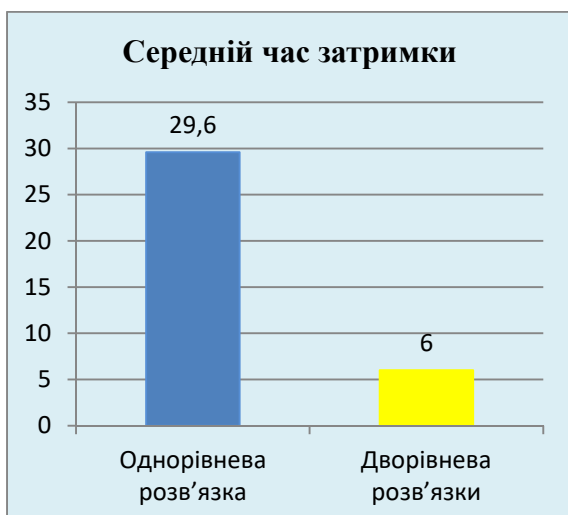


Рисунок 1 – Модель одnorівневої розв'язки
Figure 1 – Model of one-level transport interchange



Рисунок 2 – Модель дворівневої транспортної розв'язки
Figure 2 – A model of a two-level transport interchange

Порівняльний аналіз двох варіантів ділянки включає середній час затримки, середню кількість зупинок, середню швидкість та середній час простою на ТЗ.



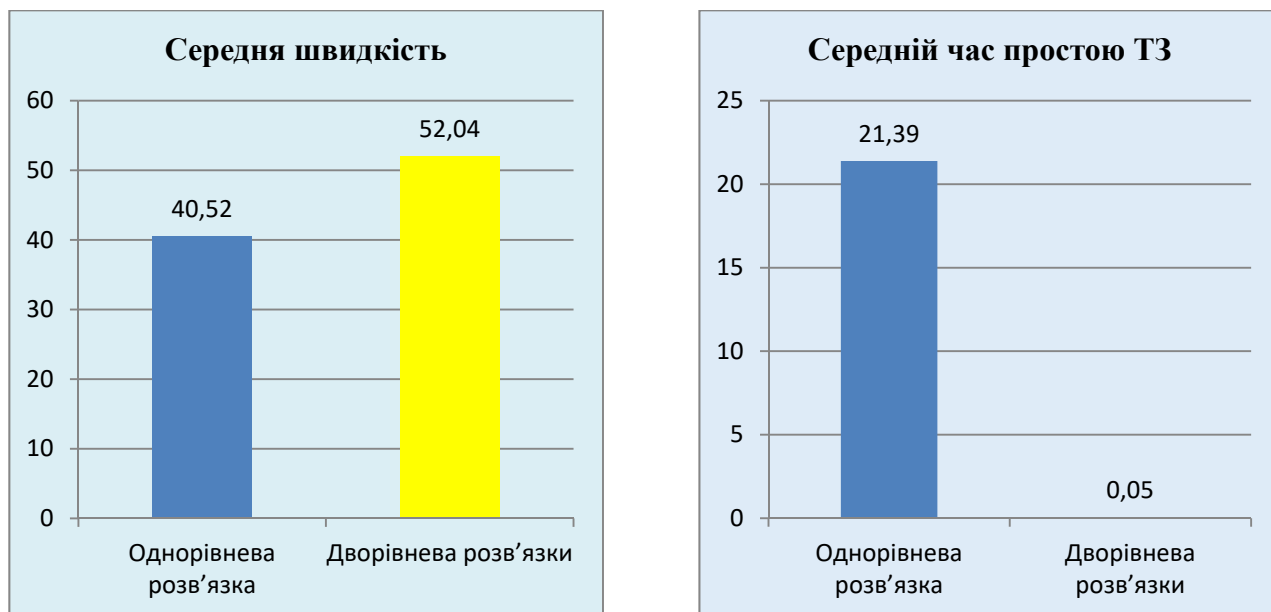


Рисунок 3 – Порівняння аналіз даних.

Figure 3 – Comparison of data analysis

Для поточного варіанту дорожньої інфраструктури середній час затримки складає 29,6 с, середня кількість зупинок – 2,10, середня швидкість – 40,5 км/год, та середній час простою ТЗ – 21,4 с.

Після реалізації запропонованого варіанту розділення потоків: середній час затримки склав – 6 с, середня кількість зупинок – 0,02, середня швидкість збільшилась до 52 км/год та середній час простою на ТЗ зменшився до 0,05 с.

ВИСНОВОК

Дане дослідження дозволяє детальніше вивчати «Транспортну ситуацію» умов руху і розробити практичні рекомендації із забезпечення безпеки дорожнього руху при значних об'ємах руху транспортних потоків.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Міністерство інфраструктури. Укравтодор. Система зважування у русі WIM, Технічний звіт, 2019 - 2021 версія 03 від 01.07.2022 – 369с.

2. Нагребельна Л.П. Покращення безпеки дорожнього руху за допомогою автоматизованого управління дорожнім рухом / Л.П. Нагребельна, А.А. Корчевська // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково технічний збірник. – К.: НТУ, 2021. – Вип. (48) - с 233-241. <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/48/233-241.pdf>.

3. Дзюба О.П., Корчевська А.А., Шевченко А.Т. Аналіз впровадження інтелектуальних транспортних систем в європейських містах / Дзюба О.П., Корчевська А.А., Шевченко А.Т. // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково технічний збірник. – К.: НТУ, 2022. – Вип. (48) - с 193-200 http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/51/193_200.pdf

4. Поліщук В. П., Виговська І. А., Корчевська А. А. До питання технології проектування організації дорожнього руху з обмеженнями на дорожній мережі // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". — 2022. — №8. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-8-8142>.

5. Системологія на транспорті. У 5 кн. / За заг. ред. М. Ф. Дмитриченка. – Київ: Знання України, 2008 – Кн. IV: Організація дорожнього руху / Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Лановий О. Т., Поліщук В. П. та ін. – 452 с.

7. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху / Поліщук В. П., Дзюба О.П. – К. : Знання України, 2008. – 175 с.

REFERENCES

1. Ministerstvo infrastruktury. Ukravtodor. Systema zvažuvannya u rusi WIM, Tekhnichniy zvit, 2019 - 2021 versiiia 03 vid 01.07.2022 – 369s.

2.Nahrebelna L.P. Pokrashchennia bezpeky dorozhnogo rukhu za dopomohoiu avtomatyzovanoho upravlinnia dorozhnim rukhom / L.P. Nahrebelna, A.A. Korchevska // Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky». Naukovo tekhnichniy zbirnyk. – K.: NTU, 2021. – Vyp. (48) - s 233-241. <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/48/233-241.pdf>.

3.Dziuba O.P., Korchevska A.A., Shevchenko A.T. Analiz vprovadzhennia intelektualnykh transportnykh system v yevropeiskykh mistakh / Dziuba O.P., Korchevska A.A., Shevchenko A.T. // Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky». Naukovo tekhnichniy zbirnyk. – K.: NTU, 2022. – Vyp. (48) - s 193-200 http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/51/193_200.pdf

4.Polishchuk V. P., Vyhovska I. A., Korchevska A. A. Do pytannia tekhnolohii proektuvannia orhanizatsii dorozhnogo rukhu z obmezheniamy na dorozhnii merezhi // Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal "Internauka". — 2022. — №8. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2022-8-8142>.

5.Systemolohiia na transporti. U 5 kn. / Za zah. red. M. F. Dmytrychenka. – Kyiv: Znannia Ukrainy, 2008 – Kn. IV: Orhanizatsiia dorozhnogo rukhu /Havrylov E. V., Dmytrychenko M. F., Lanovyi O. T., Polishchuk V. P. ta in. – 452 s.

7.Teoriiia transportnoho potoku: metody ta modeli orhanizatsii dorozhnogo rukhu / Polishchuk V. P., Dziuba O.P. – K. : Znannia Ukrainy, 2008. – 175 s.

РЕФЕРАТ

Корчевська А.А. До питання про вплив змін транспортної інфраструктури на характеристики транспортного потоку / А.А. Корчевська // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Постановка проблеми. Непрогнозоване збільшення рівня автомобілізації щорічно призводить до утворення заторових ситуацій на дорожній мережі міста. Це призводить до збільшення витрат часу, палива та викидів в атмосферу, а також до затримки руху транспорту. Для вирішення цієї проблеми необхідно розвивати інфраструктуру, проте зазвичай це потребує значних фінансових витрат.

Мета роботи. Розглянути значення і застосування систем моніторингу дорожнього руху. У проблемі виникнення заторів на прикладі одного з підходів до міста та пропозиції щодо вдосконалення умов руху, розвантаження проїзної частини із забезпеченням безпеки учасників руху.

Основний виклад. Потокові дані про дорожній рух (FCD – floating car data) зазвичай використовуються для отримання даних про подорожі на окремих дорогах, а також оцінки алгоритмів даних про рух. FCD, що є GPS-даними, отриманими з навігаційних пристроїв і додатків, забезпечують дані про місце і швидкість руху автомобіля, що є основою для роботи автоматизованих систем управління дорожнім рухом.

Для дослідження була обрана ділянка на трасі М-06 Київ – Чоп, км 4+112. Особливістю даної ділянки є лівоповоротні виділені смуги для розвороту на зустрічний напрям. Оскільки під час виконання розвороту автомобілі перетинають зустрічний напрям, в зонах конфліктних точок виникає небезпека виникнення ДТП. Окрім цього існує проблема виникнення заторів та високий показник затримки ТЗ на даній ділянці дороги у «пікові години»

Для проведення порівняльного аналізу умов руху на ділянці до та після впровадження рішення було використано програмне забезпечення PTV VISSIM та створено 2 моделі. У якості вихідних даних інтенсивності було використано дані системи WIM.

Висновок. Дане дослідження дозволяє детальніше вивчати «Транспортну ситуацію» умов руху і розробити практичні рекомендації із забезпечення безпеки дорожнього руху при значних об'ємах руху транспортних потоків.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОНІТОРИНГ ДОРОЖНЬОГО РУХУ, ТРАНСПОРТНА ЗАТРИМКА, ДОРОЖНЯ МЕРЕЖА, ТРАНСПОРТНИЙ ПОТІК.

ABSTRACT

Korchevska A.A. On the question of the influence of changes in the transport infrastructure on the characteristics of transport flows. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

Formulation of the problem. An unforeseeable increase in the level of motorization annually leads to the formation of traffic jams on the city's road network. This leads to an increase in time, fuel and emissions into the atmosphere, as well as to traffic delays. To solve this problem, it is necessary to develop the infrastructure, but this usually requires significant financial costs.

The goal of the work. Consider the importance and application of traffic monitoring systems. In the problem of traffic jams, on the example of one of the approaches to the city and proposals for improving traffic conditions, decongesting the roadway and ensuring the safety of traffic participants.

Basic presentation. Floating car data (FCD) is commonly used to obtain travel data on individual roads and to evaluate traffic data algorithms. FCD, which is GPS data obtained from navigation devices and applications, provides data about the location and speed of the vehicle, which is the basis for the operation of automated traffic control systems.

The area on the M-06 Kyiv – Chop highway, km 4+112, was chosen for the study. A special feature of this section is the dedicated left-turn lanes for turning in the opposite direction. Since cars cross the opposite direction during a U-turn, there is a danger of an accident in the areas of conflict points. In addition, there is a problem of traffic jams and a high rate of vehicle delays on this section of the road during "peak hours"

To conduct a comparative analysis of traffic conditions on the site before and after the implementation of the solution, the PTV VISSIM software was used and 2 models were created. Data from the WIM system were used as the initial intensity data.

Conclusion. This study allows for a more detailed study of the "Transport situation" of traffic conditions and the development of practical recommendations for ensuring road traffic safety with significant volumes of traffic flows.

KEY WORDS: TRAFFIC MONITORING, TRANSPORT DELAY, ROAD NETWORK, TRAFFIC FLOW.

АВТОРИ:

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

AUTHORS:

Korchevskaya Alina, National Transport University, Senior teacher transport systems and traffic safety, alinakorchevskaja@gmail.com, tel. +380442804885, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovicha-Pavlenko str. 1, of. 435 orcid.org/0000-0001-8245-9891

РЕЦЕЗЕНТИ:

Поліщук Володимир Петрович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри транспортні системи та безпеки дорожнього руху. Київ, Україна.

Кисельов Володимир Борисович, доктор технічних наук, професор, директор навчально-наукового 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.

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Костьян Н.Л., кандидат технічних наук, Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна, 438knl@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-1599-4007

COMPLEX ENERGY EFFICIENCY EVALUATION OF URBAN PASSENGER TRANSPORT

Kostian N.L., Ph.D in Technical Science, Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine, 438knl@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-1599-4007

Постановка проблеми.

Глобальні світові екологічні проблеми вимагають знаходження нових прогресивних шляхів та технологій щодо оптимізації параметрів складних систем у різних секторах народного господарства, в тому числі пов'язаних, напряду або опосередковано, з організацією автомобільних перевезень. Кількість викидів шкідливих речовин у повітря є прямо пропорційною до витрат палива. Порівняно з іншими видами транспортних засобів автомобільний транспорт становить найбільшу загрозу для екологічної рівноваги. Щорічне зростання мобільності населення спричиняє збільшення обсягу пасажирських перевезень, основна частка яких здійснюється у міському сполученні [1]. Це, серед іншого, актуалізує питання ефективного споживання палива громадським транспортом. Для підвищення енергоефективності міського пасажирського транспорту можна застосовувати групи технологій відповідно до етапів життєвого циклу автомобіля, зокрема на етапах проектування, виробництва та експлуатації. Даний підхід забезпечує реалізацію адекватних конструктивних, технологічних та організаційних рішень через модернізацію або оновлення парку транспортних засобів. Даний процес відбувається не хаотично. Йому передують процеси оцінювання та аналізу показників існуючої транспортної системи, їх прогнозування на майбутнє та синтез альтернативних структур, ефективних з точки зору енергозбереження та екобезпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вибір транспортного засобу (ТЗ) повинен ґрунтуватись на порівнянні ефективності можливих альтернатив. Авторами [2] наведено структуру комплексного критерію ефективності експлуатації автомобілів, що формується з множини оцінок їх економічної, технічної та екологічної ефективності. Незважаючи на те, що переважна кількість наукових робіт у даній галузі присвячена оцінюванню економічної ефективності, дві інші складові також є вагомими, оскільки дозволяють оцінити ступінь адаптованості ТЗ до заданих умов експлуатації [2]. Окремо, в межах технічної складової, виділено критерії ефективності за абсолютними та питомими енерговитратами автомобіля. Для ТЗ довільної категорії традиційно оцінюють контрольну витрату палива на 100 км в процесі руху по прямій горизонтальній дорозі за заданих значень швидкості на вищій передачі [3]. Проте, даний показник не дозволяє оцінити залежність паливної економічності автомобіля від його корисного навантаження та інших чинників. Питання щодо сучасних методик та технологій оцінювання та підвищення енергоефективності ТЗ досліджено в роботах В.П. Волкова [3], Р.А. Хабутдінова [1, 4-7], І.І. Гальони [4, 6, 8], Jaehyuk Lim [9], М. Смешка [10-12], В.П. Матейчика [11-13], К. Ahn [14], Н. Rakha [15] та ін. В роботі [4] пропонується методика обґрунтованого вибору автомобіля на основі відповідної цільової функції, що враховує залежності його транспортної ефективності від зміни конструктивно-технічних, експлуатаційних та дорожніх умов транспортних операцій. У зазначеній статті наведено схему методології управління енергоресурсною ефективністю автомобіля в його життєвому циклі. Згідно з даною концепцією в дослідженнях [5-7] застосовано показники енергетичної ефективності, технологічної енергоефективності та комплексний показник техніко-енергетичної і транспортної енергоефективності автомобіля відповідно. Математичні моделі зазначених показників містять енергетичний/паливний коефіцієнт пробігу, метод визначення якого базується на порівнянні енерговіддачі/паливовіддачі заданого та еталонного автомобілів при виконанні тестової та еталонної транспортних операцій. Крім того, комплексний показник у дослідженні [7] враховує структурно-параметричну організацію конструкції автомобіля та властивості дороги. Проте, дані показники ефективності спираються на середнє (для тестової операції) та стале задане (для еталонної операції) значення швидкості руху, а їх окремі складові потребують визначення дев'яти коефіцієнтів, що враховують специфіку різних ТЗ та видів тестових операцій. Автором [1] запропоновано комплекс

показників, що відображають залежності енергоефективності міського автобусу від довжини перегону, коефіцієнта статичного використання пасажиромісткості та максимальної потужності двигуна. В роботах [4, 8] наводяться практичні результати дослідження динаміки змін енергетичної ефективності автомобілів залежно від їхньої потужності. В дослідженні [9] в якості параметру ефективності приймають оцінку паливної економічності, яку визначають як відношення довжини пробігу до витрати палива. Але така оцінка не характеризує вплив завантаженості ТЗ. Авторами [10] у загальному вигляді описано функціональну залежність показника енергоефективності ТЗ від вісімнадцяти параметрів, що відповідають функціональним ознакам автомобіля, транспортного потоку, дороги та середовища руху як складових міської транспортної системи. Для ідентифікації лінійних та нелінійних форм даної залежності необхідним є розробка методики для формування масиву експериментальних значень енергоефективності, що розраховуються за частковими параметрами системи на основі даних спостережень.

Моделі енергоефективності ТЗ вимагають адекватного оцінювання енерговитрат у процесі їхньої експлуатації. В роботі [11] запропоновано нелінійну модель для визначення витрати палива міського пасажирського транспорту на заданому перегоні з урахуванням середньодобової потужності пасажиропотоку та виконаної на даному перегоні транспортної роботи. Авторами [12] витрата палива міського автобуса визначається за методом VSP, що базується на визначенні індексу, на який впливає аеродинамічний опір, опір коченню, градієнт дороги, швидкість та змінне навантаження на автобус. У роботах [13-15] для визначення витрати палива ТЗ застосовано поліноміальну, логарифмічну та експоненціальну форми аналітичних залежностей з урахуванням його миттєвої швидкості та режимів руху. В [15] акцентовано увагу на тому, що для досягнення високої точності обчислень доцільним є розрахунок витрати палива ТЗ на окремих сегментах маршруту та агрегація отриманих результатів.

За результатами аналізу останніх публікацій можна стверджувати, що на сьогоднішній день залишається актуальним питання розробки та реалізації методик комплексного оцінювання енергоефективності автомобільних ТЗ на основі їхніх експлуатаційних характеристик. Зважаючи на наведені результати останніх досліджень за даним напрямом, необхідно врахувати найбільш вагомі з них при оцінюванні енергоефективності міського пасажирського транспорту.

Мета і завдання дослідження.

Метою дослідження є визначення комплексної оцінки енергоефективності міського автобуса громадського користування із врахуванням його експлуатаційних характеристик.

Для досягнення поставленої мети сформульовано наступні завдання:

- формування комплексного показника енергоефективності пасажирського транспорту;
- моніторинг експлуатаційних характеристик міського автобуса в процесі руху за заданим маршрутом;
- визначення окремих складових показника енергоефективності автобуса на заданому перегоні;
- визначення комплексного показника енергоефективності міського автобуса на перегоні.

Виклад основного матеріалу.

Одним із шляхів покращення екологічної ситуації в міському середовищі за рахунок зменшення витрат палива ТЗ є мотивація мешканців міста щодо вибору громадського транспорту [12]. При цьому, комплексний критерій енергоефективності ТЗ у загальному вигляді можна записати наступним чином:

$$LEE = \sum_{i=1}^n (w_i \times E_i) \rightarrow \max, \quad (1)$$

де LEE – комплексний показник енергоефективності ТЗ; E_i – i -та часткова оцінка енергоефективності ТЗ; w_i – вага i -ї оцінки; n – кількість часткових оцінок у складі комплексного показника.

Складні умови роботи міського пасажирського транспорту обумовлені постійними змінами режимів руху в їздовому циклі, що істотно впливає на витрати палива. Крім того, зміна потужності пасажиропотоку на перегонах міських маршрутів вимагає врахування даного фактору при виборі ефективного ТЗ. Оцінювання енергоефективності пасажирського транспорту можна проводити в двох напрямках: співставленням витраченої енергії та корисної роботи за заданої довжини пробігу та через порівняння енерговитрат досліджуваного автомобіля за реальних умов руху і базового автомобіля за еталонних умов. У межах даного дослідження, приймаємо, що дані оцінки для громадського транспорту є однаково вагомими. Тому пропонується наступна форма представлення комплексного показника енергоефективності ТЗ:

$$LEE = 0,5 \cdot E_1(A_{useful}, E) + 0,5 \cdot E_2(E_0, E), \quad (2)$$

де $E_1(A_{useful}, E)$ – оцінка механічної ефективності системи приводу [12]; $E_2(E_0, E)$ – оцінка енергетичної ефективності ТЗ; A_{useful} – корисна робота, що виконана ТЗ, МДж; E – енергія, що витрачена ТЗ, МДж; E_0 – енергія, що витрачена двигуном при заданому режимі руху базового ТЗ по горизонтальній дорозі при помірних погодних умовах, МДж.

Дане дослідження є продовженням роботи [11] та проведено на прикладі автобуса великого класу Mercedes-Benz O530 на лінії міського маршруту № 13 м. Жешув, Польща. Вимірювання експлуатаційних характеристик автобуса здійснювалось протягом 25 робочих днів із використанням інтелектуального трекера Teltonika FMB920. Автобусний маршрут складається з 34 (37) перегонів у прямому (зворотному) сполученні.

Для аналізу енергоефективності на окремому перегоні ТЗ необхідно визначити часткові оцінки комплексного показника. Введемо позначення: $E_1(A_{useful}, E) = E_1$; $E_2(E_0, E) = E_2$. Тоді

$$E_1 = \frac{\sum_{j=1}^n A_{useful_j}}{E} = \frac{10^{-6} \cdot \int_0^L (P_{\psi} + P_w + P_{jx}) dl}{\rho \cdot Q \cdot LHV}, \quad (3)$$

де A_{useful_j} – корисна робота при проходженні j -ї ділянки перегону, МДж; E – витрачена енергія на перегоні, МДж; n – кількість ділянок на перегоні; P_{ψ} – сила опору дороги, Н; P_w – сила опору повітря, Н; P_{jx} – сила інерції ТЗ, Н; L – довжина перегону, м; ρ – густина дизельного палива, при $T > 0^\circ \text{C}$ $\rho = 0,86 \text{ кг} \cdot \text{дм}^{-3}$; Q – витрата палива, л (дм³); LHV – нижча теплота згоряння, для дизельного палива $LHV = 42,3 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$.

Застосувавши залежність для оцінки витрати палива, що було отримано в дослідженні [11], формулу (3) стосовно до міського автобуса великого класу можна записати у вигляді (4):

$$E_1 = \frac{10^{-6} \cdot \int_0^L (0,5 \cdot c_x \cdot \rho_w \cdot F \cdot V^2 + (m_0 + m_p \cdot H) \cdot (g \cdot (f \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha) + a)) dl}{36,378 [\text{МДж} \cdot \text{л}^{-1}] \cdot \left(\frac{0,45699 [\text{л} \cdot \text{км}^{-1}]}{H_{avg}} - 0,00075 [\text{л} \cdot (\text{пас} \cdot \text{км})^{-1}] \right) \cdot H \cdot 10^{-3} \cdot L}, \quad (4)$$

де V – швидкість автобуса, м·с⁻¹; a – прискорення автобуса, м·с⁻²; F – лобова площа автобуса, м², для Mercedes-Benz O530 $F = 6,5 \text{ м}^2$; m_0 – споряджена маса автобуса, $m_0 = 10700 \text{ кг}$; m_p – середня маса пасажирів, кг; H – потужність пасажиропотоку на перегоні, пас.; H_{avg} – середня потужність пасажиропотоку за день спостереження, пас.; g – прискорення вільного падіння, м·с⁻²; f – коефіцієнт опору коченню; c_x – коефіцієнт аеродинамічного опору, для автобуса приймаємо 0,75 [3]; ρ_w – густина повітря, кг·м⁻³; α – кут величини ухилу дороги.

Характер зміни потужності пасажиропотоку на фіксованій послідовності перегонів у різну пору доби є схожим. Тому для оцінювання енергоефективності на окремих перегонах розглядався часовий інтервал з 6:30 до 9:30. Як приклад, розраховано часткову енергоефективність E_1 автобуса для типового робочого дня (11/03/2022 р.) в часовому інтервалі з 9 год. 24 хв. по 9 год. 27 хв. Дату було обрано за найбільшою відносною частотою розподілу значень добового обсягу перевезених пасажирів. Вимірювання параметрів здійснювалось на перегоні довжиною 1064 м між зупинними пунктами № 2 та № 3 прямого маршруту з нульовим ухилом дороги. Параметри погодних умов визначено за даними Інтернет-сервісу Gismeteo. За температури повітря 0 °C та барометричного тиску 100,792 кПа, що спостерігалось в зазначений день, густина повітря $\rho_w = 1,2877 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Коефіцієнт f за заданих умов дорівнює 0,01. Середньодобова потужність пасажиропотоку $H_{avg} = 10,18 \text{ пас}$.

На момент прибуття автобуса до зупинки № 3 в ньому перебували 7 пасажирів. Середня маса пасажирів m_p на маршрутах даного міста приймається 55 кг [12]. Тому остаточно для даного конкретного перегону значення E_1 в фіксований момент часу визначається за виразом (5):

$$E_1 = \frac{10^{-6} \cdot \int_0^L (3,13876875 [\text{кг} \cdot \text{м}^{-1}] \cdot V^2 + 11085 [\text{кг}] \cdot (0,0981 [\text{м} \cdot \text{с}^{-2}] + a)) dl}{11,959998 [\text{МДж}]}, \quad (5)$$

Вихідні дані та результати розрахунку корисної роботи при проходженні автобусом Mercedes-Benz O530 заданого перегону досліджуваного маршруту з інтервалом в 1 с наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Фрагмент масиву результатів розрахунку корисної роботи на відрізках перегону
Table 1 – The array fragment of the calculation results of the useful work on the haul sections

Час вимірювання год.: хв.:сек	Довгота	Широта	Швидкість V , м·с ⁻¹	Прискорення a , м·с ⁻²	Відстань l , м	Корисна робота A_{useful} , МДж
09:24:12	50,030628	21,976798	1,429281	1,42928	1,42928	0,024208
09:24:13	50,030628	21,976798	2,039503	0,61022	2,03950	0,016040
09:24:14	50,030630	21,976698	2,039503	0,00000	2,03950	0,002244
09:24:15	50,030635	21,976656	2,903444	0,86394	2,90344	0,031040
09:24:16	50,030635	21,976656	3,829806	0,92636	3,82981	0,043668
09:24:17	50,030646	21,976598	3,444778	-0,38503	3,44477	-0,010828
09:24:18	50,030670	21,976545	3,802222	0,35744	3,80223	0,019373
09:24:19	50,030703	21,976493	4,890889	1,08867	4,89089	0,064708
09:24:20	50,030741	21,976460	5,126972	0,23608	5,12698	0,019416
09:24:21	50,030786	21,976430	5,531667	0,40469	5,53166	0,031362
09:24:22	50,030833	21,976406	5,755778	0,22411	5,75577	0,021156
09:24:23	50,030891	21,976383	6,347167	0,59139	6,34717	0,049314
09:24:24	50,030948	21,976380	6,885028	0,53786	6,88503	0,049561
09:24:25	50,031018	21,976386	7,439583	0,55456	7,43959	0,055116
09:24:26	50,031091	21,976393	7,806000	0,36642	7,80599	0,041687

Вплив прискорення автобуса на зміну значення корисної роботи на перегоні наведений на рисунку 1 та характеризується залежністю $A_{useful}=0,0609 \cdot a+0,012$ з коефіцієнтом детермінації 0,7597.

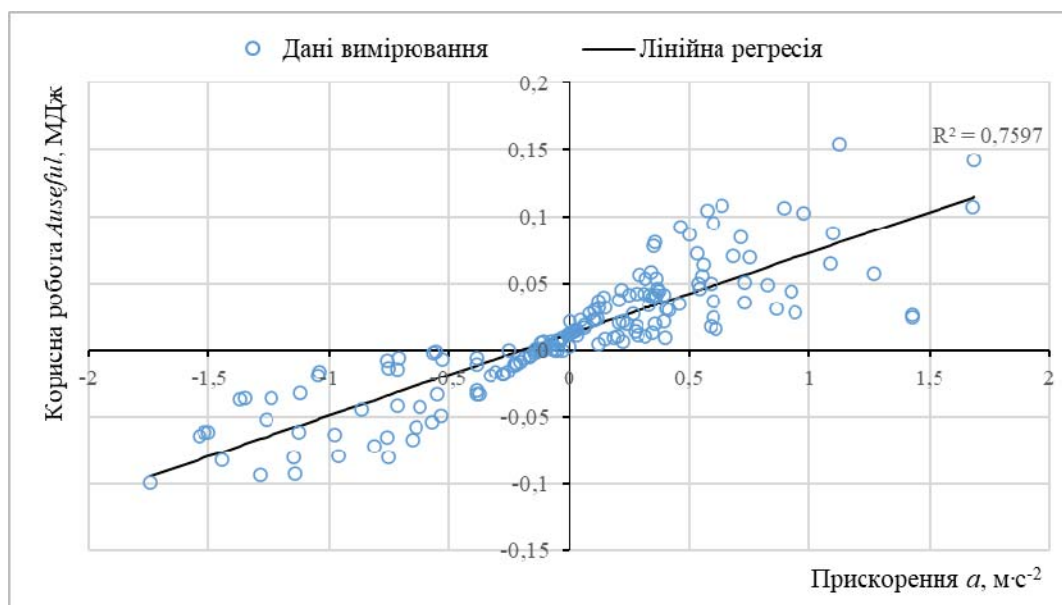


Рисунок 1 – Залежність корисної роботи на заданому перегоні маршруту від прискорення автобуса
Figure 1 – The dependence of the useful work on a given route haul on the bus acceleration

Сумарне значення корисної роботи на перегоні $A_{useful} = 2,065193$ МДж. Отже, значення часткової енергоефективності E_1 на перегоні прямого рейсу складає 0,172675.

Залежність (3) може бути узагальнена на довжину всього маршруту наступним чином:

$$E_1(A_{useful}, E) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (A_{useful})_{ij}}{\sum_{i=1}^m E_i} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (A_{useful})_{ij}}{\sum_{i=1}^m (\rho \cdot Q_i \cdot LHV)}, \quad (6)$$

де $(A_{useful})_{ij}$ – корисна робота при проходженні j -ї ділянки i -го перегону маршруту, МДж; E_i – витрачена енергія на i -му перегоні, МДж; n_i – кількість ділянок на i -му перегоні; m – кількість перегонів; Q_i – витрата палива на i -му перегоні, л (дм³).

Виходячи з положень, що викладено в [5], та враховуючи результати дослідження [11], отримано залежність (7) для розрахунку часткової оцінки E_2 комплексного показника енергоефективності автобуса великого класу:

$$E_2 = \frac{Q_0 \cdot V_{avg} \cdot \gamma_{cm}}{\left(\frac{0,45699 \left[\text{л} \cdot \text{км}^{-1} \right]}{H_{avg}} - 0,00075 \left[\text{л} \cdot (\text{пас} \cdot \text{км})^{-1} \right] \right) \cdot H \cdot L_r \cdot V_e \cdot (\eta_q + \gamma_{cm})}, \quad (7)$$

де Q_0 – еталонна витрата палива міського автобуса великого класу на заданому перегоні (маршруті), л; V_{avg} , V_e – середня та еталонна швидкості міського автобуса великого класу на заданому перегоні (маршруті) відповідно, км/год.⁻¹; H , H_{avg} – потужність пасажиропотоку на перегоні (маршруті) та середня потужність пасажиропотоку за день відповідно, пас.; L_r – довжина перегону (маршруту), км; γ_{cm} – коефіцієнт використання пасажиромісткості автобуса; η_q – коефіцієнт спорядженої маси.

Для автобуса Mercedes-Benz O530 при русі на заданому перегоні в зазначений вище проміжок часу середня швидкість $V_{avg} = 25,56$ км/год., коефіцієнт використання пасажиромісткості в умовах обмежень, викликаних небезпекою поширення COVID-19, $\gamma_{cm} = 0,25$. Коефіцієнт спорядженої маси $\eta_q = 0,14$. Еталонна швидкість V_e приймається рівною 40 км/год [5]. За еталонну витрату палива приймається найменша витрата палива на даному перегоні протягом робочого дня, $Q_0 = 0,187$ л. Відповідно до формули (7) значення часткової оцінки $E_2 = 0,23282$.

Таким чином, комплексний показник енергоефективності LEE для автобуса великого класу на заданому перегоні набуває значення 0,20. Аналітичну залежність (2) можна коригувати шляхом введення нових часткових оцінок та перерахунку вагових коефіцієнтів.

Висновки.

В ході дослідження експлуатаційних характеристик міського пасажирського транспорту запропоновано методику комплексного оцінювання енергоефективності міського автобуса великого класу, що базується на визначенні зважених оцінок його механічної та енергетичної ефективності. За даною методикою отримано значення комплексного показника енергоефективності дизельного автобуса на заданому перегоні досліджуваного маршруту, яке становить 0,20. Наведено узагальнену форму даного показника для міського маршруту з довільною кількістю перегонів. Розглянуту методику доцільно використовувати для порівняння автобусів з різними техніко-експлуатаційними характеристиками.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Хабутдінов, Р.А. Аналіз впливу показників транспортної енергоефективності автобуса для міських пасажирських перевезень / Р.А. Хабутдінов, І.О. Федоренко // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2021. – Том 32 (71) № 3. С. 259-266. DOI: 10.32838/2663-5941/2021.3/39.
2. Лук'яненко, О.Ю. Комплексна оцінка ефективності експлуатації автомобілів / О.Ю. Лук'яненко, В.Г. Тихий // Матеріали X-ої міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14-15 квітня 2022 року: збірник наукових праць / МОН України, ВНТУ [та інш.]. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – С. 206-209.
3. Волков, В.П. Теорія руху автомобіля: підручник / В.П. Волков, Г.Б. Вільський. – Суми: Університетська книга, 2021. – 320 с.
4. Хабутдінов, Р.А. Мотиваційний аналіз концептуальних переваг перевізника-покупця автомобіля малої вантажопідйомності за принципом життєвого циклу / Р.А. Хабутдінов, І.І. Гальона // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2015. – № 1(31). – С. 525-531.
5. Хабутдінов, Р.А. Методика аналізу експлуатаційно-технологічних і енергетичних показників автопоїздів / Р.А. Хабутдінов, О.Г. Ковбасенко // Вісник НТУ. Науково-технічний збірник: в 2 ч. Ч. 1: Серія «Технічні науки». – К. : НТУ, 2014. – № 29. – С. 331-338.
6. Хабутдінов, Р. А. Підвищення споживчих властивостей автомобілів малої вантажопідйомності, як складних науково-технічних товарів / Р.А. Хабутдінов, І.І. Гальона // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ, 2011. – № 24(2). – С. 240-243.

7. Хабутдінов, Р.А. Системна концепція енергоресурсної синергії та методологія технологічно-інноваційного управління на автотранспорті / Р.А. Хабутдінов // Вісник НТУ. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46). С. 365-374. DOI: 10.33744/2308-6645-2020-1-46-365-374.
8. Хабутдінов, Р.А. Методика аналізу впливу технічних параметрів та машинно-технологічних процедур на енергоефективність автомобілів малої вантажопідйомності / Р.А. Хабутдінов, І.І. Гальона // Вісник НТУ. – К.: НТУ, 2012. – № 26(2). – С. 300-305.
9. Jaehyuk Lim, Yumin Lee, Kiho Kim, & Jinwook Lee. Experimental Analysis of Calculation of Fuel Consumption Rate by On-Road Mileage in a 2.0 L Gasoline-Fueled Passenger Vehicle. Appl. Sci, 8, 2390, DOI: 10.3390/app8122390, (2018).
10. Костян, Н.Л. До визначення продуктивності та енергоефективності транспортних засобів в умовах міської мобільності / Н.Л. Костян, Мірослав Смешек // Вісник НТУ. – К.: НТУ, 2021. – Вип. 3(50). – 113-122.
11. Костян, Н.Л. Оцінювання енерговитрат громадського транспорту із врахуванням потужності пасажиропотоку / Н.Л. Костян, В.П. Матейчик, М. Смешек // Матеріали X-ої міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14-15 квітня 2022 року / МОН України, ВНТУ [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2022. – С. 168-171.
12. Śmieszek, M., & Mateichyk, V. Determining the fuel consumption of a public city bus in urban traffic. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 1199. The 26th International Slovak-Polish Scientific Conference on Machine Modelling and Simulations (MMS 2021) 13th-15th September 2021, Bardejovské Kúpele, Slovak Republic, 012080. DOI: 10.1088/1757-899X/1199/1/012080, (2021).
13. М 218-02070915-694:2011 «Оцінювання інгредієнтного і параметричного забруднення придорожнього середовища системою «транспортний потік-дорога». – Київ: НТУ – 77 с.
14. Ahn, K., Rakha, H., Trani, A., & Van Aerde, M. Estimating vehicle fuel consumption and emissions based on instantaneous speed and acceleration levels. Journal of Transportation Engineering, 128(2), p. 182-190, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2002)128:2(182), (2002).
15. Du, J., Rakha, H. A., Filali, F., & Eldardiry, H. COVID-19 pandemic impacts on traffic system delay, fuel consumption and emissions. International Journal of Transportation Science and Technology, 10(2), p. 184–196, DOI: 10.1016/j.ijtst.2020.11.003, (2021).

REFERENCES

1. Khabutdinov, R.A., & Fedorenko, I.O. (2021). Analiz vplyvu pokaznykiv transportnoi enerhoefektyvnosti avtobusa dlia miskykh pasazhyrskykh perevezen [Analysis of the impact of transport energy efficiency indicators of the bus for urban passenger transportation]. *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky – Scientific notes of V.I. Vernadsky Taurida National University. Series: Technical Sciences*, Volume 32 (71), Issue 3, 259-266 [in Ukrainian].
2. Lukyanchenko, O., & Tykhy V. (2022). Kompleksna otsinka efektyvnosti ekspluatatsii avtomobiliv [Comprehensive assessment of the efficiency of car operation]. *Materialy X-oi mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi internet-konferentsii «Problemy i perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu» – Materials of X-th international scientific and technical internet-conference «Problems and prospects of development automobile transport»*. (206-209). Vinnytsia: VNTU [in Ukrainian].
3. Volkov, V.P., & Vilskyi, H.B. (2021) *Teoriia rukhu avtomobilia [Car motion theory]*. Sumy: VTD «Universytetska knyha», [in Ukrainian].
4. Khabutdinov, R.A., & Halona, I.I. (2015). Motyvatsiinyi analiz kontseptualnykh preferentsii pereviznyka-pokuptsia avtomobilia maloi vantazhopidionnosti za pryntsyom zhyttievoho tsyklu [Motivational analysis of conceptual preferences carrier buyer light-duty vehicle on the basis of life cycle]. *Visnyk NTU – Visnyk National Transport University*, 1(31), 525-531 [in Ukrainian].
5. Habutdinov, R.A., & Kovbasenko, O.G. (2014). Metodyka analizu ekspluatatsiino-tekhnologichnykh i enerhetychnykh pokaznykiv avtopoizdiv [Technique of the analysis of exploitation-technological and energy indexes of truck trailer]. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk: z v 2 ch. Ch. 1: Seriya «Tekhnichni nauky» – Visnyk National Transport University. Scientific and Technical Collection: In Part 2. Part 1: Series “Technical sciences”*, 29, 331-338 [in Ukrainian].
6. Khabutdinov, R.A., & Halona, I.I. (2011) Pidvyshchennia spozhyvchykh vlastyvostei avtomobiliv maloi vantazhopidionnosti, yak skladnykh naukovo-tekhnichnykh tovariv [Improving the consumer properties of low-capacity vehicles as complex scientific and technical goods]. *Visnyk*

Natsionalnoho transportnoho universytetu – Visnyk National Transport University, 24(2). 240-243 [in Ukrainian].

7. Khabutdinov, R.A. (2020) Systemna kontseptsiiia enerhoresursnoi synerhii ta metodolohiia tekhnolohichno-innovatsiinoho upravlinnia na avtotransporti [System concept of energy-resource synergy and methodology of technological-innovative management on motor transport]. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu – Visnyk National Transport University*, 1(46), 365-374 [in Ukrainian].

8. Habutdinov, R.A., & Galyona, I.I. (2012) Metodyka analizu vplyvu tekhnichnykh parametriv ta mashynno-tekhnolohichnykh protsedur na enerhoefektyvnist avtomobiliv maloi vantazhopidomnosti [Methods of analysis of the impact of technical parameters and machine-technological procedures for energy efficiency light-duty vehicles]. *Visnyk NTU – Visnyk NTU*, 26(2), 300-305 [in Ukrainian].

9. Jaehyuk Lim, Yumin Lee, Kiho Kim & Jinwook Lee. (2018) Experimental Analysis of Calculation of Fuel Consumption Rate by On-Road Mileage in a 2.0 L Gasoline-Fueled Passenger Vehicle. *Appl. Sci*, 8, 2390, DOI: 10.3390/app8122390.

10. Kostian, N.L., & Smieszek, M. (2021). Do vyznachennia produktyvnosti ta enerhoefektyvnosti transportnykh zasobiv v umovakh miskoi mobilnosti [To determining the performance and energy efficiency of vehicles in the context of urban mobility]. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu – Bulletin of the National Transport University*, 3(50), 113-122 [in Ukrainian].

11. Kostian, N. Mateichyk, V., & Śmieszek, M. (2022). Otsiniuvannia enerhovytrat hromadskoho transportu iz vrakhuvanniam potuzhnosti pasazhyropotoku [Estimation of energy consumption of public transport taking into account the capacity of passenger traffic]. *Materialy X-oї mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi internet-konferentsii «Problemy i perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu» – Materials of X-th international scientific and technical internet-conference «Problems and prospects of development automobile transport»*. (168-171). Vinnytsia: VNTU [in Ukrainian].

12. Śmieszek, M., & Mateichyk, V. (2021). Determining the fuel consumption of a public city bus in urban traffic. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. The 26th International Slovak-Polish Scientific Conference on Machine Modelling and Simulations (MMS 2021) 13th-15th September 2021, Bardejovské Kúpele, Slovak Republic*, (Vol. 1199), DOI: 10.1088/1757-899X/1199/1/012080.

13. M 218-02070915-694:2011. Oci n'uvann'a ingredientnogo i parametrichnogo zabrudnenn'a pridorozhn'ogo seredovischa sistemoyu “transportnij potik-doroga” [Evaluation ingredient and parametric roadside pollution system “traffic flow-road”]. – Kyiv. NTU, 2011. 77 [in Ukrainian].

14. Ahn, K., Rakha, H., Trani, A., & Van Aerde, M. (2002). Estimating vehicle fuel consumption and emissions based on instantaneous speed and acceleration levels. *Journal of Transportation Engineering*, 128(2), 182-190, DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2002)128:2(182).

15. Du, J., Rakha, H. A., Filali, F., & Eldardiry, H. (2021). COVID-19 pandemic impacts on traffic system delay, fuel consumption and emissions. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 10(2), 184–196, DOI: 10.1016/j.ijtst.2020.11.003.

РЕФЕРАТ

Костьян Н.Л. Комплексна оцінка енергоефективності міського пасажирського транспорту / Н.Л. Костьян // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Досліджено науково-технічну задачу оцінювання та підвищення ефективності міського пасажирського транспорту за критерієм його екологічної безпеки та енерговитрат. Запропоновано комплексний показник енергоефективності, що ґрунтується на використанні зважених часткових оцінок механічної та енергетичної ефективності транспортних засобів. Обидві оцінки враховують фактичні енерговитрати транспорту на ділянках міських маршрутів. Адаптовано зазначений показник для визначення енергоефективності автобусів великого класу. Часткова оцінка механічної ефективності враховує технічні та експлуатаційні характеристики транспортного засобу, параметри пасажиропотоку на маршруті, градієнт дороги, погодні умови. Найбільш суттєвими є швидкість, прискорення та режими руху транспортного засобу. Розроблено аналітичні моделі оцінювання ефективності автобуса великого класу на окремому перегоні та послідовності перегонів заданого маршруту. В межах реалізації побудованих моделей розраховано значення корисної роботи на відрізках заданого перегону протягом фіксованого часового інтервалу. При цьому, зважена енергоефективність автобуса на досліджуваному маршруті дорівнює 0,20. Результати дослідження доцільно використовувати для контролю та прогнозування ефективності, а також визначення оптимальних режимів роботи міського пасажирського транспорту на маршрутах вулично-дорожньої мережі на мікро- та макрорівні в процесі транспортного планування великих міст. Запропоновано

методику також доречно застосовувати для порівняння та вибору транспортного засобу для здійснення раціонального перевезення пасажирів у межах міста. Подальші дослідження будуть спрямовані на налаштування комплексного показника енергоефективності на оцінювання інших категорій транспортних засобів та коригування відповідних вагових коефіцієнтів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КРИТЕРІЙ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ, КОМПЛЕКСНИЙ ПОКАЗНИК ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ, МІСЬКИЙ ПАСАЖИРСЬКИЙ ТРАНСПОРТ, КОРИСНА РОБОТА.

ABSTRACT

Kostian N.L. Complex energy efficiency evaluation of urban passenger transport. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The scientific and technical problem of evaluating and improving the efficiency of urban passenger transport by the criterion of its environmental safety and energy consumption has been studied. A comprehensive energy efficiency indicator based on the use of weighted partial assessments of mechanical and energy efficiency of vehicles is proposed. Both estimates take into account the actual energy consumption of transport on urban routes. This indicator has been adapted to determine the energy efficiency of high-class buses. Partial assessment of mechanical efficiency takes into account the technical and operational characteristics of the vehicle, the parameters of passenger traffic on the route, the road gradient, weather conditions. The most important are the speed, acceleration and modes of movement of the vehicle. Analytical models for evaluating the efficiency of a high-class bus on a single haul and the sequence of hauls of a given route have been developed. Within the limits of realization of the constructed models the value of useful work on segments of the set haul during the fixed time interval is calculated. At the same time, the weighted energy efficiency of the bus on the studied route is equal to 0,20. The results of the study should be used to control and forecast efficiency, as well as to determine the optimal modes of urban passenger transport on the routes of the road network at the micro and macro levels in the process of transport planning of large cities. The proposed methodology is also appropriate to apply to the comparison and selection of a vehicle for the rational transportation of passengers within the city. Further research will focus on adjusting the integrated energy efficiency indicator to assess other categories of vehicles and adjust the relevant weights.

KEY WORDS: ENERGY EFFICIENCY CRITERIA, COMPLEX ENERGY EFFICIENCY INDICATOR, URBAN PASSENGER TRANSPORT, USEFUL WORK.

АВТОР:

Костян Наталія Леонідівна, кандидат технічних наук, доцент, Черкаський державний технологічний університет, доцент кафедри автомобілів та технології їх експлуатації, e-mail: 438knl@gmail.com, тел. +380978480339, Україна, 18006, м. Черкаси, бул. Шевченка, 333, к.206, orcid.org/ 0000-0002-1599-4007.

AUTHOR:

Kostian Nataliia, Ph.D in Technical Science, Associate Professor, Cherkasy State Technological University, Associate Professor, Department of Automobiles and Technologies of their Operating, e-mail: 438knl@gmail.com, tel. +380978480339, Ukraine, 18006, Cherkasy, br Shevchenko, 333, of. 206, orcid.org/ 0000-0002-1599-4007.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

Тарандушка Л.А., доктор технічних наук, професор, Черкаський державний технологічний університет, завідувач кафедри автомобілів та технології їх експлуатації, Черкаси, Україна.

REVIEWER:

Sakhno V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of Automobiles, Kyiv, Ukraine.

Tarandushka L.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Cherkasy State Technological University, Head of the Department of Automobiles and Technologies of their Operating, Cherkasy, Ukraine.

УПРАВЛІННЯ ТА РОЗВИТОК ЛЮДСЬКИХ РЕСУРСІВ В ПРОЦЕСІ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

Красноштан О.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, olexander.krasnoshtan@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9866-9930

MANAGEMENT AND DEVELOPMENT OF HUMAN RESOURCES IN THE PROCESS OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF TRANSPORT SYSTEMS

Krasnoshtan O.M., Candidate of Science (Engineering), National transport university, Kyiv, Ukraine, olexander.krasnoshtan@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9866-9930

Постановка проблеми.

Поточний стан розвитку транспортної галузі гостро порушує питання необхідності забезпечення інноваційного розвитку транспортної системи країни. Зазначений розвиток можливо забезпечити лише застосуванням комплексного підходу.

Транспортна система за визначенням є великою людино-машинною системою. І її збалансований розвиток можливий лише в комплексному добре синхронізованому розвитку обох великих підсистем цієї системи:

- Технічної
- Людської.

Розвиток транспортних систем йде все зростаючими темпами, розширюється номенклатура технічних засобів, рівень технізації яких постійно зростає. Традиційні елементи транспортної системи набувають нових функцій, яких раніше вони не мали. Утворюються транспортні системи глобального масштабу. По мірі розвитку транспортна система змінила свою роль та місце в житті людства: вона стала визначальним фактором розвитку глобальної та національної економік та суспільств. Це призвело до зміни рівня і якості життя людей, геополітичної ситуації в світі та зумовило створення нової світової структуризації та зміни в глобальній конкуренції. Природньо, що зміна ролі транспорту в житті людства і глобальні масштаби перетворень вимагають нового теоретичного осмислення ситуації. Перш за все – щодо кадрового забезпечення нових видів техніки та функцій, які реалізуються.

Поява нових потреб у суспільстві та зміна ролі цільових перетворень висувають принципово відмінні від існуючих вимоги до особистості та професійно значущих якостей кадрів. Актуальними стають вищий професіоналізм, глобальне гуманізоване інноваційне мислення, поєднане з активністю, ініціативністю та, в той же час, з самостійністю і високою відповідальністю фахівця перед собою та людством.

Досягнення цього не можливе без системного освоєння технічних дисциплін, яке на сьогодні в існуючих організаційно – методичних системах ще не досягається.

У зв'язку з цим постає проблема реформування і розвитку інноваційної освітньої системи і, зокрема, тієї її складової, яка забезпечує післядипломне навчання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

На сьогодні присутня велика кількість наукових робіт, в яких детально та широко розглянуто питання підготовки кадрів для транспортної галузі. Розглянуто як питання змісту, так і педагогічні аспекти.

Так в [1] детально та змістовно розглянуто ретроспективу системи освіти для підготовки фахівців, необхідних для функціонування і розвитку транспортної системи.

Дослідженню проблем удосконалення підготовки фахівців для виробничого сектору та транспорту у ВНЗ в умовах використання сучасних ІКТ присвячені роботи В. Г. Гриценка [2], Громова О.В. [3], О. В. Євдокимова [4], Ю.М. Красюк [5], Н. В. Морзе [6], та ін.

Проблеми фундаменталізації вищої освіти розглядали в своїх роботах Дмитриченко М.Ф., Русановський О.К., Сидоренко В.К., Терещук Г.В. та інші [7].

Необхідність забезпечення розвитку системи підготовки кадрів для забезпечення інноваційного розвитку транспортної системи цілком підтримується Урядом України. Так,

затвердженою Урядом Стратегією розвитку вищої освіти в Україні на 2022-2032 роки [8], серед пріоритетних завдань визначено кадрове забезпечення висококваліфікованими спеціалістами інноваційного розвитку основних галузей економіки, зокрема транспортної галузі.

Разом із тим, на сьогодні питання розвитку повністю не досліджене. Так, не знайдено єдиної думки щодо змісту та обсягів, якими повинні оволодіти спеціалісти, що будуть задіяні для подальшого інженерно-технічного забезпечення інноваційного розвитку транспортних систем, не винайдено єдиних підходів, які б могли запропонувати вирішення системних проблем та протиріч, які наразі стоять на шляху до бурхливого та всеосяжного їх розвитку.

Основна частина.

Структури сучасних транспортних систем мають інтегративний характер. В них формуються інноваційно-інвестиційні системи різного ієрархічного рівня, в тому числі регіонального, національного, міжнародного та глобального значення. Саме останні системи забезпечують прискорений і ефективний інноваційний та соціально-економічний розвиток країни-власника такої системи, визначають її місце в світовій структуризації.

На сьогодні в Україні спостерігається недостатня кількість кадрів, які вміють створювати та реалізувати лідерні розробки з врахуванням повного інноваційно-інвестиційного циклу, включаючи генерування ідей, відпрацювання та впровадження великомасштабних інновацій

Системи галузеутворюючого, макроекономічного та глобального значення, якими є і транспортні системи, повинні очолювати генеральні конструктори – фахівці вищої кваліфікації (кандидати і доктори наук), здатні формувати і реалізовувати державну, галузеву (підгалузеву) та регіональну промислову політику, розробляти і запроваджувати науково-технічні рішення на рівні кращих світових зразків. Цільова і системна підготовка таких кадрів в Україні наразі не проводиться.

У той же час фаховій діяльності генеральних конструкторів на вищих рівнях ієрархії властиві виняткові якості, зокрема:

- поліфункціональність та міжгалузевий характер професійних дій генеральних конструкторів;
- рівень підготовки, що відповідає конкурентноздатності на світовому ринку;
- віддаленість по часу навчання у закладах вищої освіти від терміну основної роботи над створенням великомасштабних інновацій;
- персональна соціальна відповідальність за наслідки від прийнятих рішень;
- суттєва обмеженість часу на набуття нових знань, вмінь і навичок.

Ці фахівці повинні:

- знаходити в умовах багатомірної невизначеності рішення, що відповідають потребам стратегічного соціально-економічного та науково-технічного розвитку;
- створювати та впроваджувати великомасштабні лідерні науково-технічні розробки шляхом інтегрування найновіших різноаспектних знань;
- організовувати та координувати роботу численних колективів, кожен з яких має свої локальні цілі і можливості, що часто протирічать головній меті створення інновації.

Набуття таких якостей є завданням, що вимагає спеціальної підготовки.

Профільними знаннями генеральних конструкторів є знання з технічних дисциплін, які враховують особливості всіх етапів інноваційно-інвестиційного циклу. Для забезпечення лідерних результатів вони повинні бути випереджаючими.

Кадри для транспортної галузі готуються в загальній та галузевій освітніх системах. Загальна освітня система забезпечує підготовку бакалаврів, спеціалістів, магістрів і, частково, кадрів вищої кваліфікації – кандидатів та докторів наук.

Підготовку робочих кадрів з різних спеціальностей, значну частку кадрів вищої кваліфікації та перепідготовку і підвищення кваліфікації кадрів всіх рівнів і професій повинна забезпечувати галузева освітня система.

Якщо загальноосвітня система в значній мірі зберегла свій потенціал і забезпечує підготовку кадрів для задоволення потреб транспорту, то галузева система освіти стала не повністю інституціонально неспроможною виконувати свої завдання.

Проведений на основі оцінки експертів аналіз [9] свідчить, що наявні її інституції не охоплюють кадрів у належних масштабах і якості процесами підготовки та перепідготовки (таблиця 1). Це відноситься також до рівня галузеутворюючих, макроекономічних та глобальних систем, які очолюють генеральні конструктори.

Таблиця 1 – Охоплення процесами підготовки та перепідготовки кадрів галузевою освітньою системою в Україні

Table 1 – Personnel coverage by training and retraining processes of the branch education system in Ukraine

Ієрархічний рівень кадрів	Процеси підготовки		Процеси перепідготовки	
	Кількість, %	Рівень якості	Кількість, %	Рівень якості
Глобальні, макроекономічні та галузеві системи	0 (не проводяться)	-	0 (не проводяться)	-
Інтегральні системи об'єднань і підприємств	0 (не проводяться)	-	до 15 %	недостатній
Локальні виробничі системи	0 (не проводяться)	-	до 30%	недостатній
Робочі місця для технологій: інноваційних; традиційних	до 5 % до 10 %	задовільний задовільний	до 10 % до 15 %	задовільний задовільний

Звідси витікає висновок, що існуюча галузева освітня система вимагає проведення оптимізації кількісного та якісного складу її інституцій, у першу чергу для забезпечення підготовки та перепідготовки кадрів для тих рівнів транспортної галузі, які визначають інноваційний розвиток.

Враховуючи вказане модель системно-мислєдїяльнїсного комплексу освітньої системи можна задати набором шарів.

Шари виділяються з тим, що будь-яка складна система у реальному просторі може структуруватись на дві складові згідно з функціями, які виконуються: основну і управляючу. (Додаткові функції в цій роботі не розглядаються). Саме ці складові практично реалізують цільову функцію системи, утворюючи шар практики. Управління здійснюється на основі процесів поетапної конкретизації інформації (знань) у відповідності із законами мислення при вирішенні задач синтезу, спрямовуючи рух від абстрактного до конкретного [10].

У порядку конкретизації інформації з цього питання можна виділити наступне.

Верхній, найбільш абстрактний шар ієрархії, займає світогляд, який задає загальні ціннісні установки і принципи.

Далі йде другий шар, в якому розміщується ідеологія з її ідеями та зразками. Тут формуються критерії оптимізації.

Третій шар – шар часткових філософських та методологічних теорій, що витікають з ідеології і призначені для обслуговування освітніх установ. Об'єкти цього шару забезпечують систему необхідною організованістю, сприяючи її онтологічній та предметній цілісності, процесам функціонування та відтворення, а також формуванню основ освітньої суб'єктності.

Четвертий шар – це шар прикладної науки. Він є найбільш конкретизованим із теоретичних шарів, що проявляються в семіотичному просторі. Цей шар орієнтується на програми та проекти, що відтворюють структури та інституції, які реалізують освіту, а також зводи знань. Останні складають предметну сутність освітньої системи, яка створюється на основі розробки шару часткових філософських та методологічних теорій. Відповідні “прикладні” науки з цього шару забезпечують знаннями архітектуру та інженерію, утворюючи проміжний шар між шаром філософії, методології освіти і шаром освітньої архітектури та інженерії.

П'ятий шар – це шар, що предметно проявляється у реальному просторі. Він є шаром освітньої архітектури та інженерії (освітнього інституціоналізму).

Власне освітня практика – шостий шар – і є освітнім “виробництвом”, точніше – процесом функціонування та відтворення освітньої системи.

Показана на рис. 1 структурна модель СМД – комплексу за функціями адекватна поліантропній освітній системі. Вона структурно відтворює ієрархічну багатомірну сутність цієї системи з детермінованим призначенням і функціями кожного шару.

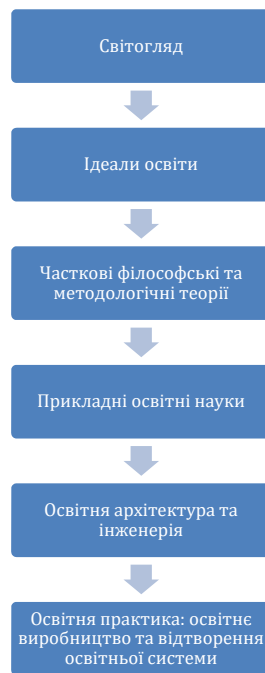


Рисунок 1 – Структурна модель СМД – комплексу галузевої освітньої системи
Figure 1 – Structure model of system-cognitive complex of industry educational system

Виходячи із завдань, що витікають з Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року [11] та враховуючи наявність розробок [9], можна визначити потрібні характеристики галузевої освітньої системи для транспортної галузі:

- здатність до підготовки та перепідготовки кадрів потрібних професій і кваліфікації, в тому числі – вищої, з інноваційним мисленням;
- достатні для виконання своєї ролі масштаби;
- орієнтація на творчість, випереджаючий характер знань і умінь;
- конкурентоздатність і саморозвиток;
- інтеграція у загальну систему (національну та міжнародну) освіти і науки.

По вказаним характеристикам можна синтезувати ознаки потрібної галузевої освітньої доктрини. В таблиці 2 наведений один із варіантів ознак потрібної та ознаки існуючої галузевих освітніх доктрин.

Виходячи з потрібних властивостей галузевої освітньої системи базовою ідеєю – новою доктриною – можна визначити ідею випереджаючої підготовки творчих, інноваційно мислячих програмно-орієнтованих команд фахівців у системі, здатній до самоорганізації та інтегрований у відповідну науково-навчально-проектно-виробничу структуру.

Обґрунтування вказаної вище доктрини витікає з її:

- внутрішньої і зовнішньої системної відповідності потребам інноваційного розвитку галузі, узгодженості з іншими доктринами;
- співмірності сучасним світовим тенденціям;
- історичної та культурної вивіреності, в тому числі історичної природності;
- потенційної можливості розвитку з самообмеженнями на процес розвитку.

При цьому враховується, що сучасні інноваційні транспортні підприємства-лідери працюють командами з використанням кластерів інноваційно-інвестиційних проектів [12]. Вказане інтегрується ідеями суб'єктної цінності та інноваційності. Нові знання при цьому повинні замінювати існуючі, формуючи нове обличчя освіти.

Зміни в системі галузевої освіти йдуть під впливом двох факторів: ринкової самоорганізації і цільових дій органів управління. Механізми впливу цих факторів різні. Спрямованість самоорганізаційних процесів забезпечується макроекономічними методами, відповідним нормативно-правовим полем, регулюванням станів суб'єктів ринків освіти та праці. Органи управління в ринкових умовах можуть в межах своєї компетенції виконувати весь комплекс випереджуючих дій, наслідком яких будуть необхідні зміни в освітній сфері.

Таблиця 2 – Головні ознаки галузевих освітніх доктрин
Table 2 – The main features of industry's educational doctrines

№ п/п	Найменування ознаки	Доктрини	
		Існуюча	Потрібна
1	Рівень визначення мети	Система галузевої освіти	Суспільство і промисловість
2	Сутність мети навчання	Здобуття освіти	Створення умов для творчої самореалізації особистості в середовищі процесів інноваційного розвитку суспільства та промисловості
3	Шляхи досягнення мети	Освоєння певної сукупності професійних знань та умінь	Освоєння методу безперервного випереджаючого пізнання, інноваційного творчого мислення і певної сукупності професійних знань та умінь
4	Метод досягнення мети	Вибір змісту навчального процесу	Формування нового інституціонального складу галузевої освітньої системи та вибір змісту навчального процесу
5	Інструментарій	Педагогічна система	Інституціональна система
6	Задіяні об'єкти	Викладачі і суб'єкти навчального процесу	Уклади, сфери діяльності, організаційні структури, інноваційні процеси, викладачі і суб'єкти навчального процесу
7	Зв'язки із суміжними галузями	Звужені, статичні	Розширені, динамічні, адаптивні

Основними структурними елементами освітньої системи, що підлягають оптимізації для формування нового освітнього простору у промисловості, є такі:

- освітні заклади та їх інституціональна структурованість;
- викладачі, наукові керівники;
- система команд (груп) суб'єктів навчання;
- функціональні відношення викладачів і суб'єктів навчання;
- зміст (програми) навчання;
- форми і методи навчання.

Вказані структурні елементи є предметом реформування освітньої системи.

Беручи до уваги той факт, що людина має три іпостасі фізичну, соціально-професійну та морально-духовну, виходячи з другого поняття системи розглядаючи генерального конструктора як суб'єкта науково-навчально-проектно-виробничої інноваційної системи, можна виділити необхідні складові якостей (компетенцій) і визначити елементи системи (надсистеми), які їх формують (таблиця 3).

Виходячи з наведених в таблиці 3 даних, формування потрібних якостей (компетенцій) суб'єктів навчання проводиться з допомогою всіх елементів інноваційно – інвестиційної системи та над системи, тобто забезпечується ефект комплексного інституціонального впливу. При цьому навчання і виховання майбутніх генеральних конструкторів організовуються з використанням дієвих підходів: особистісного, індивідуального, диференційованого, суб'єктно-об'єктного, діяльнісного, творчого та вербального [13].

Системи освіти і виборництва повинні мати певний ступінь інтеграції. При горизонтальній інтеграції кожна з підсистем має свій вид, який відповідає призначенню щодо реалізації фаз інноваційно-інвестиційного циклу. У вертикально інтегрованих системах всі підсистеми є одного і того ж виду, відрізняючись місцем в ієрархії. Внаслідок цього при горизонтальній інтеграції забезпечується реалізація процесу функціонування, а при вертикальній – процесу відтворення системи.

Підсистеми можуть взаємодіяти між собою безпосередньо, з допомогою системи управління (жорстко) або через ринок (гнучко).

Таблиця 3 – Якості (компетенції) суб'єктів навчання та формуючі їх елементи
Table 3 – Qualifications (competencies) of subjects of study and their forming elements

№ п/п	Назва якості (компетенції)	Зміст якості (компетенції)	Формуючі елементи системи та над системи
Фізична іпостась			
1	Фізична	Здатність до активної фізичної діяльності, перенесення фізичних навантажень	Навчальна, над системна
2	Фізично-методична	Вміння організувати режим праці і відпочинку для себе і підлеглих у відповідності з діючими нормативами	Навчальна, над системна
Соціально-професійна іпостась			
3	Світоглядна	Розуміння світобудови і загальних законів розвитку	Наукова, навчальна, над системна
4	Професійно-цільова	Здатність створювати і впроваджувати лідерні інновації	Наукова, навчальна, проектно-виробнича
5	Управлінська	Здатність керувати процесом створення і реалізації інновацій	Навчальна, проектно-виробнича
6	Комунікативна	Здатність до професійного спілкування на різних, включаючи вищий, ієрархічних рівнях	Навчальна, над системна
7	Методична	Компетенція щодо засобів, методів, форм і технологій створення і реалізації інновацій	Наукова, навчальна, проектно-виробнича
8	Регламентно-нормативна	Компетенція щодо нормативної бази, регламентуючої інноваційно-інвестиційну діяльність	Наукова, навчальна, над системна
9	Історично-ретроспективна	Компетенція щодо історії інновацій та законів їх розвитку	Наукова, навчальна, над системна
10	Матеріалознавче-технологічна	Компетенція щодо матеріалознавства і технології виробництва	Наукова, навчальна, проектно-виробнича, над системна
Морально-духовна іпостась			
11	Аутопсихологічна	Компетенція щодо гідності і недоліків своєї особистості і діяльності	Навчальна, над системна
12	Акмеологічна	Компетенція щодо доведення власної діяльності до рівня вищої майстерності	Наукова, навчальна, проектно-виробнича, над системна
13	Загально-культурна	Компетенція щодо надбань і процесів вітчизняної та світової культури	Навчальна, над системна
14	Морально-вольова	Здатність до перенесення значних морально-психологічних навантажень та організації сприятливого морального клімату в колективі	Навчальна, над системна

Горизонтально і вертикально інтегровані системи розрізняються рівнями інтеграції. У горизонтально інтегрованих системах значення рівня залежить від кількості підсистем, що реалізують відповідні фазові цикли загального інноваційно-інвестиційного циклу. У вертикально інтегрованих системах воно визначається кількістю ієрархічно підпорядкованих підсистем, призначених для виконання загальної функції системи. Значення рівня інтеграції зростає при збільшенні кількості включених до системи підсистем.

Види підсистем, що включаються до складу інтегрованої системи, визначають тип системи. В таблиці 4 наведені дані про можливі значення рівнів інтеграції і основні типичоризонтально, вертикально, змішано а комплексно інтегрованих систем у відповідності з видами підсистем, що об'єднуються.

Таблиця 4 – Можливі значення рівнів інтеграції і типи інтегрованих навчально-інноваційних систем

Table 4 – Possible values of levels of integration and types of integrated educational and innovative systems

Значення рівня інтеграції	Склад (види) задіяних підсистем	Тип системи
0	$Y+H_0$	Не інтегрована
1	$Y+(H_0+H_1)$ —	Вертикально інтегрована
1	$Y+(H_0+A)$, $A \in \{M, D, P, B, E\}$	Горизонтально інтегрована
2	$Y+(H_0+H_1+H_2)$	Вертикально інтегрована
2	$Y+(H_0+B)$, $B \in \{(M+D), (M+P), (M+B), (M+E), (D+P), (D+B), (D+E), (P+B), (P+E), (B+E)\}$	Горизонтально інтегрована
3	$Y+(H_0+H_1+H_2+H_3)$	Вертикально інтегрована
3	$Y+(H_0+C)$, $C \in \{(M+D+P), (M+D+B), (M+D+E), (D+P+B), (D+B+E), (P+B+E)\}$	Горизонтально інтегрована
4	$Y+(H_0+D)$, $D \in \{(M+D+P+B), (M+D+P+E), (M+P+B+E), (M+D+B+E), (D+P+B+E)\}$	Горизонтально інтегрована
5	$Y+(H_0+M+D+P+B+E)$	Горизонтально інтегрована
6	$Y+(H_0+H_1)+(M+D+P+B+E)$	Змішано (вертикально-горизонтально) інтегрована
7	$Y+(H_0+H_1+H_2)+(M+D+P+B+E)$	Змішано (вертикально-горизонтально) інтегрована
8	$Y+(H_0+H_1+H_2+H_3)+(M+D+P+B+E)$	Комплексно інтегрована

Підсистеми позначені: Y – управляюча, M – маркетингова, D – науково-дослідна, H – навчальна, P – проектна, B – виробнича, E – експлуатаційна. Цифрові індекси вказують на ієрархічні рівні навчальних підсистем.

В наведеній класифікації одна, не об'єднана з іншими системами, навчальна система має нульове значення рівня інтеграції.

При горизонтальній інтеграції перший рівень мають системи, що включають, крім навчальної, ще одну підсистему, яка реалізує відповідний фазовий цикл, наприклад, маркетингову або науково-дослідну. Другий рівень передбачає наявність двох приєднаних підсистем, наприклад, науково-дослідної і проектної. До цього рівня належать традиційні навчально-науково-виробничі комплекси, що мають склад $Y+(H_0+D+B)$. Третій рівень передбачає наявність трьох підсистем, четвертий – чотирьох і, нарешті, п'ятий – п'яти підсистем різного виду. Навчальна система, як базова, входить у всі види горизонтально інтегрованих систем.

Для вертикальної інтеграції перший рівень відповідає включенню до складу системи додатково ще одного навчального закладу нижчого ступеню підготовки. Наприклад, це має місце, коли вищий навчальний заклад інтегрується з коледжем. Для другого рівня вертикальної інтеграції потрібно щоб вищий навчальний заклад інтегрувався з двома навчальними закладами, які утворюють свою ієрархію. Це можуть бути: технікум і школа, коледж і ліцей або інші навчальні заклади відповідного ступеню підготовки.

Горизонтально інтегровані системи різних рівнів із різними видами задіяних підсистем реалізують різні фрагменти інноваційно-інвестиційного циклу і, відповідно, мають різні напрямки навчання, які відповідають видам підсистем, що інтегруються.

При вертикальній інтеграції підсистем реалізується лише навчальний фазовий цикл. Зростання рівня систем з цим видом інтеграції розширює можливості процесів її відтворення. Як правило, в межах існуючих типів навчальних закладів рівень вертикальною інтеграції не перевищує трьох.

Комплексно інтегровані системи найвищого рівня (восьмого – в межах прийнятої системи класифікації) здатні реалізувати повний інноваційно-інвестиційний цикл і повний цикл відтворення.

Оскільки рівень інтеграції і види підсистем, що інтегруються, визначають можливості системи щодо впливу її інституціонального складу на процес навчання, для підготовки кадрів різних рівнів промислової ієрархії та різних спеціальностей потрібні свої рівні інтеграції і відповідні види підсистем, що інтегруються. Базовими тут є два принципи. Перший принцип – відповідності рівня промислової ієрархії рівню горизонтальної інтеграції. Чим вище рівень цієї ієрархії, тим вищим повинен бути рівень інтеграції. Другий принцип – відповідності між спеціальністю і видом фазового циклу та підсистеми, що його реалізує. Наприклад, для кваліфікації інженерів-експлуатаційників достатньо мати другий рівень інтеграції, при якому до складу горизонтально інтегрованої системи входить, крім навчальної, експлуатаційна підсистема. В той же час, для ефективної підготовки кадрового резерву генеральних конструкторів, управлінські дії яких охоплюють всі фази інноваційно-інвестиційного циклу, потрібно мати комплексно інтегровану систему.

Важливим є рівень автономності підсистем, що інтегруються. Найменший рівень автономності забезпечується тоді, коли складові елементи системи є її адміністративно підпорядкованими функціональними підрозділами, а найбільший – коли підсистеми є юридичними особами, поєднаними у формі асоціації.

Для повного вирішення поставлених в цій статті задач, необхідно детально розглянути питання формування вимог до технічних знань та умінь майбутніх генеральних конструкторів транспортних систем.

Відповідь на це питання можна отримати, аналізуючи посадові обов'язки фахівців рівня генеральних конструкторів з врахуванням результатів досліджень, опублікованих в роботах [14, 15]. По мірі розвитку транспортних систем, їх географічного, економічного та технологічного розширення, з'явилося багато напрямків діяльності, пов'язаних з потребою формування нових галузеутворюючих, макроекономічних і глобальних технологій, які повинні очолювати фахівці вищої кваліфікації в ранзі генеральних конструкторів. В таблиці 5 наведені приклади посад, на які можуть претендувати такі фахівці.

Таблиця 5 – Приклади посад, де потрібні фахівці вищої кваліфікації у ранзі генеральних конструкторів

Table 5 – Examples of positions that require highly qualified specialists in the rank of general designers

№ п/п	Системи організації професійної діяльності	Можливі посади
1	Системи загально-галузевого управління транспортом (Міністерство інфраструктури, служби, агентства і департаменти за видами транспорту, керівники транспорту в органах місцевого самоврядування та інші)	Заступники міністра, заступники генерального директора агентства. Директори (голови) або заступники директорів (голів) департаментів, агентств, служб.
2	Системи регіонального управління промисловими комплексами	Начальники, перші заступники та заступники головних управлінь промисловості, транспорту і зв'язку
3	Макроекономічні об'єднання (фінансово – промислові групи, корпорації, концерни, холдинги)	Генеральні конструктори макроекономічних систем
4	Галузеутворюючі об'єднання, товариства (науково – виробничі, виробничі)	Генеральні конструктори галузеутворюючих систем
5	Головні науково-дослідні та дослідно-конструкторські організації з напрямків розвитку систем, техніки і технології	Генеральні конструктори (їх заступники з напрямків розвитку техніки на рівні підгалузі)

Генеральний конструктор займається комплексним вирішенням задач, пов'язаних з створенням і впровадженням великомасштабних інновацій, що суттєво впливають на природну та соціальну сфери. В зв'язку з цим він повинен володіти досить повними знаннями з технічних наук,

психології, фізіології, соціології, економіки, організації, методів управління та інших наук. Поскілки генеральний конструктор забезпечує реалізацію повних інноваційно – інвестиційних циклів, знання відповідних наук, вміння та навички їх застосування потрібні для вирішення завдань кожного з етапів цих циклів.

Сукупність всіх етапів інноваційно-інвестиційного циклу вимагає від генерального конструктора знань щодо наукових досліджень в галузі маркетинга, наукових досліджень, техніки, проектування, виготовлення, випробування, сертифікації, експлуатації та перетворення (ремонт, модернізація, ліквідація) і управління технічними системами транспорту на галузеутворюючому, макроекономічному та глобальному рівнях.

Таблиця 6 – Характеристики елементів діяльності та вимоги до знань і вмінь генеральних конструкторів

Table 6 – Characteristics of elements of activity and requirements for knowledge and skills of general designers

Елементи Діяльності	Характеристики елементів діяльності	Вимоги до знань і вмінь генеральних конструкторів
Мета (результат)	Створення і реалізація великомасштабних лідерних інновацій	Знати: теорію цілеполагання. Вміти: визначати систему цілей, стратегічну і поточну мету діяльності.
Продукт	Створені і реалізовані лідерні великомасштабні інновації	Знати: теорію інновацій, методи породження, функціонування, розвитку, комунікації і управління в технічних системах. Вміти: створювати і реалізовувати великомасштабні лідерні інновації.
Предмет	Технічні (транспортні) системи різноманітного призначення	Знати: теорію техносфери та її елементів. Вміти: виконувати моделювання, аналіз, синтез, систематику, прогнозування розвитку технічних систем, створювати складні технічні (транспортні) системи.
Засоби	Інформаційно-знанєві системи. Системи наукових та маркетингових досліджень, проектування. Виробничі системи. Системи збуту, експлуатації, сервісу і перетворення.	Знати: інформаційно-знанєвих, наукових, маркетингових, проектувальних, виробничих, збутових, експлуатаційних, сервісних та перетворюючих систем. Вміти: використовувати вказані системи.
Процес	Маркетингу, наукової діяльності, конструювання і проектування, підготовки виробництва, складання, випробування, сертифікації, збуту, експлуатації, сервісу, перетворень (ремонт, модернізація, ліквідація) технічних систем	Знати: теорію маркетингу, наукової діяльності, конструювання і проектування, підготовки виробництва, виробництва, складання, випробування, сертифікації, збуту, експлуатації, сервісу, перетворень (ремонт, модернізація, ліквідація) технічних систем. Вміти: моделювати, аналізувати, синтезувати, управляти вказаними процесами.

При вирішенні задач щодо визначення вимог до знань, умінь та навичок генеральних конструкторів треба мати на увазі головні обставини. Перша – великомасштабність об'єктів, що розробляються: на рівні галузі, макротехнології чи глобальної технології. Друга – застосування у сучасних інноваціях великої кількості різнорідних фізичних, хімічних, біологічних та інших ефектів.

Наприклад, система управління сучасним літаком передбачає застосування механічних, гідравлічних, аеродинамічних, електричних, електронних, світлових, лазерних, плазмових, теплооптичних та інших ефектів. І, нарешті, третя – великомасштабні інновації, що ґрунтуються на різновидових ефектах, є міжгалузевими.

Знання для кожного з етапів інноваційно – інвестиційного циклу треба вміти оптимально застосовувати. При цьому задача оптимізації є багатомірною, ієрархічною з критеріями оптимізації, які є змінними протягом життєвого та більш високих циклів техніки. Обмеження на рішення також є змінними. Тобто, генеральні конструктори повинні вміти вирішувати найбільш складні задачі аналізу, прогнозування та оптимізаційного багатокритеріального синтезу, що можуть моделюватись на рівні дедуктивних систем.

Освоєння методів вирішення цих задач є головним при формуванні вмінь та навичок створення технічних інновацій. Набуття вмінь і навичок, враховуючи багатомірність задач, що вирішуються генеральним конструктором, повинні йти одночасно (сумісно) з вирішенням задач пізнання та здійсненням інноваційно – інвестиційної діяльності в ранзі керівника проекту.

В таблиці 6 наведені характеристики елементів діяльності та вимоги до знань і умінь генеральних конструкторів, які визначені на основі загальної методології професійної освіти.

З наведених в таблиці 6 даних можна зробити висновок, що для виконання своїх професійних обов'язків, генеральний конструктор повинен знати основні складові теорії практично всієї техніки на всіх рівнях теорії техносфери.

Результати застосування такого підходу в узагальненому типовому вигляді представлені в таблиці 7.

Наведені в таблиці 7 теми сформовані у відповідності з визначеною раніше типовою структурою фундаменталізованої технічної дисципліни

Таблиця 7 – Основні складові тематичного плану типової технічної дисципліни з комплексу технічних дисциплін “технознавство”

Table 7 – The main components of the thematic plan of a typical technical discipline from the complex of technical disciplines "Technology"

№ п/п	Тема	Функція	Мета
1.	Загальна структура комплексу технічних дисциплін “технознавство”	Формування нових знань. Їх закріплення.	Сформувати знання про структуру комплексу технічних дисциплін “технознавство”
2.	Міжструктурні зв'язки та місце комплексу технічних дисциплін “технознавство” в навчальному процесі	Формування нових знань. Їх закріплення.	Сформувати уявлення про міжструктурні зв'язки та місце комплексу технічних дисциплін “технознавство” в навчальному процесі
3.	Типова структура фундаменталізованої технічної дисципліни	Формування нових знань. Їх закріплення.	Сформувати знання про типову структуру технічної дисципліни
4.	Мова та методи доказу істиності в теорії технічних дисциплін	Формування нових знань. Їх закріплення.	Сформувати знання про мову та методи доказу істиності в теорії технічних дисциплін
5.	Методи моделювання техніки	Формування нових знань. Їх закріплення. Урок формування нових вмінь.	Навчити методам моделювання та закріпити вміння моделювати складні технічні системи
6.	Методи аналізу технічних систем	Формування нових знань. Їх закріплення.	Сформувати знання методів аналізу технічних систем
7.	Закони породження технічних систем	Формування нових знань. Їх закріплення.	Сформувати знання законів породження технічних систем
8.	Закони будови технічних систем	Формування нових знань. Їх закріплення.	Сформувати знання законів будови технічних систем

№ п/п	Тема	Функція	Мета
9.	Закони функціонування технічних систем	Формування нових знань. Їх закріплення.	Сформувати знання законів функціонування технічних систем
10.	Закони розвитку технічних систем	Формування нових знань. Їх закріплення.	Сформувати знання законів розвитку технічних систем
11.	Закони комунікацій технічних систем	Формування нових знань. Їх закріплення.	Сформувати знання законів комунікацій технічних систем
12.	Закони управління в технічних системах	Формування нових знань. Їх закріплення.	Сформувати знання законів управління технічних систем
13.	Методи синтезу технічних систем	Формування нових знань. Їх закріплення.	Сформувати знання методів синтезу технічних систем
14.	Методи систематики технічних систем	Формування нових знань. Їх закріплення.	Сформувати знання методів систематики технічних систем
15.	Методи класифікації технічних систем	Формування нових знань. Їх закріплення.	Сформувати знання методів класифікації технічних систем
16.	Приклади лідерних зразків галузеутворюючих, макротехнологічних і глобальних технічних систем	Перегляд відеофільмів, голографічних зображень та натурних фрагментів технічних систем	Сформувати уявлення щодо прикладів лідерних зразків галузеутворюючих, макротехнологічних і глобальних технічних систем

Висновок.

Інноваційний розвиток транспортних систем на поточному етапі розвитку суспільства і глобальної економіки є безальтернативним шляхом. Всі інші підходи можуть носити лише частковий характер, що не призведе до бажаних цілей.

Транспортна система є людино-машинною системою. У зв'язку із цим для забезпечення гармонійності і збалансованості її інноваційного розвитку, слід забезпечити безперервний, інтенсивний і збалансований розвиток людського потенціалу зазначеної системи. Розвиток людського потенціалу транспортних систем повинен бути комплексно оптимізованим.

Інноваційний розвиток транспортної системи повинен відбуватись із застосуванням знань широкого спектру технічних, економічних та соціально гуманітарних дисциплін. Оволодіння всім їх спектром не можливий з часової та фізіологічної точок зору. У зв'язку із цим єдиним способом є формування комплексно-оптимізованої програми підготовки вищих керівних кадрів, що забезпечуватимуть процес інноваційного розвитку транспортних систем.

Для забезпечення гармонізованого процесу підготовки кадрового резерву для управління функціонуванням і інноваційним розвитком транспортної системи необхідно створити систему підготовки кадрів, глибоко інтегровану з виробничим процесом транспортної системи.

Ключовою ланкою в забезпеченні інноваційного розвитку транспортних систем є інститут генеральних конструкторів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Розвиток залізничного транспорту і підготовка кадрів середньої ланки в другій половині XIX ст. / О.М. Кривописин // Проблеми історії України XIX – початку XX ст.: Зб. наук. пр. — 2012. — Вип. 20. — С. 142-152.
2. Гриценко В. Г. Нові інформаційні технології при вивченні статистичних закономірностей у процесі підготовки вчителів фізики: Автореф. дис... канд. пед. наук: 13.00.02 / НПУ ім. М. П. Драгоманова.-К., 1999.-20 с.
3. Громов Є.В. Формування педагогічних знань і вмінь майбутніх інженерів – педагогів. Дис...канд. пед. наук: 13.00.02.-Харків, 2007.-187 с.
4. Євдокимов О. В. Нові педагогічні технології організації навчання студентів: Дис...канд. пед. наук: 13.00.01.-Х., 1997.-181 с.

5. Красюк Ю.М. Методика навчання інформатики студентів економічних спеціальностей: Дис. ... канд. пед. наук: 13.00.02. – Київ, 2004. – 248 с.
6. Морзе Н. В. Дистанційні технології як основа сучасних інформаційних технологій у навчанні // Наук.-метод. центр вищої освіти, Наук.-метод. центр середньої освіти. Вип. 27-К., 2003.-с. 64-78.
7. Дмитриченко М.Ф., Русановський О.К., Сидоренко В.К., Терещук Г.В. Фундаменталізація професійної підготовки у вимірі європейського освітнього простору/ Проблеми інженерно-педагогічної освіти. Збірник наукових праць. Випуск 9. – Харків, Українська інженерно-педагогічна академія “УІПА”, 2005.-с.7-13.
8. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 23 лютого 2022 р. №286-р «Про схвалення Стратегії розвитку вищої освіти в Україні на 2022-2032 роки». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>
9. Тернюк М.Є., Авдеєнко О.В.. Системо-мислєдїяльнїсний комплекс галузевої системи освіти для промисловості // Новый коллєгиум (Науковий інформаційний журнал. Проблеми вищої освіти). – 2006, – № 3, с.
10. Кедров Б.М. Диалектический путь теоретического синтеза современного научного знания// Синтез современного научного знания. – М.: 1973, с. 15-26.
11. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. №430-р «Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>
12. Макгрегор Дж. Мировые лидеры инноваций. – Business Week №15-16/24 апреля 2006 г., с. 32-45.
13. Методична система навчання технічних дисциплїн генеральних конструкторів у післядипломній підготовці: автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 / Шандиба Олена Василівна ; Укр. інж.-пед. акад. – Х., 2010. – 20 с. : рис.
14. Коваленко Е.Э. Методика профессионального обучения. Учебник для инженеров – педагогов, преподавателей спецдисциплин системы профессионально – технического и высшего образования. – Харьков: ЧП «Штрих», 2003. – 480 с.
15. Методика формування ергономічних знань та умінь майбутніх інженерів-педагогів в галузі комп'ютерних технологій: дис... канд. пед. наук: 13.00.02 / Сажко Галина Іванівна ; Українська інженерно-педагогічна академія. – Х., 2006. – 337 арк.: рис., табл. – арк. 209-228.

REFERENCES

1. Rozvytok zaliznychnoho transportu i pidhotovka kadriv serednoi lanky v druhii polovyni KhIKh st. / O.M. Kryvopishyn // Problemy istorii Ukrainy KhIKh – pochatku KhKh st.: Zb. nauk. pr. — 2012. — Vyp. 20. — S. 142-152.
2. Hrytsenko V. H. Novi informatsiini tekhnolohii pry vyvchenni statystychnykh zakonmironosti u protsesi pidhotovky vchyteliv fizyky: Avtoref. dys... kand. ped. nauk: 13.00.02 / NPU im. M. P. Drahomanova.-K., 1999.-20 s.
3. Hromov Ye.V. Formuvannya pedahohichnykh znan i vmin maibutnikh inzheneriv – pedahohiv. Dys...kand. ped. nauk: 13.00.02.-Kharkiv, 2007.-187 s.
4. Ievdokymov O. V. Novi pedahohichni tekhnolohii orhanizatsii navchannia studentiv: Dys...kand. ped. nauk: 13.00.01.-Kh., 1997.-181 s.
5. Kراسiuk Yu.M. Metodyka navchannia informatyky studentiv ekonomichnykh spetsialnostei: Dys. ... kand. ped. nauk: 13.00.02. – Kyiv, 2004. – 248 s.
6. Morze N. V. Dystantsiini tekhnolohii yak osnova suchasnykh informatsiinykh tekhnolohii u navchanni // Nauk.-metod. tsentr vyshchoi osvity, Nauk.-metod. tsentr serednoi osvity. Vyp. 27-K., 2003.-s. 64-78.
7. Dmytrychenko M.F., Rusanovskyi O.K., Sydorenko V.K., Tereshchuk H.V. Fundamentalizatsiia profesiinoi pidhotovky u vymiri yevropeiskoho osvitnoho prostoru/ Problemy inzhenerno-pedahohichnoi osvity. Zbirnyk naukovykh prats. Vypusk 9. – Kharkiv, Ukrainska inzhenerno-pedahohichna akademiia “UIPA”, 2005.-s.7-13.
8. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 23 liutoho 2022 p. №286-r «Pro skhvalennia Stratehii rozvytku vyshchoi osvity v Ukraini na 2022-2032 roky». – [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>

9. Terniuk M.Ie., Avdieienko O.V.. Systemo-myslediialnisnyi kompleks haluzevoi systemy osvity dlia promyslovosti // Novyi kollehyum (Naukovyi informatsiyni zhurnal. Problemy vyshchoi osvity). – 2006, – № 3, s.
10. Kedrov B.M. Dyalektycheskyi put teoretycheskoho synteza sovremennoho nauchnoho znanyia// Syntez sovremennoho nauchnoho znanyia. – M.: 1973, s. 15-26.
11. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30 travnia 2018 p. №430-r «Pro skhvalennia Natsionalnoi transportnoi stratehii Ukrainy na period do 2030 roku». – [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>
12. Makhrehor Dzh. Myrovyye lyderyy ynnovatsyi. – Busines Week №15-16/24 apreliia 2006 h., s. 32-45.
13. Metodychna systema navchannia tekhnichnykh dysyplin heneralnykh konstruktoriv u pisliadyplomnii pidhotovtsi: avtoref. dys. ... kand. ped. nauk : 13.00.02 / Shandyba Olena Vasylivna ; Ukr. inzh.-ped. akad. – Kh., 2010. – 20 s. : rys.
14. Kovalenko E.Э. Metodyka professyionalnoho obuchenya. Uchebnyk dlia ynzhenerv – pedahohov, prepodavatelei spetsdysyplyn systemy professyionalno – tekhnicheskoho y vysshoho obrazovanyia. – Kharkov: ChP «Shtrykh», 2003. – 480 s.
15. Metodyka formuvannia erhonomichnykh znan ta umin maibutnykh inzheneriv-pedahohiv v haluzi kompiuternykh tekhnolohii: dys... kand. ped. nauk: 13.00.02 / Sazhko Halyna Ivanivna ; Ukrainaska inzhenerno-pedahohichna akademiia. – Kh., 2006. – 337 ark.: rys., tabl. – ark. 209-228.

РЕФЕРАТ

Красноштан О.М. Управління та розвиток людських ресурсів в процесі інноваційного розвитку транспортних систем / О.М. Красноштан // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

В статті запропоновано підхід до удосконалення структури та параметрів підготовки кадрового резерву для забезпечення інноваційного розвитку транспортної системи.

Об'єкт дослідження – процес підготовки кадрів вищої кваліфікації для забезпечення інноваційного розвитку транспортної системи.

Мета роботи – визначення системи, методології та методів підготовки кадрового потенціалу для забезпечення інноваційного розвитку транспортної системи.

Метод дослідження – системний аналіз та комплексна оптимізація.

Розвиток транспортних систем йде все зростаючими темпами, розширюється номенклатура технічних засобів, рівень технізації яких постійно зростає. Традиційні елементи транспортної системи набувають нових функцій, яких раніше вони не мали. Утворюються транспортні системи глобального масштабу. По мірі розвитку транспортна система змінила свою роль та місце в житті людства: вона стала визначальним фактором розвитку глобальної та національної економік та суспільств. Це призвело до зміни рівня і якості життя людей, геополітичної ситуації в світі та зумовило створення нової світової структуризації та зміни в глобальній конкуренції. Природньо, що зміна ролі транспорту в житті людства і глобальні масштаби перетворень вимагають нового теоретичного осмислення ситуації. Перш за все – щодо кадрового забезпечення нових видів техніки та функцій, які реалізуються.

Поява нових потреб у суспільстві та зміна ролі цільових перетворень висувають принципово відмінні від існуючих вимоги до особистості та професійно значущих якостей кадрів. Актуальними стають вищий професіоналізм, глобальне гуманізоване інноваційне мислення, поєднане з активністю, ініціативністю та, в той же час, з самостійністю і високою відповідальністю фахівця перед собою та людством.

Запропоновано системний підхід до підготовки генеральних конструкторів – ключових кадрів в системі управління інноваційним розвитком транспортних систем.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ, ІННОВАЦІЙНИЙ РОЗВИТОК, ГЕНЕРАЛЬНІ КОНСТРУКТОРИ.

ABSTRACT

Krasnoshtan O.M. Management and development of human resources in the process of innovative development of transport systems. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article proposes an approach to improving the structure and parameters of personnel reserve training to ensure innovative development of the transport system.

The object of research is the process of training highly qualified personnel to ensure innovative development of the transport system.

The purpose of the work is to determine the system, methodology and methods of training personnel potential to ensure the innovative development of the transport system.

The research method is system analysis and complex optimization.

The development of transport systems is proceeding at an ever-increasing pace, the range of technical means is expanding, the level of mechanization of which is constantly increasing. Traditional elements of the transport system acquire new functions that they did not have before. Transport systems of a global scale are being formed. As the transport system developed, it changed its role and place in the life of mankind: it became a determining factor in the development of global and national economies and societies. This led to a change in the level and quality of people's lives, the geopolitical situation in the world and led to the creation of a new world structuring and changes in global competition. It is natural that the changing role of transport in the life of mankind and the global scale of transformations require a new theoretical understanding of the situation. First of all, with regard to personnel support for new types of equipment and functions that are being implemented.

The emergence of new needs in society and the change in the role of targeted transformations put forward fundamentally different requirements for the personality and professionally significant qualities of personnel. Higher professionalism, global humanized innovative thinking, combined with activity, initiative and, at the same time, independence and high responsibility of the specialist to himself and humanity, are becoming relevant.

A systematic approach to the training of general designers – key personnel in the system of managing the innovative development of transport systems – is proposed.

KEYWORDS: TRANSPORT SYSTEMS, INNOVATIVE DEVELOPMENT, GENERAL DESIGNERS.

АВТОР:

Красноштан Олександр Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри менеджменту і туризму, e-mail: olexander.krasnoshtan@gmail.com, тел. +380 67 444 11 16, Україна, 01010, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, к. 253.

AUTHOR:

Krasnoshtan Olexander M., Ph.D., associate professor, National transport university, associate professor department of management and tourism, e-mail: olexander.krasnoshtan@gmail.com, tel. +380 67 444 11 16, Ukraine, 01010, Kyiv, Mykhayla Omelyanovycha-Pavlenka str., 1, of. 253.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Ложачевська О.М., доктор економічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри Менеджменту, Київ, Україна

Луцяк В.В., доктор економічних наук, професор, Національний університет біоресурсів та природокористування, завідувач кафедри адміністративного менеджменту та зовнішньоекономічної діяльності, Київ, Україна

REVIEWER:

Lozhachevska O.M., Ph.D., Economic (Dr.), professor, National transport University, Head of Management department, Kyiv, Ukraine

Lutsyak V.V., Ph.D., Economic (Dr.), professor, National University of Life and Environmental Sciences, Head of Administrative Management and foreign economic activity department, Kyiv, Ukraine

ГІДРАВЛІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПОТОКІВ СТІЧНИХ ВОД В КАНАЛІЗАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ «TEMPEST»

Куницький М.О., Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, kunytskyi_az16@nuwm.edu.ua, orcid.org/0000-0003-1700-8167

DETERMINATION OF HYDRAULIC CALCULATION OF WASTEWATER FLOWS IN SEWAGE NETWORKS USING THE «TEMPEST» PROGRAM

Kunytskyi M.O., National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, kunytskyi_az16@nuwm.edu.ua, orcid.org/0000-0003-1700-8167

Постановка проблеми. Виведення з ладу одного або декількох елементів систем призводить до припинення функціонування практично всієї системи. Причому все відбувається на тлі безпрецедентного зростання цін на газ та інші енергоресурси. З метою підвищення надійності функціонування систем інженерної інфраструктури необхідно їх дублювання та резервування автономними джерелами, в тому числі на основі відновлюваних джерел енергії. Це можуть бути для систем електропостачання різноманітні генератори та акумулятори, фотовольтаїчні та вітрові енергетичні установки; для систем водопостачання – свердловини та резервуари чистої води, для газу – біогазові установки та газгольдери. Разом з системою водопостачання необхідно забезпечити і надійну роботу системи водовідведення, яка може бути і джерелом низькопотенційної теплової енергії, яку можна використовувати за допомогою термотрансформаторів, наприклад, ТНУ, що перетворюють її у високопотенційну.

Одним з найбільш розповсюджених низькопотенційних джерел теплової енергії в межах населених пунктів є побутові і виробничі СВ, які Директивою ЄС 2018/2001 [1] визнані відновлюваним джерелом теплової енергії. СВ мають температуру в колекторах від $+10^{\circ}\text{C}$ до $+30^{\circ}\text{C}$, в залежності від їх виду, місця перебування в колекторі та періоду року. Такі температури забезпечують набагато більший коефіцієнт трансформації теплової енергії ТНУ порівняно з повітряними і геотермальними ТНУ, у яких температура зовнішнього повітря протягом року може коливатися від $+35^{\circ}\text{C}$ влітку до -25°C взимку, а температура ґрунту на глибині 10 м та глибше стабільна, але не дуже висока – дещо більше $+10^{\circ}\text{C}$. Надходження СВ в систему водовідведення нерівномірно, але, наприклад, для ГВП житлових будівель це ідеальний варіант, так як найбільша кількість тепла в СВ з'являється в години найбільшого споживання гарячої води.

Для оцінки енергетичного потенціалу СВ, що рухаються по колекторах, з метою використання цього потенціалу для потреб опалення та ГВП однієї або декількох будівель, мікрорайону міста або всього міста, необхідна методика, яка буде базуватися на достовірній математичній моделі гідравлічних процесів та процесів теплообміну СВ в колекторі з навколишнім середовищем.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Науковцями вже присвячено дуже багато публікацій конструкціям теплообмінних пристроїв для вилучення тепла з СВ для ТНУ та сумісному використанню таких ТНУ з іншими низькопотенційними джерелами теплової енергії. Серед них можна виділити наукові праці вітчизняних авторів [3], а також зарубіжних науковців [4,6,7], причому присвячених не лише рекуперації тепла СВ, а й питної води [9]. З кожним роком з'являється все більше статей про інтеграцію ТНУ в системи централізованого теплопостачання населених пунктів [6,7].

Набагато менше приділено уваги у вказаних публікаціях теоретичним аспектам ефективності використання тепла СВ та дослідженням математичного опису процесів, що відбуваються в колекторах, резервуарах і спорудах каналізації, серед яких можна виокремити роботи Дюрренматта та Ваннера [6] і Абдел-Ала [7].

Поява програми «TEMPEST», спростило моделювання температурних режимів СВ і полегшило розрахунки їх теплового потенціалу при різних комбінаціях параметрів мережі, сприяло великому інтересу з боку науковців до виконання досліджень з моделювання каналізаційних мереж із застосуванням програми «TEMPEST» і розробленню власних програм [13].

У дослідженні Алі та Гіліча програма «TEMPEST» використовувалася для оцінки потенціалу рекуперації тепла на каналізаційній ділянці в Лондоні з бічним змішуванням припливу СВ. Хоффман

представили спрощену модель на основі «TEMPEST», враховуючи лише передачу тепла від СВ до навколишнього середовища.

Абдель Аал та ін. [13] запропонували спрощену модель динаміки температури СВ, розуміючи, що багато вхідних параметрів у «TEMPEST» мають незначний вплив на зміну температури СВ.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Для лінійних колекторів різної довжини, діаметрів, матеріалів труб та типів ґрунтів при під'єднанні до колекторів бокових підключень програма «TEMPEST» використовує числові методи для розв'язку нестационарних диференціальних рівнянь, інколи дає коливання температур при перемішуванні СВ в місцях підключень (колодязях). Для цього в програмі передбачено згладжування таких явищ за допомогою спеціального фільтра. Такі коливання тривають деякий час на відносно невеличкій довжині колектору і програма далі працює стабільно. З метою уникнення цього явища пропонується застосувати відносно прості і зрозумілі заходи, послідовність яких сформулюють методику проведення і оброблення результатів комп'ютерного експерименту.

Постановка завдання. Метою даної статті є адаптація можливостей програмного продукту «TEMPEST» версії 1.02 [6] для дослідження температурного режиму СВ в каналізаційних колекторах. За результатами досліджень розроблено методику визначення потенціалу теплової енергії СВ в каналізаційних колекторах із застосуванням програми «TEMPEST» та електронної таблиці «MS Excel».

Виклад основного матеріалу.

Дюрренматт та Ваннер розробили, а потім вдосконалили математичну модель теплового режиму СВ в каналізаційній мережі з позицій системного аналізу, з врахуванням багатьох параметрів та коефіцієнтів, що впливають на процеси теплообміну та теплопередачі в трубах колекторів – рисунок 1. Для розрахунків температур СВ в трубах каналізаційних колекторів Дюрренматт та Ваннер на основі даної математичної моделі розробили [6] комп'ютерну програму «TEMPEST» (TEMPerature ESTimation), яка пізніше була модифікована і на теперішній час має актуальну поточну версію 1.02.

«TEMPEST» – це програма, яка оцінює динаміку та поздовжні просторові профілі температури СВ в трубопроводах каналізаційних мереж. Вона базується на балансах тепла та маси в каналізаційних системах і моделює їх у вигляді двох основних елементів системи: трубопроводів та вузлів. Трубопроводи моделюються одновимірними рівняннями балансу.

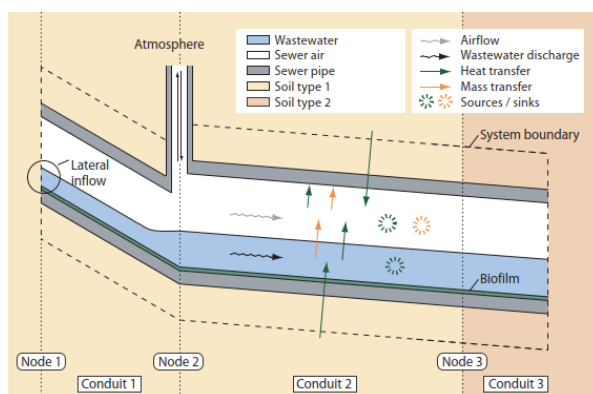


Рисунок 1 – Ділянки, вузли та процеси, що розглядаються в моделі каналізації, що реалізовані в програмі «TEMPEST»
Figure 1 – Sections, nodes and processes considered in the sewage model implemented in the TEMPEST program

Вузли вводяться для відображення розривів у каналізаційних лініях внаслідок бічних припливів, змін у геометрії труби, властивостей матеріалу і навколишнього ґрунту – рисунок 2 і моделюються за рівняннями нерозривності.

Згідно дослідження Дюрренматта та Ваннера [11] математична модель і результати розрахунків програми «TEMPEST», продемонструвало, що передача тепла між СВ та навколишнім ґрунтом через стінки труб є найважливішим процесом при визначенні температурного режиму каналізаційних мереж.

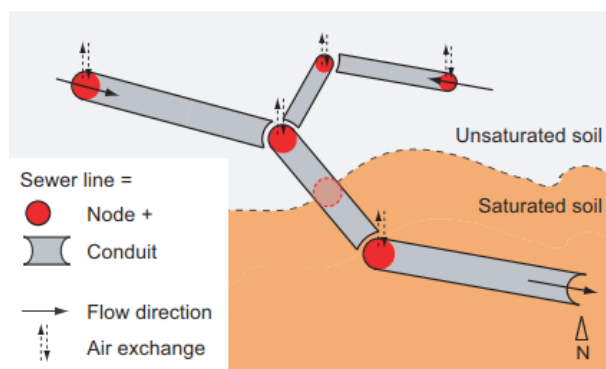


Рисунок 2 – Вузол, який розділяє труби з різними характеристиками
Figure 2 – A node that separates pipes with different characteristics

Дослідження на основі програмного продукту TEMPEST, версія 1.02 якого була надана Національному університету водного господарства та природокористування (НУВГП) науковцями з Швейцарського федерального інституту водних наук та технологій (EAWAG, Цюрих) було проведено моделювання температурного режиму СВ на прикладі внутрішньодворової мережі каналізації гуртожитків № 7 та 8 НУВГП у місті Рівне по вул. Студентській, 6 та 8 – рисунок 3. Метою розрахунку потенційної кількості тепла СВ в каналізаційній мережі для утилізації на потреби ГВП для мешканців гуртожитків.

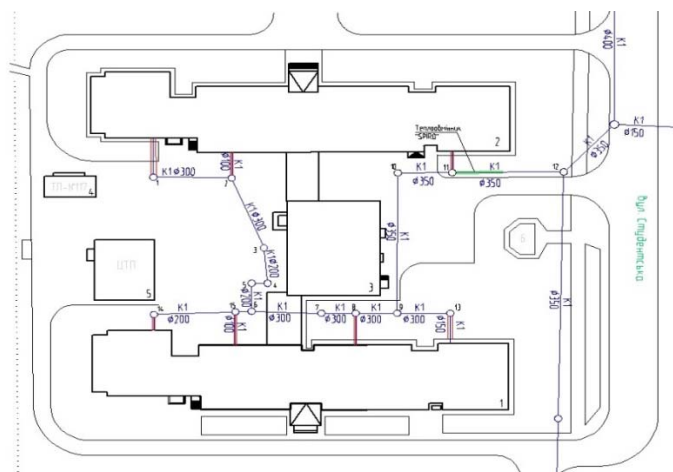


Рисунок 3 – План-схема внутрішньодворової каналізації гуртожитків № 7 та 8 НУВГП
Figure 3 – The plan-scheme of the courtyard sewerage of dormitories No. 7 and 8 of the NUWEE

На рисунку 4 зображена схема трубопроводів і колодязів внутрішньодворової каналізаційної мережі K1 гуртожитків № 7 (поз. 2 на схемі) та № 8 (поз. 1), яка була об'єктом дослідження. На схемі нанесені номери колодязів та діаметри трубопроводів і випусків каналізації. Висотні відмітки люків колодязів, верху та низу (лотків) труб каналізації, що були отримані з матеріалів топогеодезичних вишукувань, довжини ділянок труб між колодязями та витрати СВ, які по них протікають, на схемі не нанесені, щоби не захащувати її, але всі вони використовувалися в якості вихідних даних, і заносилися в інтерактивному режимі роботи в програму «TEMPEST» – рисунок 5.

Вводилися змінні – витрата і температура СВ на ділянці, коефіцієнт повітрообміну, температура і вологість повітря в каналізаційному просторі, температура навколишнього ґрунту. Гідравліка СВ моделюється рівняннями Сент-Венана, а аеродинаміка потоку повітря – розробленою моделлю для круглих труб. Розглянуті в моделі процеси тепло- і масообміну наведені на рис. 2. Складні за конфігурацією каналізаційні мережі моделювалися серією елементів «вузол + канал».

Для холодного та теплого періодів року було відібрано параметри, що наведені в таблиці 1. Ці дані вводяться як вихідні в діалогове вікно програми «TEMPEST» (рис.4).

Коефіцієнт повітрообміну в колодязях прийнятий 0,001, тому що на даних ділянках мережі всі каналізаційні колодязі перекриті люками, які не мають отворів, тому повітрообмін і відповідно втрати тепла з повітрям із колодязя є мінімальними. Крім того, рельєф ділянки рівний, а ухили

трубопроводів на ділянках не дуже великі, що не створює для повітря в каналізаційних трубах природної витяжки і руху повітря в них.

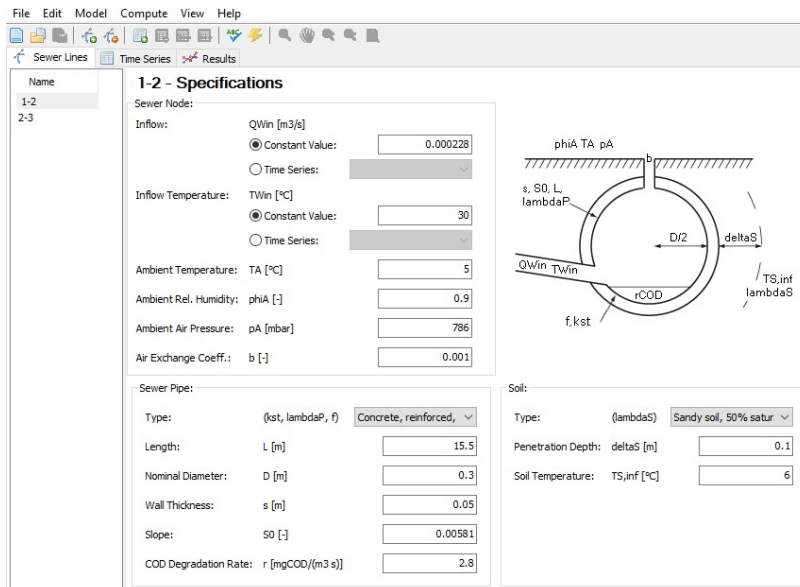


Рисунок 4 – Вікно «Sewer Lines» програми «TEMPEST» з вихідними даними ділянки 1-2
Figure 4 – The «Sewer Lines» window of the «TEMPEST» program with the raw data of section 1-2

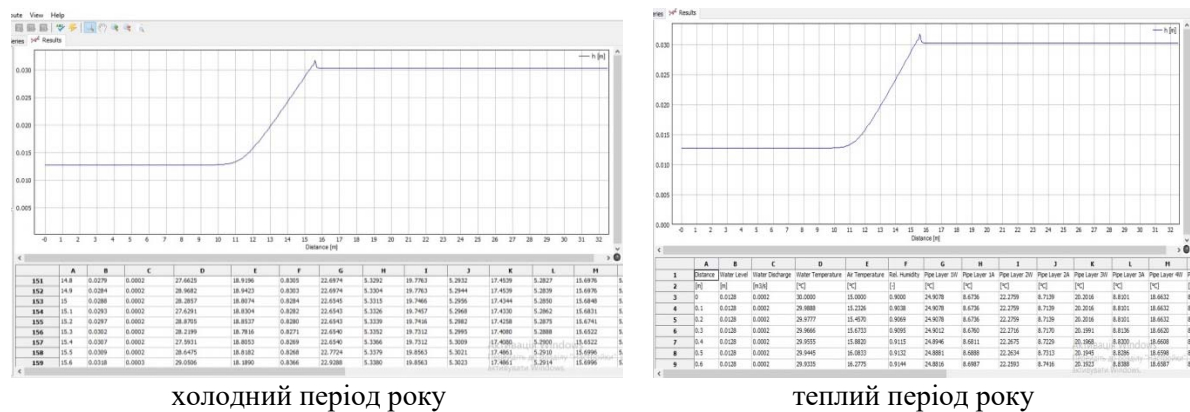
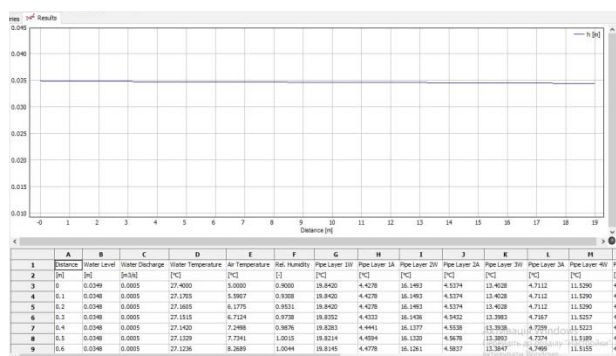


Рисунок 5 – Температура стічних вод в мережі на ділянці 1-3 в різні періоди року
Figure 5 – The temperature of wastewater in the network at section 1-3 in different periods of the year

Таблиця 1 – Вихідні параметри для розрахунків в холодний та теплий період
Table 1 – Initial parameters for calculations in the cold and warm period

Показники	Значення	
	холодний	теплый
Температура вихідних СВ з випусків гуртожитків, °C	30	
Температура повітря навколишнього середовища, °C	5	15
Коефіцієнт вологості, ph A	0,9	
Атмосферний тиск, мбар	786	
Коефіцієнт повітрообміну, b	0,001	
Швидкість розкладання ХПК, mg COD/(m ³ *s), r	2,8	
Глибина проникнення тепла в ґрунт (навколо труби), м, ΔS	0,1	
Температура ґрунту (навколо труби), °C, TS	6	11

В гуртожитках НУВГП № 7 та № 8 є 7 каналізаційних випусків (з 2-х будинків). За розподілом споживачів води в гуртожитках середньодобова витрата СВ по кожному з 3-х випусків гуртожитку № 7 склала 0,228 $\text{дм}^3/\text{с}$, а по кожному з 4-х випусків гуртожитку № 8 – 0,171 $\text{дм}^3/\text{с}$. В каналізаційний колодязь № 1 з випуску гуртожитку №7 (рисунок 3, поз. 2 на генплані) надходять СВ з витратою 0,228 $\text{дм}^3/\text{с}$. Температура СВ на виході з будинку приймається – 30 $^{\circ}\text{C}$. Далі СВ проходять дистанцію 15,5 м до колодязя № 2 по трубі Ø 300 мм. За результатами розрахунків в програмі «TEMPEST» наприкінці ділянки 1-2 температура СВ в холодний період року становить 27,6 $^{\circ}\text{C}$, а в теплий – 28,7 $^{\circ}\text{C}$, що відображено на рисунок 6.



теплій період року

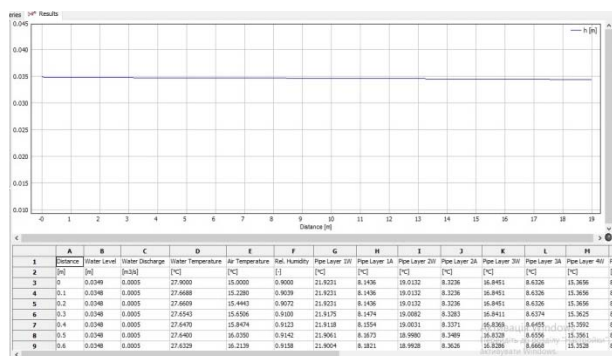
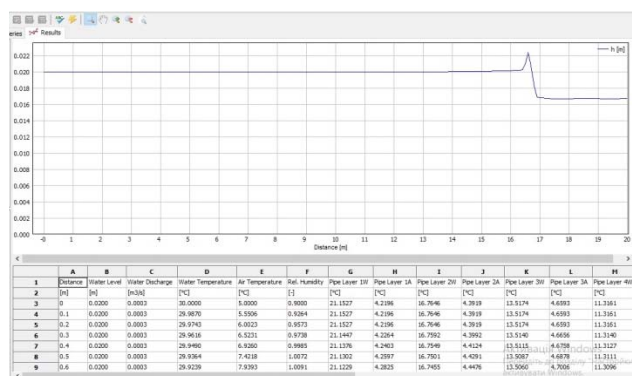


Рисунок 6 – Температура СВ в мережі на ділянці 3-6 в різні періоди року
Figure 6 – The temperature of wastewater in the network at section 3-6 in different periods of the year



теплый период року

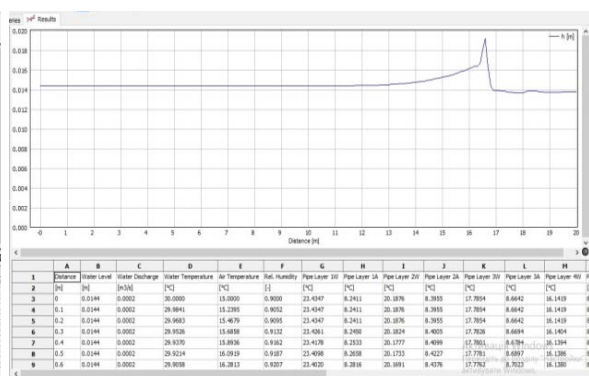
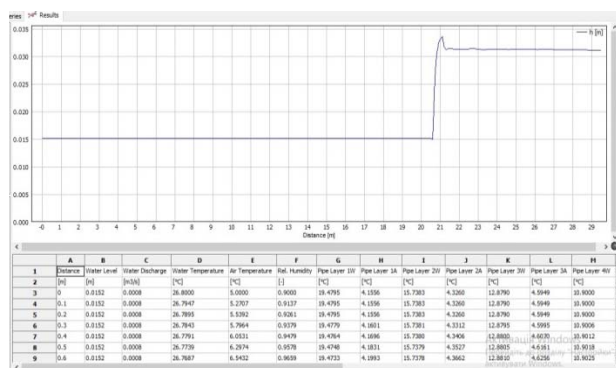


Рисунок 7 – Температура СВ в мережі на ділянці 6-9 в різні періоди року
Figure 7 – The temperature of wastewater in the network at section 6-9 in different periods of the year

Потоки СВ з колодязів № 14, 15 та 3 об'єднуються в колодязі № 6 і розраховуються як один потік з витратою 0,798 $\text{дм}^3/\text{с}$, що прямує до колодязя № 8 по ділянці довжиною 21 м. Колодязь № 7 – проміжний. Даний потік СВ перемішується в колодязі № 8 з випуском СВ з витратою 0,171 $\text{дм}^3/\text{с}$. Для подальших розрахунків приймаємо на виході з нього витрату суміші СВ, які прямують по трубі Ø 300

мм і протяжністю 8,5 м до колодязя №9, 0,969 $\text{дм}^3/\text{с}$. Результати розрахунку по ділянці 6-9 каналізаційної мережі наведено на рисунку 8.



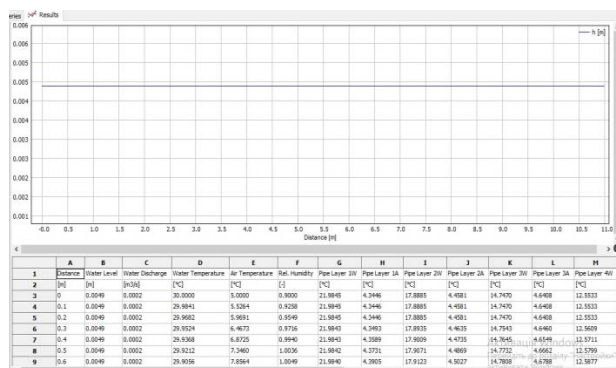
холодний період року



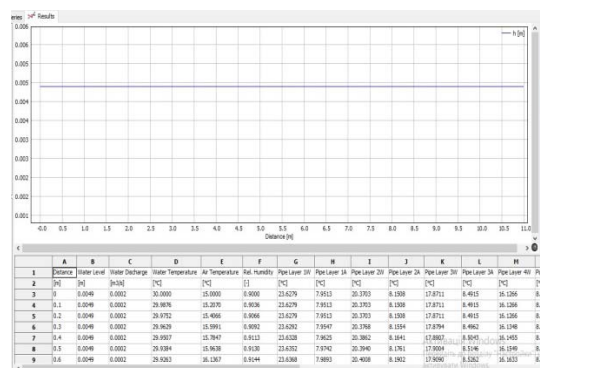
теплый период року

Рисунок 8 – Температура СВ в мережі на ділянці 13-9 в різні періоди року
Figure 8 – The temperature of wastewater in the network at section 13-9 in different periods of the year

Наступна ділянка розрахунку 13-9 має випуск направлений в колодязь № 13 з початковою температурою СВ 30 °С і витратою 0,171 $\text{дм}^3/\text{с}$. Від колодязя № 13 СВ проходять дистанцію 11 м до колодязя № 9 по трубі Ø 300 мм. Результати розрахунків відображено на рисунку 9.



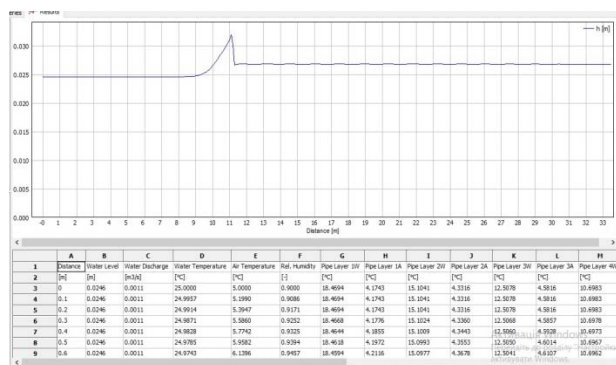
холодний період року



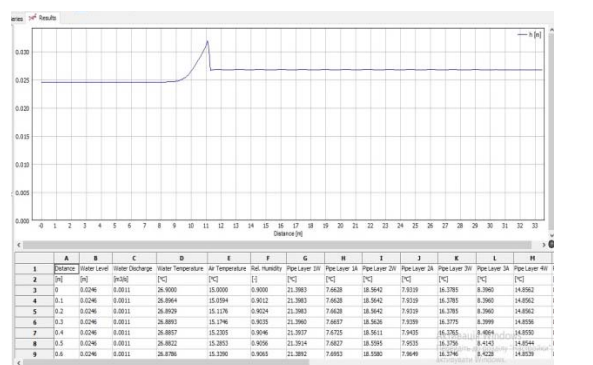
теплый период року

Рисунок 9 – Температура СВ в мережі на ділянці 9-10 в різні періоди року
Figure 9 – The temperature of wastewater in the network at section 9-10 in different periods of the year

Вслід за цим в колодязі № 9 відбувається перемішування СВ від колодязя № 8 та потоку від колодязя № 13. Сумарна витрата потоків складає 1,140 $\text{дм}^3/\text{с}$. Від колодязя № 9 до колодязя № 10 СВ проходять дистанцію 32 м по трубі Ø 350 мм. Результати розрахунків відображено на рис. 10.



холодний період року



теплый период року

Рисунок 10 – Температура СВ в мережі на ділянці 10-12 в різні періоди року
Figure 10 – The temperature of wastewater in the network at section 10-12 in different periods of the year

Відстань від колодязя № 10 до колодязя № 11 складає 11 м, діаметр труб – 350 мм, витрата СВ – 1,140 $\text{дм}^3/\text{с}$. В колодязь № 11 направлений випуск СВ з гуртожитку № 7 з температурою СВ 30 $^{\circ}\text{C}$ та витратою 0,228 $\text{дм}^3/\text{с}$, що призведе до перемішування СВ, а відповідно і до підвищення температури їх суміші. Діаметр труб на ділянці 11-12 становить 350 мм, а довжина 22,5 м. На ділянці відбувається злиття потоків СВ від обох гуртожитків, що видно на рис. 10. Загальна розрахункова витрата СВ складає 1,368 $\text{дм}^3/\text{с}$.

Як показує розрахунок, температура суміші СВ на вході в колодязь № 12 становить 25,0 $^{\circ}\text{C}$ в холодний період року та 26,5 $^{\circ}\text{C}$ – в теплий.

Вихідні дані для ділянок, що необхідні для розрахунків температури СВ, порашовані програмою «TEMPEST» значення температури СВ в характерних точках ділянок мережі (початок і закінчення), а також величини теплових потужностей, які втрачаються під час руху СВ по даній ділянці, та бути використаними для потреб ГВП гуртожитків при різних рівнях вилучення тепла з СВ.

Висновки. Виконаний аналіз математичних моделей та комп'ютерних програм для розрахунку температурного режиму СВ в каналізаційних мережах та визначені температурні профілі СВ в каналізаційній мережі для холодного і теплого періодів року.

На основі моделювання в програмі «TEMPEST» та з допомогою «MS Excel» визначені потужності і втрати теплової енергії на всіх ділянках каналізаційної мережі та можливі потужності для рекуперації низькопотенційного тепла і перетворення його в ТНУ у високопотенційне для потреб ГВП двох гуртожитків НУВГП.

Результати досліджень будуть використані для проєктування теплогенеруючого пункту на базі ТНУ, баків-акумуляторів гарячої води тощо, для якого джерелом тепла будуть СВ дворової каналізаційної мережі двох гуртожитків.

Перехід на відновлювані джерела енергії дасть можливість зекономити значні об'єми природного газу, від якого можна відмовитись, якщо використовувати теплову енергію СВ за допомогою ТНУ.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. (2018). PE/48/2018/REV/1, p. 82–209 <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj>

2. Титарь, С.С. & Климчук, А.А. (2011). Использование сбросного тепла в системе автономного теплоснабжения жилых зданий. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. 6, с.121-125.

3. Денисова, А.Є. & Троїцький, О.М. (2011). Перспективи використання скидних вод для теплопостачання. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. 6, с.126-131.

4. Nicholas, H., Konstantinos, N., Rohinton, E., Bjorn, A., & Paul, Y. (2014) A renewable heat solution for water ingress in the Glasgow subway tunnel system. Conference: Energy and sustainability. <https://doi.org/10.2495/ESUS140141>.

5. Hytiris, N., Ninikas, K., Emmanuel, R., Aaen, B., & Younger, P.L. (2018). A heat energy recovery system from tunnel wastewater. Environmental Geotechnics 5(5), 300–308. <https://doi.org/10.1680/jenge.15.00087>.

6. Cecconet, D., Racek, J., Callegari, A. & Hlavínek, P. (2020). Energy Recovery from Wastewater: A Study on Heating and Cooling of a Multipurpose Building with Sewage-Reclaimed Heat Energy, Sustainability, 12(116). <https://doi.org/10.3390/su12010116>.

7. Gruber-Glatzl, W., Brunner, C., Meitz, S. & Schnitzer, H. (2020). From the Wastewater Treatment Plant to the Turnstiles of Urban Water and District Heating Networks, Frontiers in Sustainable Cities. <https://doi.org/10.3389/frsc.2020.523698>.

8. Кожушко, О. Д., & Кізеєв, М. Д. (2017). Утилізація теплової енергії стічних вод та питної води в системах водопостачання і каналізації населених пунктів. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві, 7, С. 94-100. http://nbuv.gov.ua/UJRN/stmr_b_2017_7_16.

9. van der Hoek, J. P., Mol, S., Giorgi, S., Ahmad, J. I., Liu, G., & Medema, G. (2018). Energy recovery from the water cycle: Thermal energy from drinking water, Energy, 162, 977-987. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.097>.

10. Dürrenmatt, D.J. (2006). Berechnung des Verlaufs der Abwassertemperatur im Kanalisationsrohr. Master's Thesis, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. <https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag:12981>
11. Dürrenmatt, D., & Wanner, O. (2012). TEMPEST. Computer Program for the Simulation of the Wastewater Temperature in Sewers. Version 1.02. User Manual. <https://www.eawag.ch/en/departement/eng/software/>
12. Dürrenmatt, D., & Wanner, O. (2014). A mathematical model to predict the effect of heat recovery on the wastewater temperature in sewers. *Water Research*, 48, 548-558. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.10.017>.
13. Abdel-Aal, M., Smits, R., Mohamed, M., De Gussem, K., Schellart, A., & Tait, S. (2014). Modelling the viability of heat recovery from combined sewers. *Water Science & Technology*, 70(2), 297–306. <https://doi.org/10.2166/wst.2014.218>.

REFERENCES

1. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. (2018). PE/48/2018/REV/1, p. 82–209 <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj>
2. Titir, S.S. & Klimchuk, A.A. (2011). Ispolzovanie sbrosnogo tepla v sisteme avtonomnogo teplosnabzheniya zhilikh zdaniy. [The use of waste heat in the system of autonomous heating of residential buildings]. *Visnik Nacionalnogo tekhnichnogo universitetu «Kharkivskii politekhnichnii institut»*. Energetichni ta teplotekhnichni procesi i ustatkuvannya – Bulletin of the National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute». Energy and heat engineering processes and equipment, 6, 121-125.
3. Denysova, A.Ie. & Troitskyi, O.M. (2011). Perspektyvy vykorystannia skydnykh vod dlia teplopostachannia. [Prospects for the use of wastewater for heat supply]. *Visnik Nacionalnogo tekhnichnogo universitetu «Kharkivskii politekhnichnii institut»*. Energetichni ta teplotekhnichni procesi i ustatkuvannya – Bulletin of the National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute». Energy and heat engineering processes and equipment. 6, 126-131.
4. Nicholas, H., Konstantinos, N., Rohinton, E., Bjorn, A., & Paul, Y. (2014) A renewable heat solution for water ingress in the Glasgow subway tunnel system. Conference: Energy and sustainability. <https://doi.org/10.2495/ESUS140141>.
5. Hytiris, N., Ninikas, K., Emmanuel, R., Aaen, B., & Younger, P.L. (2018). A heat energy recovery system from tunnel wastewater. *Environmental Geotechnics* 5(5), 300–308. <https://doi.org/10.1680/jenge.15.00087>.
6. Ceconet, D., Racek, J., Callegari, A. & Hlavínek, P. (2020). Energy Recovery from Wastewater: A Study on Heating and Cooling of a Multipurpose Building with Sewage-Reclaimed Heat Energy, *Sustainability*, 12(116). <https://doi.org/10.3390/su12010116>.
7. Gruber-Glatzl, W., Brunner, C., Meitz, S. & Schnitzer, H. (2020). From the Wastewater Treatment Plant to the Turnstiles of Urban Water and District Heating Networks, *Frontiers in Sustainable Cities*. <https://doi.org/10.3389/frsc.2020.523698>.
8. Kozhushko, O. D., & Kizyeyev, M. D. (2017). Utylizatsiia teplovoi enerhii stichnykh vod ta pytnoi vody v systemakh vodopostachannia i kanalizatsii naselenykh punktiv. [Utilization of thermal energy of waste water and drinking water in water supply and sewage systems of settlements]. *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi – Modern technologies and calculation methods in construction*, 7, 94-100. http://nbuv.gov.ua/UJRN/stmr_b_2017_7_16.
9. van der Hoek, J. P., Mol, S., Giorgi, S., Ahmad, J. I., Liu, G., & Medema, G. (2018). Energy recovery from the water cycle: Thermal energy from drinking water, *Energy*, 162, 977-987. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.08.097>.
10. Dürrenmatt, D.J. (2006). Berechnung des Verlaufs der Abwassertemperatur im Kanalisationsrohr. Master's Thesis, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. <https://www.dora.lib4ri.ch/eawag/islandora/object/eawag:12981>.
11. Dürrenmatt, D., & Wanner, O. (2012). TEMPEST. Computer Program for the Simulation of the Wastewater Temperature in Sewers. Version 1.02. User Manual. <https://www.eawag.ch/en/departement/eng/software/>.
12. Dürrenmatt, D., & Wanner, O. (2014). A mathematical model to predict the effect of heat recovery on the wastewater temperature in sewers. *Water Research*, 48, 548-558. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.10.017>.

13. Abdel-Aal, M., Smits, R., Mohamed, M., De Gussem, K., Schellart, A., & Tait, S. (2014). Modelling the viability of heat recovery from combined sewers. *Water Science & Technology*, 70(2), 297–306. <https://doi.org/10.2166/wst.2014.218>.

РЕФЕРАТ

Куницький М.О. Гідравлічний розрахунок потоків стічних вод в каналізаційних мережах за допомогою програми «tempest» / М.О. Куницький // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Об'єкт дослідження – Дослідження на основі програми «ТЕМPEST» для розрахунку потенційної кількості теплової енергії в каналізаційній мережі було проведено на прикладі моделювання температурного режиму дворової мережі каналізації гуртожитків № 7 і № 8 Національного університету водного господарства та природокористування (Рівне, Україна).

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.

Метою роботи є ознайомлення з можливостями програми «ТЕМPEST» для дослідження температурного режиму стічних вод, а також розроблення методики визначення потенціалу теплової енергії стічних вод в каналізаційних колекторах.

Метою дослідження було визначення кількості теплової енергії стічних вод, яке можна рекупрувати на потреби гарячого водопостачання для мешканців гуртожитків за допомогою теплових насосів.

В Україні робота котелень в неопалюваний період неефективна. Тому в населених пунктах України практикується зупинка котелень в цей час. Це зумовлює необхідність встановлення мешканцями квартирних підігрівачів для гарячого водопостачання

Завданням постає виправлення недоліків традиційних систем централізованого тепlopостачання і гарячого водопостачання загострилися в умовах інтенсивних бойових дій та систематичних ворожих обстрілів інфраструктури населених пунктів. Причому все відбувається на тлі зростання цін на енергоресурси, їх дефіциту і наближення опалювального сезону.

Результати можна використати для підвищення надійності функціонування енергетичної інфраструктури необхідно дублювання централізованих джерел автономними, в тому числі на основі відновлюваної енергії. Для гарантування санітарно-епідеміологічного благополуччя населення разом з системами водопостачання необхідна і надійна робота систем водовідведення і теплових насосів, які повинні стати джерелами низькопотенційного тепла в містах.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ СТИЧНИХ ВОД; ТЕПЛОВА НАСОСНА УСТАНОВКА; МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ; РЕКУПЕРАЦІЯ ТЕПЛА, TEMPEST.

ABSTRACT

Kunytskyi M.O. Determination of hydraulic calculation of wastewater flows in sewage networks using the «tempest» program. *Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences»*. Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

In Ukraine, the operation of boiler houses in the unheated period is inefficient. Therefore, it is practiced to shut down boilers at this time in settlements of Ukraine. This makes it necessary for residents to install apartment heaters for hot water supply.

The shortcomings of the traditional systems of centralized heating and hot water supply were aggravated in the conditions of intense hostilities and systematic enemy shelling of the infrastructure of populated areas. Moreover, everything is happening against the background of rising prices for energy resources, their shortage and the approach of the heating season.

To increase the reliability of the functioning of the energy infrastructure, it is necessary to duplicate centralized sources with autonomous ones, including those based on renewable energy. In order to guarantee the sanitary and epidemiological well-being of the population, together with water supply systems, reliable operation of water drainage systems and heat pumps, which should become sources of low-potential heat in cities, is also necessary.

The purpose of the article is to get acquainted with the possibilities of the «TEMPEST» program for the study of the temperature regime of wastewater, as well as the development of a methodology for determining the thermal energy potential of wastewater in sewage collectors.

A study based on the «TEMPEST» program for calculating the potential amount of thermal energy in the sewer network was conducted on the example of modeling the temperature regime of the indoor sewer network of dormitories No. 7 and No. 8 of the National University of Water and Environmental Engineering (Rivne, Ukraine). The aim of the study was to determine the amount of thermal energy of wastewater that can be recovered for the needs of hot water supply for residents of dormitories with the help of heat pumps.

KEYWORDS: TEMPERATURE REGIME OF WASTEWATER; HEAT PUMP; MATHEMATICAL MODEL; HEAT RECOVERY, TEMPEST.

АВТОР:

Куницький М.О., молодший науковий співробітник, Національний університет водного господарства та природокористування, kunytskyi_az16@nuwm.edu.ua, тел. +380635348429, Україна, 35400, Рівненська обл., смт. Гоща, вул. Незалежності, 75, orcid.org/0000-0003-1700-8167.

AUTHOR:

Kunytskyi M.O., Junior Research Fellow, National University of Water and Environmental Engineering, kunytskyi_az16@nuwm.edu.ua, tel. +380635348429, Ukraine, 35400, Rivne region, Goshcha, str. Nezalezhnosti, 75, orcid.org/0000-0003-1700-8167.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Сафоник Андрій Петрович, професор кафедри автоматизації, електротехнічних та комп'ютерно-інтегрованих технологій, Національний університет водного господарства та природокористування, доктор технічних наук, Рівне, Україна.

Пінчук Олег Леонідович, доцент кафедри гідроінформатики, Національний університет водного господарства та природокористування, кандидат технічних наук, доцент, Рівне, Україна.

REVIEWER:

Safonyk Andriy Petrovych, professor of the department of automation, electrical engineering and computer-integrated technologies, National University of Water Management and Nature Management, Doctor of Technical Sciences, Rivne, Ukraine.

Oleh Leonidovych Pinchuk, Associate Professor of the Department of Hydroinformatics, National University of Water Management and Nature Management, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Rivne, Ukraine.

ХАРАКТЕР ЗМІНИ КОНЦЕНТРАЦІЙ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН У ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗАХ В ПРОЦЕСІ РУХУ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ

Кухтик Н.О., доктор філософії, Національний транспортний університет, Київ, Україна, natakuchtik@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9467-891X

Кухтик В.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, viktorkuhtik@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5402-0603

Барабаш О.В., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, el_barabash@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5206-2922

THE NATURE OF CHANGES IN THE CONCENTRATION OF POLLUTANTS IN EXHAUST GASES DURING THE MOVEMENT OF A CAR

Kukhtyk N.O., Doctor of Philosophy, National Transport University, Kyiv, Ukraine, natakuchtik@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9467-891X

Kukhtyk V.V., Candidate of Science (Engineering), National Transport University, Kyiv, Ukraine, viktorkuhtik@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5402-0603

Barabash O.V., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, el_barabash@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5206-2922

Постановка проблеми. В сучасних умовах автомобільний транспорт залишається важливою ланкою для забезпечення логістичних операцій в Україні. Визначальну роль в перевезенні пасажирів в містах відіграють легкові автомобілі. При цьому інтенсивність руху потоків транспорту зростає, що призводить до підвищеного впливу на навколишнє середовище. Це є причиною того, що забруднення атмосферного повітря відпрацьованими газами автомобілів в даний час розглядається як найбільш гостра проблема.

Визначити погіршення стану навколишнього середовища можливо різними методами, зокрема методом біоіндикації (дендроіндикації) [1]. Але найбільш об'єктивну оцінку можливо отримати застосуванням спеціальних газоаналізуючих приладів, зокрема при встановленні їх в автомобіль, що рухається в транспортних потоках, або за імітації руху автомобіля на спеціальних стендах [2].

Ступінь забруднення атмосферного повітря залежить, в першу чергу, від якісного і кількісного складу відпрацьованих газів. На вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобілів впливає низка важливих факторів: тип двигуна і особливості його конструкції, його технічний стан, режими роботи.

Дана робота є продовженням досліджень можливості зниження забруднення навколишнього середовища викидами забруднюючих речовин з відпрацьованими газами легкових автомобілів з бензиновими двигунами в умовах експлуатації [3,4].

Були визначені наступні задачі дослідження:

1. Визначення поточних концентрацій оксидів вуглецю CO в період руху легкового автомобіля типовими дорогами м. Києва.
2. Порівняння концентрації викидів забруднюючих речовин за підтримання однакових умов за швидкістю та часом проходження певного відрізка шляху при імітації міських та магістральних умов експлуатації автомобіля.

Виклад основного матеріалу.

Визначення концентрацій забруднюючих речовин проводили на автомобілі Hyundai Getz з бензиновим двигуном, об'ємом 1,4 літра. В дорожніх умовах автомобіль рухався дорогами з асфальтобетонним покриттям, зі світлофорним регулюванням, в транспортному потоці без заторів. Визначали зміну концентрацій у відпрацьованих газах оксидів вуглецю і вуглеводнів.

Для визначення концентрацій автомобіль було обладнано апаратурою, як показано на рис.1



Рисунок 1 – Апаратура контролю параметрів двигуна та токсичності відпрацьованих газів
Figure 1 – Equipment for monitoring engine parameters and exhaust gas toxicity

Зміна концентрацій вуглеводнів виявилась залежною від прогріву каталітичного нейтралізатора. Разом з прогріванням двигуна до оптимальної робочої температури охолодної рідини і прогріванням нейтралізатора, концентрація вуглеводнів зменшилась до нуля і в подальшому газоаналізатором МЕТА «Автотест 01» виявлена не була.

Більш точно були визначені концентрації оксидів вуглецю (CO), результати вимірювання яких представлені на рис.2

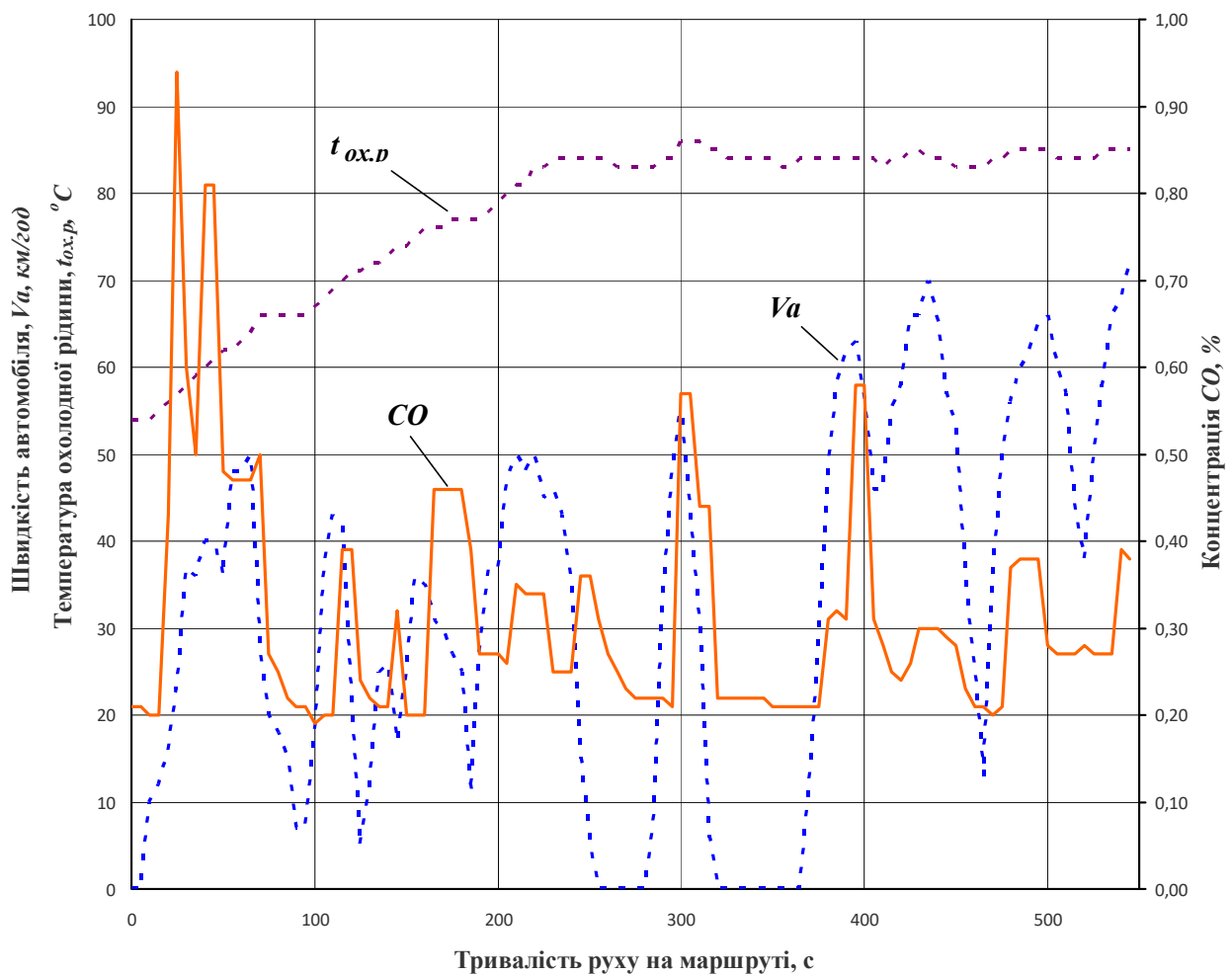


Рисунок 2 – Зміна концентрації оксидів вуглецю CO під час руху автомобіля
Figure 2 – Changes in the concentration of carbon oxides CO during the car movement

На рисунку показані лінії зміни швидкості руху автомобіля, концентрацій оксидів вуглецю та температури охолодної рідини. Випробування тривали близько 9 хвилин. На початку випробувань, за розгону автомобіля, концентрації CO різко зростають. Це пояснюється низькою температурою охолодної рідини двигуна (близько 55 °C) і необхідністю збільшення подачі палива для забезпечення ефективного розгону автомобіля в транспортному потоці. В подальшому концентрації CO знижуються і не перевищують 0,56 % в навантажувальних режимах і 0,2 % в режимах активного холостого ходу. За руху автомобіля без зупинки, але зі сповільненням і прискоренням концентрації нижчі ніж за розгону автомобіля після повної зупинки. Збільшення концентрацій забруднюючих речовин при збільшенні навантаження на двигун підтверджено навантажувальною характеристикою двигуна (рис.3).

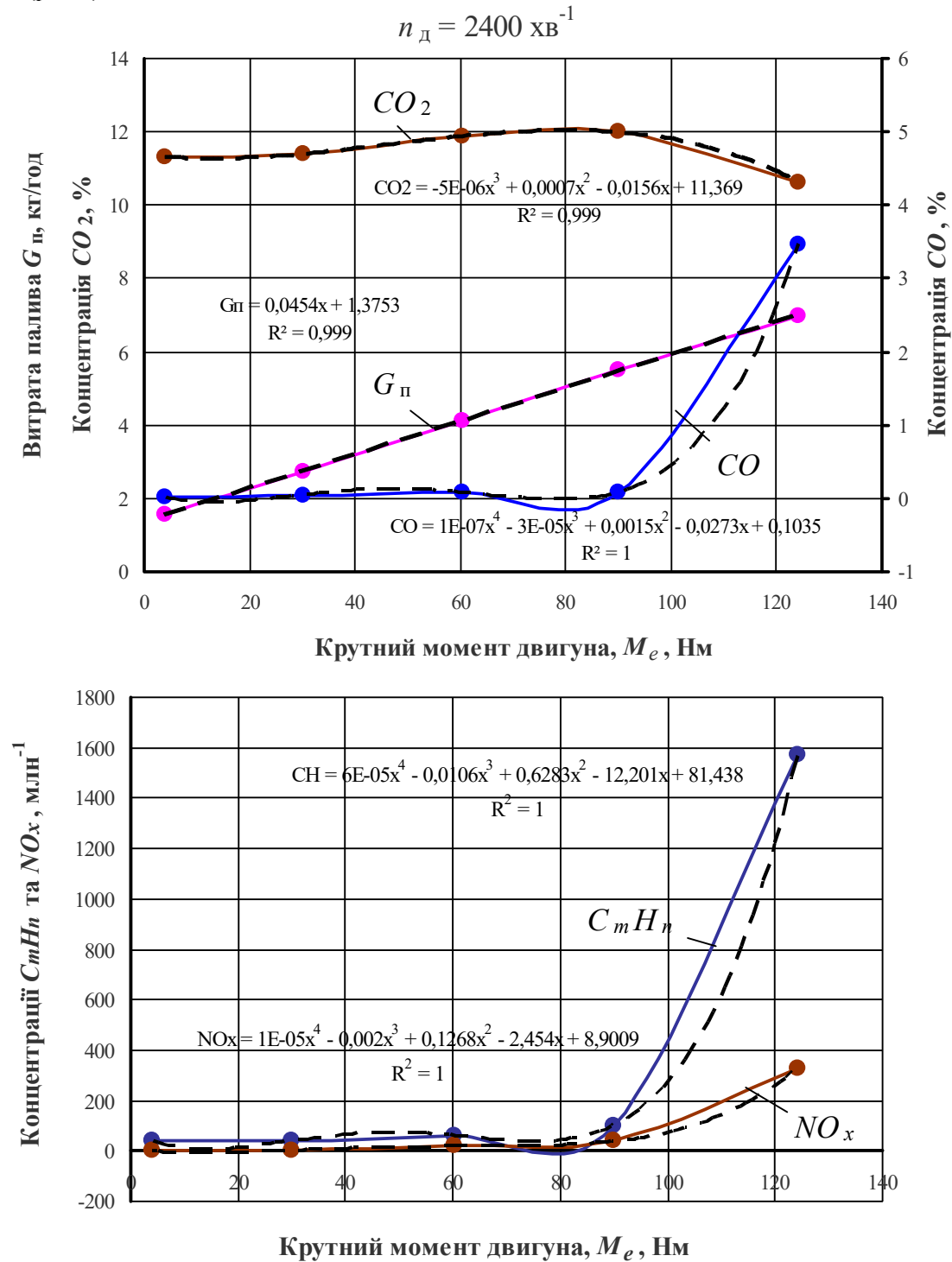


Рисунок 3.– Навантажувальна характеристика двигуна автомобіля Hyundai Getz
Figure 3 – Load characteristics of the engine of the car Hyundai Getz

Як видно з графіків, із збільшенням навантаження на двигун витрата палива зростає пропорційно, концентрація CO_2 збільшується до досягнення 75% навантаження, а далі зменшується через збагачення суміші, що надходить в циліндри двигуна до $\alpha = 0,98$ і стрімкого зростання концентрації CO до 3,3%.

Концентрації оксиду вуглецю не показують повної картини забруднення середовища, але встановити концентрації оксидів азоту і точно визначити концентрації вуглеводнів можливо тільки стаціонарними приладами. Саме тому дослідження продовжили за імітації руху автомобіля за режимами Нового європейського їздового циклу (NEDC) на стенді з 48-дюймовим роликом [2]. Точність вимірювання концентрацій забруднюючих речовин у розбавлених відпрацьованих газах забезпечила газоаналізуюча система моделі MEXA-7400DEGR фірми HORIBA (Японія). Результати випробувань представлені на рис.4,5,6.

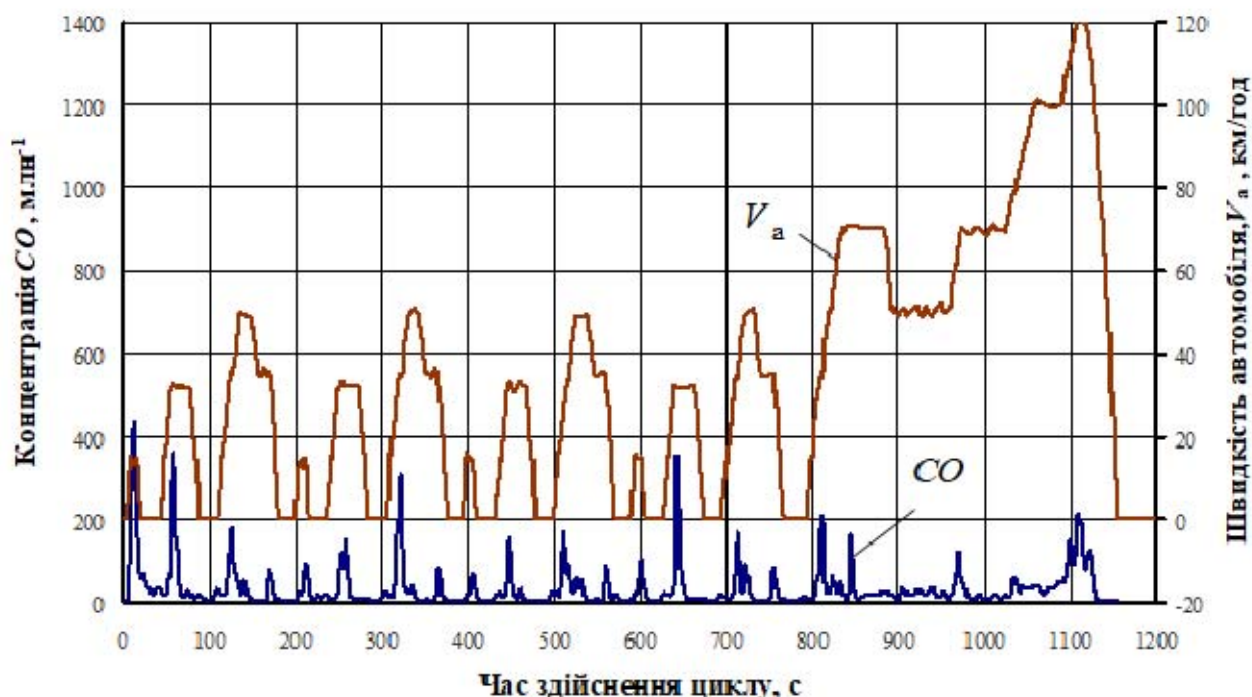


Рисунок 4 – Зміна концентрації оксиду вуглецю CO у ВГ автомобіля за руху за режимами Нового європейського їздового циклу
 Figure 4 – Changes in the concentration of carbon oxide CO in the car's exhaust gases while driving according to the modes of the New European driving cycle

Випробування проводили на автомобілі з прогрітим двигуном, але після певної паузи, яка була необхідна для перевірки налаштування обладнання. Це привело до охолодження системи випуску, що відобразилося на графіках збільшення концентрацій забруднюючих речовин на початку виконання циклу. З рис. 4. видно, що максимальна концентрація оксиду вуглецю CO становить $435,2 \text{ млн}^{-1}$. З додаткових досліджень виявлено, що концентрація CO у непрогрітого двигуна у 7,8 разів вища ніж у прогрітого [2]. Концентрації оксидів вуглецю зростають за розгонів автомобіля і зменшуються за руху з приблизно постійною швидкістю чи за вибігу автомобіля перед зупинкою, як і за дорожніх випробувань, приведених вище. До того ж, за руху магістральним циклом концентрації CO нижчі, ніж за фрагментами міського циклу, навіть за плавного розгону до швидкості 120 км/год.

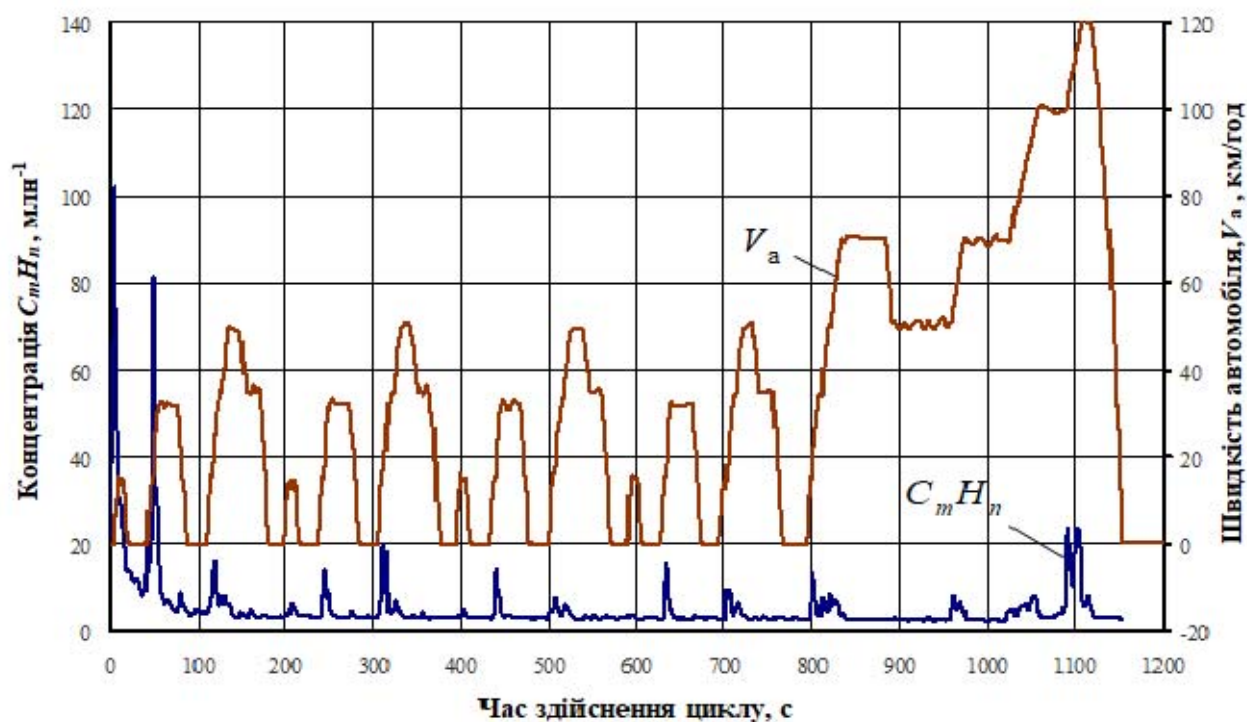


Рисунок 5 – Зміна концентрації вуглеводнів C_mH_n у ВГ автомобіля за руху за режимами Нового європейського їздового циклу

Figure 5 – The change in the concentration of hydrocarbons C_mH_n in the car's exhaust gases while driving according to the modes of the New European driving cycle

Максимальна концентрація вуглеводнів складає $102,3 \text{ млн}^{-1}$, а у непрогрітого двигуна вона вища у 5 разів [2]. На відміну від концентрацій CO концентрація вуглеводнів C_mH_n підвищується за розгону до 120 км/год . В той же час за руху з швидкістю до 100 км/год концентрація вуглеводнів не перевищує 15 млн^{-1} за руху в режимах магістрального циклу.

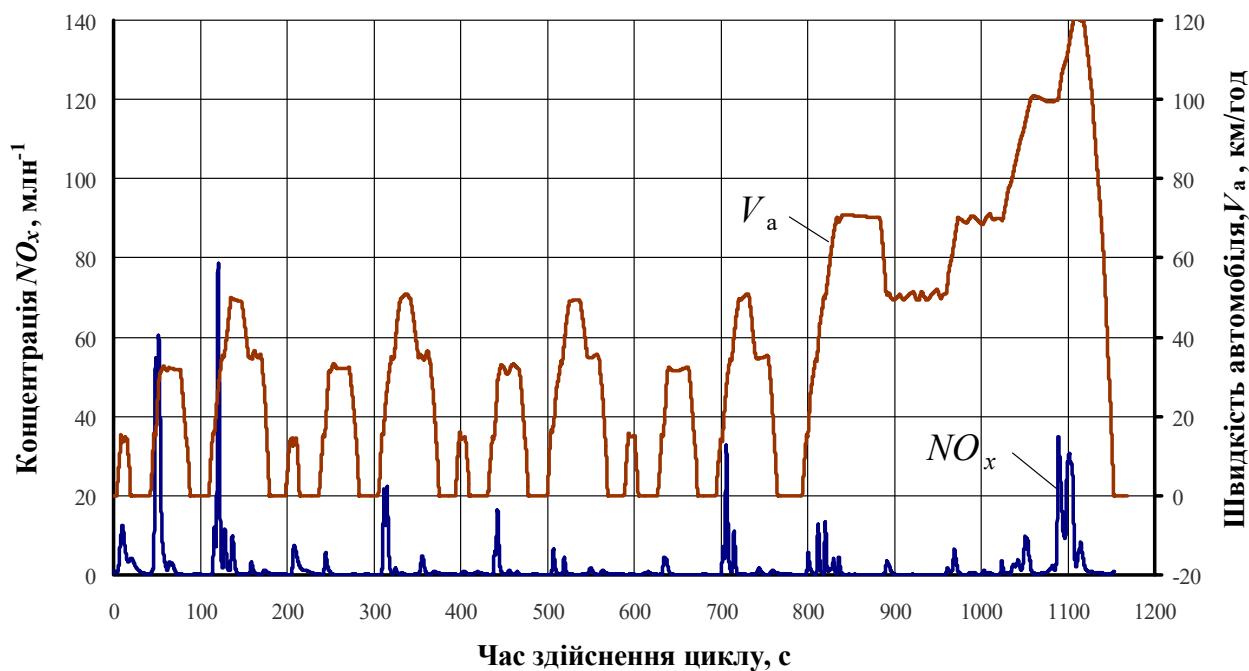


Рисунок 6 – Зміна концентрації оксидів азоту NO_x у ВГ автомобіля за руху за режимами Нового європейського їздового циклу

Figure 6 – Changes in the concentration of nitrogen oxides NO_x in the car's exhaust gases while driving according to the modes of the New European driving cycle

Концентрації оксидів азоту не перевищують 78,6 млн⁻¹. Непрогрітий двигун викидає в довкілля в 2,7 разів більше оксидів азоту [2]. За руху магістральним циклом також збільшуються концентрації за розгону до максимальної швидкості.

На всіх характеристиках відмічається підвищення концентрацій забруднюючих речовин у відпрацьованих газах за розгонів автомобіля, коли навантаження на двигун зростає, особливо на початку руху.

Висновки.

Дослідження показали можливість визначення концентрацій шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобільного двигуна в експлуатаційних умовах великого мегаполісу/

За результатами виконання експериментальних досліджень встановлено, що зменшення концентрацій забруднюючих речовин досягається збільшенням питомої ваги режимів руху з постійною швидкістю, збільшенням вибігу автомобіля при наближенні до регульованих перехресть, що супроводжується роботою двигуна автомобіля в режимі активного холостого ходу. Також збільшення концентрацій забруднюючих речовин залежить від теплового стану двигуна легкового автомобіля. Зниження температури охолодної рідини двигуна також призводить до збільшення викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Барабаш О.В. Оцінка рівня забруднення атмосферного повітря методом дендроіндикації. Екологічні науки: науково-практичний журнал. Вип. 4 (27). 2019. С. 102–108.
2. Кухтик Н. Порівняння витрати палива та викидів шкідливих речовин непрогрітого та прогрітого двигуна легкового автомобіля за Європейським їздовим циклом. // Systemy i środki transportu samochodowego. Badania i technologia silników spalinowych. Wybrane zagadnienia. Monografia. Nr 17. Seria: Transport. Rzeszów. 2019. P. 35–41.
3. Кухтик Н. Вплив методу прогріву двигуна легкового автомобіля на токсичність відпрацьованих газів. // Systemy i środki transportu samochodowego. Badania i technologia silników spalinowych. Wybrane zagadnienia. Monografia. Nr 13. Seria: Transport. Rzeszów. 2018. P. 41–48.
4. Кухтик Н.О. Визначення витрати палива та концентрацій шкідливих речовин за прогріву двигуна легкового автомобіля в умовах низьких температур середовища. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. Житомир, 2018. Вип. 2 (82). С. 88–93.

REFERENCES

1. Barabash O.V (2019). Otsinka rivnia zabrudnennia atmosfernogo povitria metodom dendroindikatsiyi [Estimation of the level of atmospheric air pollution by dendroindication method] / Environmental sciences: a scientific and practical journal – Nr 4 (27), 102–108 [in Ukrainian]
2. Kukhtyk N. (2019) Porivniannia vytraty palyva ta vykydiv shkidlyvykh rehovyn neprogritogo ta progritogo dvyguna legkovogo avtomobilia za ievropeiskim izdovym tsyklom [Comparison of fuel and emissions of harmful substances of unlocked and progressed light car engines by the european driving cycle] / Monografia pod redakcją naukową Kazimierza Lejdy. issue 17, Seria: Transport / Systemy I Środki transportu samochodowego / Rzeszów. Politechnika Rzeszowska., 35–41. [in Ukrainian].
3. Kukhtyk N. (2018) Vplyv metodu progrivu dvyguna legkovogo na toksychnist vidpratsovanykh gaziv [The influence of the warm up engine method of passenger car on the toxicity of exhaust gases] / Systemy i środki transportu samochodowego. Badania i technologia silników spalinowych. Wybrane zagadnienia. Monografia. Issue 13. Seria: Transport. Rzeszów., Politechnika Rzeszowska., 41–48. [in Ukrainian].
4. Kukhtyk N.O. (2018) Vyznachennia vytratu palyva ta kontsentratsii shkidlyvykh rehovyn za progrivu dvyguna legkovogo avtomobilia v umovakh nyzkykh temperatur seredovyshcha [Determination fuel consumption and concentration of harmful substances for warming the engine of a car in conditions of low ambient temperatures] / Journal of Zhytomyr State Technological University. Series: Technical Science Journal Zhytomyr state technological university: science. Zh. / Zhytomyr. state. techn. Univ. - Exactly: Printed - Zhytomyr, Nr 2 (82)., 88–93. [in Ukrainian], [https://doi.org/10.26642/tn-2018-2\(82\)-88-93](https://doi.org/10.26642/tn-2018-2(82)-88-93).

РЕФЕРАТ

Кухтик Н.О. Характер зміни концентрацій забруднюючих речовин у відпрацьованих газах в процесі руху легкового автомобіля / Н.О. Кухтик, В.В. Кухтик, О.В. Барабаш // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Метою роботи є представлення об'єктивної інформації щодо збільшення концентрацій забруднюючих речовин за різних режимів руху легкового автомобіля.

Метод дослідження – експериментальне визначення характеристик зміни концентрацій забруднюючих речовин у відпрацьованих газах двигуна легкового автомобіля.

Випробування проводились за руху автомобіля міськими дорогами загального призначення в залежності від дорожньої ситуації та за імітування руху автомобіля за режимами міського та заміського їздового циклу.

Характер зміни концентрацій забруднюючих речовин у відпрацьованих газах залежить від навантаження на двигун в період руху легкового автомобіля. Збільшення навантаження в період розгону призводить до підвищення концентрацій оксидів вуглецю та вуглеводнів. Це особливо чітко прослідковується за навантажувальною характеристикою двигуна. В той же час збільшення концентрацій оксидів азоту спостерігається за довготривалого руху з високими швидкостями, що характерно для заміських умов експлуатації.

Більшість параметрів, що характеризують процес руху легкового автомобіля з бензиновим двигуном отримані прямим вимірюванням на сучасному обладнанні.

За результатами виконання експериментальних досліджень встановлено, що зменшення концентрацій забруднюючих речовин досягається збільшенням питомої ваги режимів руху з постійною швидкістю, збільшенням вибігу автомобіля при наближенні до регульованих перехресть, що супроводжується роботою двигуна автомобіля в режимі активного холостого ходу. Також збільшення концентрацій забруднюючих речовин залежить від теплового стану двигуна легкового автомобіля. Зниження температури охолодної рідини двигуна також призводить до збільшення викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЛЕГКОВИЙ АВТОМОБІЛЬ, ДВИГУН, РЕЖИМИ РУХУ, ВІДПРАЦЬОВАНІ ГАЗИ, ТЕМПЕРАТУРА ОХОЛОДНОЇ РІДИНИ, ЗАБРУДНЮЮЧІ РЕЧОВИНИ

ABSTRACT

Kukhtyk N.O., Kukhtyk V.V. Barabash O.V. The nature of changes in the concentration of pollutants in exhaust gases during the movement of a car. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The purpose of the work is a presentation of an objective information on the increase in the concentrations of pollutants under different driving modes of a car.

The research method is an experimental determination of the characteristics of changes in the concentrations of pollutants in the exhaust gases of a car engine.

The tests were carried out while the car was driving on general purpose city roads, depending on the road situation, and simulating the car's movement in urban and suburban driving cycle modes.

The nature of changes in the concentrations of pollutants in exhaust gases depends on the engine load during the period of the car's movement. An increase in the load during the acceleration period leads to an increase in the concentrations of carbon oxides and hydrocarbons. This is especially clearly observed in the load characteristic of the engine. At the same time, an increase in the concentration of nitrogen oxides is observed during long-term driving at high speeds, which is typical for suburban operating conditions.

Most of the parameters that characterize the movement of a car with a gasoline engine are obtained by direct measurement on modern equipment.

According to the results of experimental studies, it was found that reducing the concentration of pollutants is achieved by increasing the relative density of driving modes with a constant speed, increasing the coasting of the car when approaching regulated intersections, which is accompanied by the operation of the car engine in the mode of active idling. Also, the increase in concentrations of pollutants depends on the thermal state of the car engine. A decrease of the engine coolant temperature also leads to an increase in emissions of pollutants with exhaust gases.

KEY WORDS: CAR, ENGINE, DRIVING MODES, EXHAUST GASES, COOLANT TEMPERATURE, POLLUTANTS

АВТОРИ:

Кухтик Наталія Олександрівна, доктор філософії, Національний транспортний університет, доцент кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, e-mail: natakuchtik@mail.com, тел. +380442885100, Україна, 01010, м. Київ, вул. М.Омеляновича-Павленка, 1, к. 312., orcid.org/0000-0001-9467-891X

Кухтик Віктор Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри двигунів та теплотехніки, e-mail: viktorkuhtik@gmail.com, тел. +380442804716, Україна, 01010, м. Київ, вул. М.Омеляновича-Павленка, 1, к. 303А., orcid.org/0000-0001-5402-0603

Барабаш Олена Василівна, доктор технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, e-mail: el_barabash@ukr.net, тел. +380442885100, Україна, 01010, м. Київ, вул. М.Омеляновича-Павленка, 1, к. 312., orcid.org/0000-0001-5206-2922

AUTHOR:

Kukhtyk Nataliya O., Doctor of Philosophy, National Transport University, associate professor of Department of Ecology and Environmental Protection Technologies, e-mail: natakuchtik@mail.com, тел. +380442885100, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 312., orcid.org/0000-0001-9467-891X

Kukhtyk Victor V., Candidate of Science (Engineering), associate professor, National Transport University, associate professor of department Engines and Heating Engineering, e-mail: viktorkuhtik@gmail.com, тел. +380442804716, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 303A., orcid.org/0000-0001-5402-0603

Barabash Olena V., Doctor of Technical Science, associate professor, National Transport University, professor of Department of Ecology and Environmental Protection Technologies, el_barabash@ukr.net, тел. +380442885100, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 312., orcid.org/0000-0001-5206-2922

РЕЦЕНЗЕНТИ:

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

Захарчук В.І., доктор технічних наук, професор, Луцький національний технічний університет, професор кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцьк, Україна

REVIEWER:

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

Zaharchuk V.I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Lutsk National Technical University, Professor of the Department of Automobiles and Transport Technologies, Lutsk, Ukraine.

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ СИНТЕЗУ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА РОЗВИТКУ МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Лановий О.Т., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, al.lanovoy@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-0717-9870

Кисельов В.Б., доктор технічних наук, Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, Київ, Україна, kvbglush1953@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3437-2825

Кошарний О.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, o.kosharnyi@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5969-4858

METHODOLOGICAL FUNDAMENTALS OF SYNTHESIS OF MODELS FOR FORECASTING RATIONAL FUNCTIONING AND DEVELOPMENT OF ROAD NETWORK

Lanovyi O.T., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, al.lanovoy@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-0717-9870

Kiselyov V.B., Doctor of Technical Sciences, Tavriya National University named after V.I. Vernadsky, Kyiv, Ukraine, kvbglush1953@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3437-2825

Kosharnyi O.M., Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, o.kosharnyi@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-5969-4858

Постановка проблеми.

Функціонування та розвиток мережі автомобільних доріг – велика справа, управління якою має відбуватися відповідно до економічних закономірностей розвитку суспільства. Автомобільні дороги мусять працювати у ринкових умовах – транспортно-дорожній комплекс має бути самоокупним. Метою функціонування мережі автомобільних доріг загального користування є забезпечення рівномірного наземного доступу в усі регіони країни, а також безпечного і надійного переміщення людей та транспортування вантажів із належною ефективністю. Автомобільні дороги є однією з підсистем транспортної системи України, яка, у свою чергу, є елементом економічної системи країни. Вони є суспільним продуктом, мають важливе значення, надаючи суспільству послугу, яка приносить йому суттєву вигоду. Постійне недофінансування призводить до так називаних «недоремонтів» доріг.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням функціонування мережі автомобільних доріг на економічну систему суспільства приділяли увагу вчена спільнота, зокрема в таких роботах [1 - 10]. У роботі [1] визначено чинники, які визначають втрати транзитних вантажопотоків та потребують вирішення на загальнодержавному рівні та корінного реформування транспортної сфери в цілому. Наведено потенційні можливості до залучення додаткових транзитних потоків. Розроблена методика до залучення додаткових транзитних потоків. У роботі [2] розроблено комплексний показник оцінки якості, який включає агреговані, блочні та одиничні критерії, дає змогу оцінити якість транспортного обслуговування. У роботі [3] запропоновано використання нових моделей, методів та алгоритмів для безперервного підвищення якості проектів, розроблених на основі міжнародних стандартів. У роботі [4] розроблена методика розміщення транзитного терміналу, яка забезпечує зниження транспортної роботи і підвищення ефективності при транзитних перевезеннях. Запропонована оцінка ресурсного забезпечення функціонування та необхідності розвитку мережі автомобільних доріг у транспортній системі регіону «Автомобільні дороги державного та місцевого значення – Національні та міжнародні транспортні потоки». У роботі [5] наведено методику проектного аналізу вибору проектів перевезення вантажів на проектно-орієнтованих підприємствах, основна діяльність яких зосереджена в галузі міжнародних перевезень, розроблена з урахуванням якості за критеріями. У роботі [6] розроблені рекомендації по подальшому розвитку інтеграції національних транспортно-логістичних кластерів в міжнародну транспортну систему з використанням міжнародних транспортних коридорів.

Розроблено модель прогнозування необхідних обсягів ресурсного забезпечення виконання дорожніх робіт на підставі визначеного попиту з боку користувачів автомобільних міжнародних транспортних коридорів. У роботі [7] розроблена модель N-критеріальних оцінок прийняття оптимального рішення розроблена з урахуванням важливості набору критеріїв, якими визначається

якість транспортного обслуговування як продукту проекту. Удосконалено N-модель прийняття оптимального рішення щодо важливості критеріїв з урахуванням експертної інформації. У роботі [8] запропоновані методи математичного програмування для проектування транзитних транспортних мереж. Розроблено метод формування системи управління функціонуванням і розвитком мережі автомобільних міжнародних транспортних коридорів на основі суспільно-економічного прогнозування у вигляді ієрархічної структури елементів та їх взаємозв'язків. У роботі [9] наведені різноманітні методи вирішення проблем побудови оптимальних маршрутів транспортних перевезень. Розроблено методологію визначення ефективності функціонування мережі автомобільних міжнародних транспортних коридорів. У роботі [10] надана характеристика різних видів транспортних систем, наведені основні напрями оптимізації транспортних систем без врахування проміжних транспортних пунктів.

Невирішені раніше частини загальної проблеми. У літературі є велика кількість теоретичного матеріалу присвячених цій проблемі, але не розглянуті всі аспекти вирішення поставлених задач. У статті розглядаються моделі прогнозування роботи дорожнього господарства, які дозволяють визначати необхідні загальні суспільні витрати на удосконалення функціонування мережі автомобільних доріг на підставі урахування попиту на рух автомобільними дорогами з боку їх користувачів, а також розробити принципи та критерії оптимізації ефективності функціонування мережі автомобільних доріг; доведено, що існує єдність і взаємозумовленість матеріально-речовинного і ціннісного (цінового, вартісного) аспектів розвитку мережі автомобільних доріг. Отримані моделі демонструють принцип суспільно-економічної ефективності – спільно враховуються рівноваги матеріальних і вартісних (ціннісних, цінових) потоків при функціонуванні мережі автомобільних доріг.

Метою роботи є дослідження впливу функціонування мережі автомобільних доріг на економічну систему суспільства, визначення напрямків ефективності макrorівня функціонування мережі автомобільних доріг, синтезі моделей прогнозування раціонального функціонування та розвитку мережі автомобільних доріг, а також прогнозування роботи дорожнього господарства.

Для досягнення цієї мети, були сформульовані наступні **задачі**:

- 1) задача поточного розподілу заданої програми дорожнього господарства на рівні її підприємств, що утримують автомобільні дороги;
- 2) задача перспективного розвитку, що охоплює, зокрема, будівництво нових і реконструкцію існуючих автомобільних доріг та допоміжних виробництв (асфальтобетонні заводи, асфальтобетонні заводи, кар'єри).

При синтезі моделей оптимального прогнозування вихідними даними є:

- попит на продукцію дорожнього господарства по регіонах з боку автомобільного транспорту (попит на рух автомобільними дорогами, їх довжина, категорія, щільність мережі доріг та її транспортно-експлуатаційний стан, а також досягнення відповідного рівня безпеки та рівня зручності руху);
- можливі способи утримання автомобільних доріг у належному транспортно-експлуатаційному стані, що відповідає визначеним рівням безпеки руху та рівням зручності руху, а також варіанти поліпшення їх стану з урахуванням виробничих можливостей і спеціалізації організацій, що утримують ці дороги, собівартості виробництва, можливими розмірами ресурсного забезпечення з урахуванням вартості трудових, енергетичних, сировинних і водних ресурсів, наявності або відсутності альтернативної транспортної мережі та інших факторів;
- можливі трасування нових автомобільних доріг і характеристики нових підприємств з їхнього утримання, що охоплюють вищезазначені умови;
- можливі місця розміщення нових допоміжних виробництв.

У якості вихідних виступають інтенсивності режимів забезпечення попиту користувачів на рух у відповідних дорожніх умовах (потреби у перевезеннях вантажів і пасажирів автомобільними дорогами відповідної якості). При цьому, у залежності від конкретних умов завдання, інтенсивність способу (режиму) має виражати необхідність досягнення визначеної продуктивності автомобільної дороги.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Задача синтезу моделей прогнозування раціонального функціонування та розвитку мережі автомобільних доріг загального користування, що входить до транспортної системи України, може бути описана наступними етапами [11]:

- формулювання вимог до процесу перетворення матеріальних входів у виходи, що реалізуються системою;

- визначення елементів системи та їхніх характеристик;
- визначення структури системи та параметрів управління цією системою.

Сукупність контрольованих показників, що регламентують із деяким ступенем деталізації функціонування мережі автомобільних доріг як системи, визначає прогноз процесів її діяльності. Інформаційне відображення синтезованої транспортної системи зазвичай називають моделлю прогнозування, що охоплює ті чи інші процеси функціонування й розвитку відповідного об'єкта – мережі автомобільних доріг або її окремих доріг [12]. Надалі, через це, мова йде про синтез транспортної системи як про регулярну процедуру формування відповідної математичної моделі, рішення якої надає інформацію для розрахунку прогнозних показників.

Синтез моделей прогнозування функціонування та розвитку мережі автомобільних доріг – конкретні значення показників прогнозування, при застосуванні будь-яких методів і техніки прогнозування, визначаються через інформаційне моделювання матеріальних суспільно-економічних процесів, реалізованих у транспортній системі, а також завдяки моделюванню її майбутньої поведінки як сукупності економічних об'єктів. Взаємодії елементів, компонентів і факторів функціонування в моделі представляють інформаційні зв'язки між відповідними перемінними. Обмеження, що об'єктивно присутні в транспортній системі, відображаються в моделі у вигляді обмежень на область допустимих змін її перемінних. Насамкінець, шляхом синтезу структури та параметрів моделі визначають структуру та параметри транспортної системи, що забезпечать її раціональне функціонування.

При формуванні моделей прогнозування значним стає питання про ступінь деталізації прогнозних розрахунків. В економічній системі, елементом якої є транспортна система України, діють тисячі підприємств, номенклатура виробленої та споживаної продукції нараховує мільйони найменувань. Побудувати єдину модель, що відображає формування та взаємозв'язки цієї великої кількості компонентів, і в централізованому порядку їх розрахувати та збалансувати, неможливо навіть за допомогою найбільш удосконалених програмних засобів. Це обумовлює необхідність багатоступінчастої ієрархічної організації процесу прогнозування. Отже, потрібно побудувати ієрархію моделей прогнозування.

Стосовно до існуючої організації економічного устрою вона охоплює наступні вертикальні рівні ієрархії: макроекономічні моделі, що відображають взаємозв'язки галузей, галузеві моделі, моделі окремих підприємств та організацій. Взаємодія елементів і підсистем подвійним чином відбивається на взаємодії їхніх моделей. З одного боку, входи та виходи моделей різних підсистем охоплюються мережею прямих і зворотних інформаційних зв'язків, з іншого боку – загальною для всіх моделей є первинна інформація, що виникає у процесі виробництва, розподілу й споживання виробленої продукції.

Організаційні та інформаційні сторони прогнозування та управління розглянуті у розділі 5. У цьому розділі подана в спрощеному вигляді типова задача синтезу, що має фундаментальне значення в макроекономічному прогнозуванні, а саме, синтез багатопродуктової моделі виробництва та обміну, у тому числі, здійснення автомобільних перевезень, як сукупності однопродуктових моделей. Кожна з них є при цьому первинним елементом, для якого задані зв'язки між входами, виходами і станами. У залежності від об'єкта прогнозування однопродуктова модель має той чи інший суспільно-економічний сенс. Так, при синтезі міжгалузевого балансу виробництва та споживання продукції (макроекономічного, регіонального) одномірним об'єктом є продукт так називаної чистої галузі чи однорідний (агрегований) продукт галузі. Багатопродуктова модель служить для прогнозування виробництва та обміну продукції, споживаної в самій галузі й поставленої до інших галузей. Тут як одномірні об'єкти виступають окремі продукти, вироблені в галузі, чи їхні агрегати. Нарешті, багатомірна балансова модель складає основу матричної схеми бізнес-плану підприємства. В ній одномірними об'єктами є виробничі підрозділи підприємства.

Побудуємо двопродуктову відкриту модель функціонування альтернативних автомобільних доріг, якими можуть рухатися їхні користувачі, що є достатньою для пояснення методів формування моделей. На рис. 1 подана схема зв'язків між однопродуктовими моделями, за допомогою яких формується користування обома дорогами, а також умови їхнього утримання та удосконалення.

Для визначення збалансованих значень показників, що забезпечують необхідні пропорції удосконалення, побудуємо у відповідності зі схемою таку систему рівнянь збалансованості ($i, j = 1, 2$), в якій усі перемінні – функції часу.

Рівняння збалансованості в точках A_i :

$$Z_i - X_i - V_i = Z_i - X_i - G_i - C_i = 0. \quad (1)$$

Рівняння збалансованості в точках B_i :

$$X_i - \sum X_{ij} = 0. \quad (2)$$

Рівняння збалансованості в точках M_i :

$$G_i - \sum G_{ij} = 0. \quad (3)$$

Підставляючи (2) і (3) у (1), отримаємо наступну систему рівнянь:

$$Z_i - \sum X_{ij} - \sum G_{ij} = C(i, j = 1, 2). \quad (4)$$

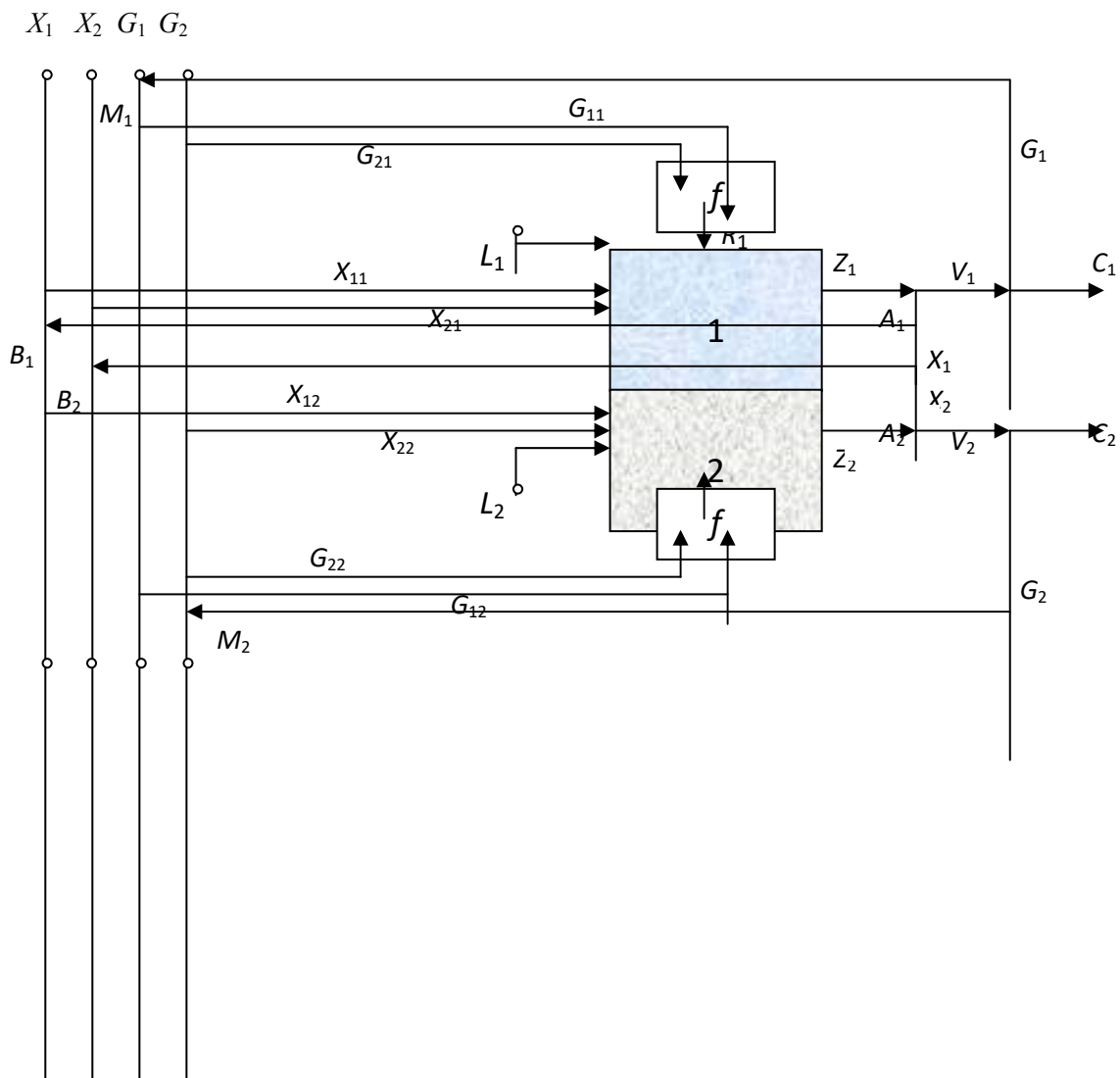


Рисунок 1 – Схема зв'язків між однопродуктовими моделями функціонування автомобільних доріг
Figure 1 – Diagram of connections between single-product models of road operation

Візьмемо до уваги, що

$$X_{ij} = a_{ij}Z_{ij} \text{ та } G_{ij} = k_{ij} \frac{dZ_j}{dt},$$

де a_{ij} та k_{ij} – норми поточних витрат та коефіцієнти інвестиційної складової відповідно, які приймаються постійними, та отримаємо наступну систему диференціальних рівнянь, що описують умови збалансованості у двопродуктовій моделі:

$$(1 - a_{11})Z_1(t) - a_{12}Z_2(t) - k_{12} \frac{dZ_2(t)}{dt} = C_1(t); \quad (5)$$

$$a_{21}Z_1(t) + (1 - a_{22})Z_2(t) - k_{21} \frac{dZ_1(t)}{dt} - k_{22} \frac{dZ_2(t)}{dt} = C_2(t).$$

Рівняння (5) при інтенсивностях складової користування, заданих функціями $C_1(t)$, $C_2(t)$, містять дві невідомі функції $Z_1(t)$, $Z_2(t)$. Поведінка системи буде цілком визначена за фіксованих початкових значень $Z_1(0)$ і $Z_2(0)$, вважаючи, що на початку прогнозного періоду вона знаходилася у збалансованому стані. У результаті рішення (5) за зазначених початкових умов буде визначена траєкторія розвитку розглянутої двопродуктової системи:

$$Z(t) = \varphi[C(t), a, k, Z(0), t] \quad (6)$$

Зміна використання ресурсів автомобільного транспорту, необхідних для забезпечення перевезень обома автомобільними дорогами визначиться балансовим співвідношенням:

$$L(t) = b_1Z_1(t) + b_2Z_2(t),$$

де b_i – витрати автомобільного транспорту.

Неважко узагальнити отримані результати стосовно до n -продуктової схеми забезпечення функціонування мережі доріг. Рівняння багатодуктової динамічної балансової моделі запишуться так:

$$Z_i - \sum a_{ij}Z_j - \sum k_{ij} \frac{dZ_j}{dt} = C_i; \quad (7)$$

$$L(t) = \sum b_i Z_i(t) \quad (i, j = 1, 2, \dots, n).$$

Система балансових рівнянь для статичної моделі може бути отримана із (7), якщо покласти $\frac{dZ_j}{dt} = 0$. При цьому система прийме наступний вигляд:

$$Z_i(t) - \sum a_{ij}Z_j = C_i \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (8)$$

У загальному випадку статичну багатодуктову балансову модель можна подати у матричній формі:

$$AZ + Y = Z, \quad (9)$$

де A – матриця коефіцієнтів a_{ij} ;

Z та Y – вектори ВВП та вихідної перемінної (чистий національний продукт, національний доход) відповідно.

Розглянемо докладніше двопродуктову статичну модель:

$$\begin{aligned}(1 - a_{11})Z_1 - a_{12}Z_2 &= C_1; \\ a_{21}Z_1 + (1 - a_{22})Z_2 &= C_2,\end{aligned}\tag{10}$$

яка має чотири показники Z_1, Z_2, C_1, C_2 . При заданих інтенсивностях користування автомобільними дорогами, у випадку, коли визначник матриці:

$$\left\| \begin{array}{cc} 1 - a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & 1 - a_{22} \end{array} \right\| \tag{11}$$

не дорівнює нулю, система має єдине рішення:

$$\begin{aligned}Z_1 &= \frac{[(1 - a_{22})C_1 + a_{12}C_2]}{D}, \\ Z_2 &= \frac{[a_{21}C_1 + (1 - a_{11})C_2]}{D},\end{aligned}\tag{12}$$

$$D = (1 - a_{11}) + (1 - a_{22}) - a_{12}a_{21}.$$

Зазвичай для матриць, що описують лінійні міжпродуктові зв'язки, ця умова дотримується, тому $D > 0$. Неважко також обчислити необхідні об'єми руху транспортних потоків і вплив функціонування автомобільних доріг:

$$L = L_1 + L_2 = b_1Z_1 + b_2Z_2;\tag{13}$$

$$R = R_1 + R_2 = h_1Z_1 + h_2Z_2,$$

де h_i – коефіцієнти впливу автомобільних доріг як складових її мережі.

Подамо тепер формули (12) у наступному вигляді:

$$Z_1 = \bar{a}_{11} C_1 + \bar{a}_{12} C_2;\tag{14}$$

$$Z_2 = \bar{a}_{21} C_1 + \bar{a}_{22} C_2.$$

Тут коефіцієнти $\bar{a}_{ij}$ – повні поточні витрати, необхідні для забезпечення об'ємів руху як одиниці чистого національного продукту, що враховують не тільки прямі, але й непрямі витрати, обумовлені зв'язками між забезпеченням функціонування всіх ланок мережі автомобільних доріг, охоплюваних багатопродуктовою моделлю. Коефіцієнти повних витрат уявляють собою суму прямих і непрямих витрат. У цьому випадку непрямі витрати функціонування, наприклад, першої автомобільної дороги на об'єми руху C_1 обумовлені його витратами на функціонування другої дороги, що також приймають участь у функціонуванні мережі автомобільних доріг загалом.

Коефіцієнти повних матеріальних витрат є елементами матриці

$$\left\| \begin{array}{cc} \bar{a}_{11} & \bar{a}_{21} \\ \bar{a}_{12} & \bar{a}_{22} \end{array} \right\|,\tag{15}$$

що є зворотною матриці (11).

За допомогою коефіцієнтів повних поточних витрат можуть бути визначені коефіцієнти повних витрат інших факторів функціонування, необхідні для забезпечення об'ємів руху в сенсі випуску ЧНП з одиничною інтенсивністю. Так, враховуючи (14), одержимо із (13) такі вирази для витрат автотранспорту:

$$L = \bar{b}_1 C_1 + \bar{b}_2 C_2,$$

де $\bar{b}_1 = b_1 a_{11} + b_2 a_{21}$; $\bar{b}_2 = b_1 a_{12} + b_2 a_{22}$. Інші витрати визначаються аналогічно.

У математичному моделюванні фундаментальну роль відіграє задача синтезу моделей оптимального прогнозування. Така модель описує умови суспільно-економічної збалансованості між перемінними в області, допустимій накладеними обмеженнями, й конкретно у тій її точці, якій відповідає екстремум цільової функції.

Оптимальна модель принципово відрізняється від балансових моделей, розглянутих вище. Перемінні, прийняті в якості незалежних, задаються не ззовні моделі, а визначаються з умови екстремуму цільової функції. Техніку синтезу оптимальних моделей та виникаючі при цьому поняття, що відносяться до теорії оптимального прогнозування, проілюструємо на прикладі лінійної статичної моделі.

Розглянемо спочатку модель, що максимізує об'єми руху як одиниці ЧНП при заданих обмеженнях у витратах автомобільного транспорту та ресурсному забезпеченні утримання та розвитку мережі автомобільних доріг. Скористаємося рівняннями збалансованості (14) і подамо систему обмежень наступними нерівностями:

$$\begin{aligned} b_1 C_1 + b_2 C_2 &\leq L_M; \\ h_1 C_1 + h_2 C_2 &\leq R_M; \\ C_1 &\geq 0; C_2 &\geq 0 \end{aligned} \quad (16)$$

та лінійною цільовою функцією:

$$U(C_1, C_2) = p_1 C_1 + p_2 C_2 \rightarrow \max. \quad (17)$$

Тут L_M і R_M – верхні обмеження на витрати автомобільного транспорту й ресурсне забезпечення функціонування та розвитку мережі доріг, а p_1 і p_2 – задані коефіцієнти (ваги) компонентів користування, що характеризують транспортну цінність руху (розділ 3) кожного з них. Функція $U(C_1, C_2)$ побудована в припущенні їх взаємозамінності та є комбінацією двох способів користування. Задача синтезу моделі полягає у пошуку значень перемінних C_1 та C_2 , при яких $U(C_1, C_2) = \max$, і визначенні збалансованих значень об'ємів руху обома автомобільними дорогами.

Рішення задач такого типу здійснюється методами лінійного програмування. Обмежимося описом змістовної частини вирішення та зосередимо увагу на його аналізі. Скористаємося графічною інтерпретацією рішення. Виберемо прямокутну систему координат (рис. 2) і побудуємо в ній прямі, обумовлені рівностями:

$$\begin{aligned} C_1 = 0; C_2 = 0 &\text{ – осі координат;} \\ b_1 C_1 + b_2 C_2 &= L_M \text{ – пряма I—I;} \\ h_1 C_1 + h_2 C_2 &= R_M \text{ – пряма II—II.} \end{aligned} \quad (18)$$

Усі точки, розташовані усередині та на границях заштрихованої області, задовольняють нерівностям (16). Побудуємо тепер сімейство рівнобіжних прямих, що залежить від параметра (уздовж прямої $U = \text{const}$). Покладемо, що p_1 та p_2 є такими, що прямі розташовані саме так, як показано на рис. 2.

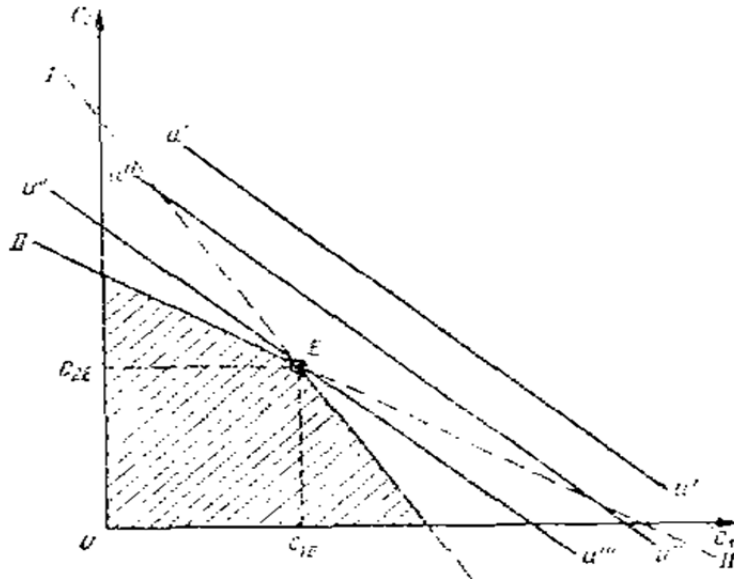


Рисунок 2 – Синтез двопродуктової моделі користування мережею автомобільних доріг
Figure 2 – Synthesis of the two-product model of road network use

Тоді координати точки E , через яку проходить пряма U''' , визначається як координати точки перетинання прямих $I-I'$ і $II-II'$:

$$\begin{aligned} C_{1E} &= \bar{h}_2 L_M - \bar{b}_2 R_M; \\ C_{2E} &= \frac{(b_1 R_M - \bar{h}_1 R_M)}{D}; \\ D &= \bar{b}_1 \bar{h}_2 - \bar{b}_2 \bar{h}_1. \end{aligned} \quad (19)$$

Отже, максимум цільової функції виражається наступним чином:

$$\max U(C_1, C_2) = \frac{\left[(p_1 \bar{h}_2 - p_2 \bar{h}_1) L_M - (p_1 \bar{b}_2 - p_2 \bar{b}_1) R_M \right]}{D}. \quad (20)$$

За знайденими значеннями C_{1E} та C_{2E} можна обчислити значення показників Z_1 і Z_2 в оптимальному балансі. Припустимо, що значення обмежуючих факторів функціонування змінилися на малі величини ΔL_M і ΔR_M . Тоді цільова функція одержить малий приріст біля точки E , що обумовлений співвідношенням:

$$\Delta U_E = \left(\frac{\partial U}{\partial Z_M} \right)_E \Delta L_M + \left(\frac{\partial U}{\partial R_M} \right)_E \Delta R_M = \eta_L \cdot \Delta L_M + \eta_R \cdot \Delta R_M. \quad (21)$$

Часткові похідні η_L та η_R – граничні оцінки ефективності факторів функціонування в точці оптимуму, або, як їх прийнято називати, оцінки оптимального прогнозу. Вони показують, наскільки зміняться значення екстремуму цільової функції при малих змінах обмежень на обмежуючі фактори функціонування. Очевидно, що оцінки факторів, які не обмежують функціонування, тобто, такі, що є наявними у надлишку порівняно з потребами оптимального прогнозу, дорівнюють нулю. У нашому випадку:

$$\eta_L = \frac{(p_1 \bar{h}_2 - p_2 \bar{h}_1)}{D};$$

$$\eta_R = \frac{(p_1 b_2 - p_2 b_1)}{D}, \quad (22)$$

причому їх розмірність визначається розмірністю параметрів p_1 і p_2 у цільовій функції, кожний з яких відіграє роль оцінки відповідного компонента в наборі альтернатив користування автомобільними дорогами.

Оцінки оптимального прогнозу можуть бути отримані також із двоїстої задачі лінійного програмування, що у розглянутому випадку запишеться так:

$$\begin{aligned} \bar{b}_1 \eta_L + \bar{h}_1 \eta_R &= p_1; \\ \bar{b}_2 \eta_L + \bar{h}_2 \eta_R &= p_2; \\ \eta_L &\geq 0; \eta_R \geq 0. \end{aligned} \quad (23)$$

Цільова функція тут має наступний вигляд:

$$W(\eta_L, \eta_R) = L_M \eta_L + R_M \eta_R \rightarrow \min. \quad (24)$$

Тепер припустимо, що вектор користування (C_1, C_2) може будуватися декількома, наприклад, двома, способами. Їм відповідають приведені нижче матриці дорожніх і автомобільних витрат (заради спрощення, опустимо обмеження і прийmemo, що $a_{ii} = 0$).

Побудуємо оптимальний прогноз функціонування з інтенсивностями, обмеженими знизу значеннями C_{1M} і C_{2M} , при мінімумі витрат автомобільного транспорту. Запишемо пряму задачу:

$$\begin{aligned} Z_1^{(1)} - a_{12}^{(1)} Z_2^{(1)} &= C_1^{(1)}; \\ -a_{21}^{(1)} Z_1^{(1)} + Z_2^{(1)} &= C_2^{(1)}; \\ Z_1^{(2)} - a_{12}^{(2)} Z_2^{(2)} &= C_1^{(2)}; \\ -a_{21}^{(2)} Z_1^{(2)} + Z_2^{(2)} &= C_2^{(2)}; \\ C_1^{(1)} + C_1^{(2)} &\geq C_{1M}; \\ C_2^{(1)} + C_2^{(2)} &\geq C_{2M}; \\ Z_i^{(S)} &\geq 0. \end{aligned} \quad (25)$$

Цільова функція:

$$L(Z) = b_1^{(1)} Z_1^{(1)} + b_2^{(1)} Z_2^{(1)} + b_1^{(2)} Z_1^{(2)} + b_2^{(2)} Z_2^{(2)} \rightarrow \min. \quad (26)$$

З рішення цієї задачі знайдемо інтенсивності кожного зі способів функціонування, тобто компоненти $Z_i^{(S)}$ та екстремальне значення цільової функції, виражене через параметри моделі й обмеження. Оцінки оптимального прогнозу – у даному випадку оцінки компонентів користування автомобільними дорогами – визначаються з двозначної задачі, що описується наступною системою нерівностей:

$$\begin{aligned} \eta_1 - a_{21}^{(1)} \eta_2 &\leq b_1^{(1)}; \\ \eta_1 - a_{21}^{(2)} \eta_2 &\leq b_1^{(2)}; \\ -a_{12}^{(1)} \eta_1 + \eta_2 &\leq b_2^{(1)}; \\ -a_{12}^{(2)} \eta_1 + \eta_2 &\leq b_2^{(2)}; \\ \eta_1 &\geq 0; \eta_2 \geq 0; \end{aligned} \quad (27)$$

та цільовою функцією

$$U(\eta_1, \eta_2) = C_{1M} \eta_1 + C_{2M} \eta_2 \rightarrow \max.$$

Дві шукані оцінки компонентів користування автомобільними дорогами η_1 та η_2 , що мають у даному випадку розмірність витрат власників транспортних засобів – користувачів автомобільних доріг, пов'язані чотирма нерівностями (27). Одночасно в строгі рівності можуть бути звернені тільки дві з них – одна з першої пари нерівностей, інша – із другої. Строгі рівності матимуть місце для

гіршого зі способів функціонування, що потрапили в оптимальний прогноз. Його називають замикаючим. Способи функціонування, що потрапили в оптимальний прогноз, трактують як ефективні.

Зроблений синтез моделей прогнозування роботи дорожнього господарства дозволяє підтвердити гіпотезу про методологічну відповідність моделей функціонування мережі автомобільних доріг як на мікрорівні, так і на макрорівні функціонування, що надає можливість побудувати відповідну до вимог часу систему управління.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1.Мазуренко О.О. Перспективи подальшого розвитку міжнародних транспортних коридорів України / Мазуренко О.О. , Кудряшов А.В. // Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2016. – 2. – С.25-30.

2.Концева В.В. До питання вибору магістралей для аналізу транспортних потоків // В.В. Концева, Т.В. Макарова // Зб. наук. праць ДААТ. – 2015. – № 4. – С. 8–12.

3.Прейгер Д. К., Реалізація потенціалу транспортної інфраструктури України в стратегії посткризового економічного розвитку // Д. К. Прейгер, О. В. Собкевич, О. Ю. Ємельянова – К.: НІСД. – 2014. – С. 37-40.

4.Чернявська Т. А. Стратегічні напрями розвитку транспортно-комунікативної системи України в контексті забезпечення національної безпеки і самодостатності / Т. Чернявська // Вісн. Нац. гірн. ун-ту. — 2015. — № 3. — С. 68–76

5.Брагінський В. В. Розвиток транспортно-логістичної системи як форма реалізації транзитного потенціалу України / В. В. Брагінський // Державне управління: теорія і практика. — 2014. — № 2 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.academy.gov.ua/ej/ej14/index.htm>.

6.Михайличенко К. М. Відновлення транзитного потенціалу як чинник підвищення конкурентоспроможності України / К. Михайличенко // Стратегічні пріоритети. — 2015. — № 4. — С. 59–65.

7.Механізми ефективного використання та розвитку потенціалу транспортно-дорожнього комплексу України: аналіт. доп./ О.В. Собкевич, К.М. Михайличенко, О.Ю. Ємельянова. – К.: НІСД, 2014. – 60 с.

8.Cancela, H. Mathematical programming formulations for transit network design [Text] / H. Cancela, M. Mauttone, E. María // Transportation Research. – Part B: Methodological. –V.77. – 2015. – P. 17–37.

9.Sungs, S. Various Method to Solve the Optimality for the Transportation Problem [Text] / S. Sung, G. C. Dubey, R. Shrivastava // Statistical Mechanics and its Applications. – V.12. – 2016. – P. 161-169.

10. Teodorovic, D. (2016). Transportation Systems. [Text] / D. Teodorovic, M. Janic // Transportation Engineering. – 2016. – N2. – P. 5–62.

11. Лановий О. Т. Модель функціонування дорожнього комплексу з удосконалення дорожніх умов, що відповідають вимогам безпечного руху транспортних потоків : Зб. матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції [«Безпека дорожнього руху: сучасність і майбутнє»] / Лановий О.Т. – Київ : НДЦ БДР МВС України, 2004. – С. 62-65.

12. Лановий, О. Т. Моделювання розвитку функціонування мережі автомобільних доріг загального користування в єдиній транспортній системі держави / Лановий О.Т. // Науково-виробн. зб. АДІ ДонНТУ. – Горлівка : 2008. – №1(6). – С. 88-95.

REFERENCES

1. Mazurenko, O.O., Kudryashov, A.V. (2016). Perspektyvy podalshoho rozvytku mizhnarodnykh transportnykh korydoriv Ukrainy (Prospects for further development of international transport corridors of Ukraine) Collection of scientific works of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, 2. 2016. 25-30. [in Ukrainian].

2. Kontseva, V.V., Makarova, T.V. (2015). Do pytannia vyboru mahistranei dlia analizu transportnykh potokiv (On the choice of highways for the analysis of traffic flows). Coll. Science. against the DAAT. 2015. № 4. 8–12. [in Ukrainian].

3. Preiger, D.K., Sobkevich, O.V., Emelyanova, O.Yu. (2014). Realizatsiia potentsialu transportnoi infrastruktury Ukrainy v stratehii postkryzovoho ekonomichnoho rozvytku (Realization of the potential of transport infrastructure of Ukraine in the strategy of post-crisis economic development). K. : NISS. 2014. 37-40. [in Ukrainian].

4. Chernyavska, T.A. (2015). Stratehichni napriamy rozvytku transportno-komunikatyvnoi systemy Ukrainy v konteksti zabezpechennia natsionalnoi bezpeky i samodostatnosti (Strategic directions of

development of transport and communication system of Ukraine in the context of ensuring national security and self-sufficiency). *Visn. Nat. horn. un-tu*. 2015. № 3. 68–76. [in Ukrainian].

5. Braginsky, V.V. (2014). Rozvytok transportno-lohistychnoi systemy yak forma realizatsii tranzynnoho potentsialu Ukrainy (Development of transport and logistics system as a form of realization of transit potential of Ukraine). *Public administration: theory and practice*. - 2014. - № 2 [Electronic resource]. - Access mode: <http://www.academy.gov.ua/ej/ej14/index.htm>. [in Ukrainian].

6. Mykhailychenko, K.M.(2015). Vidnovlennia tranzynnoho potentsialu yak chynnyk pidvyshchennia konkurentospromozhnosti Ukrainy (Restoration of transit potential as a factor in increasing the competitiveness of Ukraine). *Strategic priorities*. 2015. № 4. 59–65. [in Ukrainian].

7. Sobkevich, O.V., Mikhaylichenko, K.M., Yemelyanova, K.M. (2014). Mekhanizmy efektyvnoho vykorystannia ta rozvytku potentsialu transportno-dorozhnoho kompleksu Ukrainy (Mechanisms of effective use and development of the potential of the transport and road complex of Ukraine). *analyst.dop. K. : НІСД*, 2014. 60. [in Ukrainian].

8. Cancela, H., Mauttone, M., María E. (2015). Mathematical programming formulations for transit network design // *Transportation Research. Part B: Methodological*. V.77. 2015. 17–37. [in English].

9. Sung, S. , Dubey, C. , Shrivastava R. (2016). Various Method to Solve the Optimality for the Transportation Problem / S. Sung, G. // *Statistical Mechanics and its Applications*. V.12. 2016.161-169. [in English].

10. Teodorovic, D. (2016). *Transportation Systems* / D. Teodorovic, M. Janic // *Transportation Engineering*. 2016. N2. 5–62. [in English].

11. Lanovyi, O.T. (2004). Model funktsionuvannya dorozhnogo kompleksu z udoskonalennya dorozhnih umov, scho vldpovldayut vimogam bezpechnogo ruhu transportnih potokiv (Model of functioning of the road complex to improve road conditions that meet the requirements of safe traffic flow). *Coll. materials of the International scientific-practical conference "Road safety: present and future"*. Kyiv: NDC BDR MIA of Ukraine, 2004. 62-65. [in Ukrainian].

12. Lanovyi, O.T.(2008). Modelyuvannya rozvitku funktsionuvannya merezhl avtomobilnih dorlg zagalnoho koristuvannya v Edinly transportnl systeml derzhavi (Modeling the development of the functioning of the network of public roads in a single transport system of the state). *Research and production. coll. ADI DonNTU*. 2008. №1 (6). 88-95. [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Лановий О.Т. Методологічні основи синтезу моделей прогнозування раціонального функціонування та розвитку мережі автомобільних доріг / О.Т.Лановий, В.Б.Кисельов, О.М. Кошарний // *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Мережа автомобільних доріг є однією з підсистем транспортної системи України. Вона має задовольняти потреби населення та економіки у пасажирських і вантажних перевезеннях.

Об'єкт дослідження – підвищення ефективності функціонування мережі автомобільних доріг загального користування України через забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків..

Метод дослідження - теорія складних систем; морфологічний, функціональний та інформаційний описи функціонування мережі автомобільних доріг як підсистеми складної транспортної системи; математичне моделювання; імітаційне моделювання, а також теорії: транспортних потоків, автомобільних перевезень, інформації, управління, транспортно-експлуатаційних властивостей автомобільних доріг.

Мета роботи - дослідження впливу функціонування мережі автомобільних доріг на економічну систему суспільства, визначення напрямків ефективності макrorivnia функціонування мережі автомобільних доріг, синтезі моделей прогнозування раціонального функціонування та розвитку мережі автомобільних доріг, а також прогнозування роботи дорожнього господарства.

Ефективність функціонування мережі автомобільних доріг загального користування як складової економічної системи суспільства визначається на наступних засадах.

Оцінка ефективності функціонування мережі автомобільних доріг загального користування як складової економічної системи суспільства надає можливість регулювання державою процесів необхідного рівня ресурсного забезпечення дорожніх робіт і формування транспортного попиту на користування автомобільними дорогами. Ці послуги є суспільно необхідними й надаються на умовах обмеженої (регульованої) монополії.

Визначення ефективності макrorівня функціонування мережі автомобільних доріг моделюється з позиції суспільства, коли уявлення базуються із суспільної точки зору (на макrorівні функціонування), на відміну від визначення, яке практикувалося дотепер, коли ці уявлення базувалися з позицій індивідуальної точки зору (на мікрорівні функціонування).

Зроблений синтез моделей прогнозування роботи дорожнього господарства дозволяє підтвердити гіпотезу про методологічну відповідність моделей функціонування мережі автомобільних доріг як на мікрорівні, так і на макrorівні функціонування, що надає можливість побудувати відповідну до вимог часу систему управління;

Доведено, що існує єдність і взаємозумовленість матеріально-речовинного і ціннісного (цінового, вартісного) аспектів розвитку мережі автомобільних доріг. Отримана модель демонструє принцип суспільно-економічної ефективності – спільно враховує рівноваги матеріальних і вартісних (ціннісних, цінових) потоків при функціонуванні мережі автомобільних доріг. Результати статті можна використовувати при конструюванні автомобілів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МЕРЕЖА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ, ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА УКРАЇНИ, МАКРОРІВЕНЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ СИСТЕМИ КРАЇНИ, СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ.

ABSTRACT

Lanovyi O.T., Kiselyov V. B., Kosharny O.M., Methodological fundamentals of synthesis of models for forecasting rational functioning and development of road network. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The road network is one of the subsystems of the transport system of Ukraine. It should satisfy the needs of the population and the economy in passenger and cargo transportation.

The object of the study is to increase the efficiency of the functioning of the network of public highways of Ukraine by ensuring the conditions for the continuous, safe and convenient movement of traffic flows.

The research method is the theory of complex systems; morphological, functional and informational description of the functioning of the road network as a subsystem of a complex transport system; mathematical modeling; simulation modeling, as well as theories of: traffic flows, road transport, information, management, transport and operational properties of roads.

The purpose of the work is to study the influence of the functioning of the highway network on the economic system of society, to determine the direction of macro-level efficiency of the functioning of the highway network, to synthesize models for forecasting the rational functioning and development of the highway network, as well as to forecast the work of the road industry.

The effectiveness of the functioning of the network of public highways as a component of the economic system of society is determined on the following basis.

The assessment of the effectiveness of the functioning of the public highway network as a component of the economic system of society provides the opportunity for the state to regulate the processes of the necessary level of resource provision for road works and the formation of transport demand for the use of highways. These services are socially necessary and are provided under the conditions of a limited (regulated) monopoly.

The determination of the efficiency of the macro-level functioning of the road network is modeled from the perspective of society, when perceptions are based on the societal point of view (on the macro-level of functioning), in contrast to the definition that was practiced until now, when these perceptions were based on the individual perspective (on the micro-level of functioning).

The completed synthesis of models for predicting the work of the road industry allows to confirm the hypothesis about the methodological conformity of the models of the functioning of the road network both at the micro-level and at the macro-level of functioning, which makes it possible to build a management system that meets the requirements of the time;

The determination of the efficiency of the macro-level functioning of the road network is modeled from the perspective of society, when perceptions are based on the societal point of view (on the macro-level of functioning), in contrast to the definition that was practiced until now, when these perceptions were based on the individual perspective (on the micro-level of functioning).

The completed synthesis of models for predicting the work of the road industry allows to confirm the hypothesis about the methodological conformity of the models of the functioning of the road network both at the micro-level and at the macro-level of functioning, which makes it possible to build a management system that meets the requirements of the time;

KEY WORDS: NETWORK OF PUBLIC ROADS, TRANSPORT SYSTEM OF UKRAINE, MACRO-LEVEL FUNCTIONING OF THE COUNTRY'S ECONOMIC SYSTEM, SYNTHESIS OF FORECASTING MODELS.

АВТОРИ:

Лановий Олександр Тимофійович, доктор технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, Київ, Україна, al.lanovoy@gmail.com, +38(063)932-03-41., <https://orcid.org/0000-0002-0717-9870>

Кисельов Володимир Борисович, доктор технічних наук, професор, Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики, Київ, Україна, kvbglush1953@gmail.co, тел. +380674657845, <https://orcid.org/0000-0003-3437-2825>

Кошарний О.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, o.kosharnyi@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5969-4858>

AUTHORS:

Lanovyi Oleksandr Tymofiiiovych, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: al.lanovoy@gmail.com, tel. +380639320341, <https://orcid.org/0000-0002-0717-9870>

Kiselyov Volodymyr Borysovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Tavriya National University named after VI Vernadsky, Kyiv, Ukraine, e-mail: al.lanovoy@gmail.com, tel. +380674657845, <https://orcid.org/0000-0003-3437-2825>

Kosharnyi Oleksandr Mykolayovych, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: o.kosharnyi@gmail.com, tel. +380673771861, <https://orcid.org/0000-0002-5969-4858>

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Домніч В.І. кандидат технічних наук, професор, Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики, Київ, Україна

Поліщук В.П. доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Domnich V.I. candidate of technical sciences, professor, Tavria National University named after V.I. Vernadskyi, professor of the department of general engineering disciplines and thermal power engineering, 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.

ПЕРСПЕКТИВИ ТА ЕТАПИ ЗАСТОСУВАННЯ БІОГАЗУ В ЕНЕРГЕТИЦІ І НА ТРАНСПОРТІ УКРАЇНИ

Лісовал А.А., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, li-dvz@bigmir.net, orcid.org/0000-0001-6168-4010

Гуменчук М.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, Gumenchuk1992@ukr.net, orcid.org/0000-0002-3285-0945

PROSPECTS AND STAGES OF BIOGAS APPLICATION IN ENERGY AND TRANSPORT OF UKRAINE

Lisoval A.A., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, li-dvz@bigmir.net, orcid.org/0000-0001-6168-4010

Gumenchuk M.I., candidate of technical sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, Gumenchuk1992@ukr.net, orcid.org/0000-0002-3285-0945

Постановка проблеми

Парникові гази (ПГ) світове співтовариство визнало основною причиною зміни клімату на планеті і дійшло згоди у питанні скорочення їх викидів. Мета інтенсивного скорочення викидів ПГ штучного походження у галузях економіки – стримати глобальне потепління в межах двох градусів у порівнянні з до індустріальним рівнем. В першу чергу, це стосується декарбонізації технологічних процесів в таких галузях: енергетика, хімічна та металургійна промисловості, транспорт.

Для країн Євросоюзу (ЄС), економіка яких займає друге місце в світі після США, таке скорочення викидів ПГ у 2050 р. має становити 95 % у порівнянні з викидами 1990 р. Більшість країн почали декарбонізацію з поступового переходу від викопного палива до відновлювальних джерел в електроенергетиці, а далі мають намір поширювати цю стратегію на інші галузі економіки. Німеччина має стратегічний план досягти кліматично нейтрального статусу до 2045 р.

Це досить амбітні плани для країн ЄС, які потребують технологічної модернізації не менше 40 % європейської економіки [1] і великих фінансових вкладень відповідно. Але викопне паливо ще досить широко використовується в Центральній і Східній Європі для опалення будівель. На даний час отримані безпосередньо від відновлювальних джерел електричний струм і тепло не можуть бути самостійно використані на транспорті, в ЖКГ, в енергоємних виробництвах хімічної та металургійної промисловості.

У 2020 р. стратегічний курс ЄС на декарбонізацію і відповідно зменшення викидів ПГ штучного походження було закріплено законодавчо в Регламенті «зеленої» класифікації або таксономії (Green Deal). Сутність цього закону – стимулювання інвестицій у сектор низько вуглеводневих технологій, а не у «брудні» для довкілля джерела енергії та технології. Декарбонізація і надходження відповідних фінансів для цього зможуть модернізувати технологічні процеси промислових галузей і забезпечити екологічно безпечний розвиток економіки в цілому з усталеними темпами.

Однак країни ЄС, які суттєво залежать від імпорту викопних видів палива, через два роки змінили тактику декарбонізації. В Регламенті «зеленої» таксономії, на обмежений у часі перехідний період, була визнана чистою електроенергія, вироблена з ядерного палива і природного газу у існуючому виді. До цього рішення підштовхнула енергетична криза штучно створена «Газпромом».

В першій декаді червня 2022 р. єврокомісар ЄС із питань внутрішнього розвитку Тьеррі Бретон оприлюднив (радіостанція Europe 1) план заміщення природного газу з РФ – це нарощування поставок скрапленого природного газу судами з США і Катару, існуючими трубопроводами від традиційних постачальників газу; заміщення імпорту газу виробленою електроенергією від додаткових морських вітрових турбін і фотоелектричних панелей; відновлення роботи електростанцій на вугіллі. Вимушене повернення до використання вугілля на теплових

електростанціях в країнах ЄС діє на користь рішення про тимчасову «зелену» класифікацію атомних (АЕС) і газових теплових електростанцій (ТЕС).

Мета статті – на підставі світових тенденцій, законодавчих стимулів для кліматично безпечного розвитку галузей економіки обґрунтувати місце біогазу як сировини і моторного палива в декарбонізації енергетики і транспорту України.

Аналіз міжнародного досвіду країн ЄС

Існує наука таксономія, яка базується на теорії систематизації складних високоорганізованих систем, вивчає та класифікує їх ієрархічну структуру відповідно до обґрунтованих цілей. Наприклад, таксономія добре відома і застосовується: в біології для впорядкованої класифікації живих істот; у фінансово-банківській та страховій галузях для визначення документації та статей і показників звітності, які необхідно оприлюднити.

В економіці застосовують принципи таксономії для структуризації моделей технологічного устрою галузей економіки. На початковій стадії ієрархічної класифікації економічних моделей та їх зав'язків були галузі оброблювальної промисловості, вище знаходяться моделі сфери послуг [2]. На макроекономічному рівні розглядають взаємозв'язки між різними економічними моделями і формують пріоритети інвестиційної політики.

Методологія (або принципи) таксономії для класифікації пріоритетності інновацій в економіці полягає у наступному: аналіз кліматичних змін і визнання залежності від попереднього розвитку; обґрунтування нової парадигми для подальшого розвитку; визначення взаємозалежних та специфічних міжгалузевих зав'язків для інноваційної і відповідно фінансової активності.

Відповідно до методології Регламенту «зеленої» класифікації в економіці ЄС взято курс на екологічно безпечну діяльність тобто на:

- всеохоплююче запобігання забрудненню та постійний моніторинг стану довкілля;
- пом'якшення вже існуючих наслідків від зміни клімату;
- адаптацію до процесів зміни клімату;
- екологічно безпечне раціональне використання та захист водних ресурсів;
- перехід до циркуляційних енергетичних і технологічних процесів у взаємозалежних галузях;
- забезпечення захисту і відновлення біологічного різноманіття та екосистем в цілому.

Кінцева мета «зеленої» класифікації законодавчо закріпити критерії оцінки екологічно безпечних і перспективних джерел енергії, проектів та підприємств економічної діяльності, технологій і відповідно їх теж маркувати на суто «зелені», на тимчасово «зелені» або шкідливі для клімату. Таке маркування є дороговказ для управлінських структур ЄС у пріоритетності фінансування та нормативного стимулювання, що забезпечить процес декарбонізації і перехід економіки до розвитку з прогнозованими усталеними темпами.

В економіці з усталеними темпами розвитку відповідно ступеню екологічного впливу на довкілля є місце для таких видів діяльності: з суттєвим вкладом у захист оточуючого середовища, з опосередкованим допоміжним впливом на взаємозалежні види діяльності, з позитивним впливом на час перехідного періоду.

Саме до останнього виду діяльності відноситься тимчасове «зелене» маркування АЕС і газових ТЕС у порівнянні з вимушеним дозволом на поновлення роботи в ЄС вугільних ТЕС. Але на газових ТЕС для виконання кліматичних цілей вводять певні умови та обмеження – це обов'язкове застосування когенераційних технологій та нормування викидів CO₂ в атмосферне повітря 100 - 270 г/(кВт*год). Для великих стаціонарних газових електростанцій унормовано менші значення викидів CO₂.

Регламент «зеленої» класифікації дозволяє вкладати кошти в пріоритетні проекти і технології за межами ЄС. Це важливо для України, яка очікує у післявоєнний час зовнішнього фінансування у будівництво нових блоків АЕС, у відновлення та модернізацію електростанцій і газової транспортної мережі, у енергозберігаючі технології в ЖКГ.

За даними Укрінформу центральне місце у плані післявоєнного відновлення займає енергонезалежність України. Аналіз літературних джерел довоєнного періоду підтвердив курс української економіки на використання енергоефективних технологій і декарбонізацію. Останнє задекларовано досягти поступовим заміщенням викопного палива електрифікацією транспорту і промисловості. Цей перехід буде отримувати енергію від АЕС, гідроелектростанцій, сонячних і вітрових електростанцій. Розглядаються можливості використання та заміщення природного газу

біометаном і воднем в транспортному і електроенергетичному секторах. Ці газові палива можуть бути використані і в інших галузях, технологічних процесах та у виробництві нових синтетичних палив.

Етап переходу від біогазу до біометану

Фізико-хімічний склад біогазу залежить від базової органічної сировини і відповідно калорійність палива буде різною. Прийнято вважати, що біогаз – це низькокалорійне паливо, до складу якого входять такі компоненти: 50-80 % метану, 25-50 % вуглекислого газу, 1-5 % водню і 0,3-3 % азоту [3].

Виробництво біогазу здійснюється у спеціальних хімічних реакторах або на обладнаних смітєвих полігонах в процесі метанового бродіння органічних відходів під дією бактерій. Продуктивність і життя цих бактерій можливе лише у вузькому діапазоні плюсових температур. Для стабільної кількості виходу якісного біогазу в спеціальних хімічних реакторах автоматизовані процеси підтримання температури життєдіяльності бактерій.

Далі біогаз проходить попереднє очищення, в першу чергу, від хімічних з'єднань сірки і може бути застосований в когенераційних або в транспортних силових установках. Біогаз при певній концентрації горючої (метанової) складової можна використовувати як самостійне моторне паливо, або як добавку до природного газу. У останньому випадку буде збережено номінальну потужність енергетичних силових установок.

Якщо біогаз продовжити очищати від негорючих складових і довести метанову складову до 90 – 98 %, то такий газ буде називатися біометаном. В Україні не виробляють біометан з біогазу у промислових масштабах. Для збагачення біогазу до біометану необхідно вкладати додаткові кошти в спеціальні хімічні технологічні процеси очищення, які базуються на: мембранній або кріогенній технологіях, методах очищення водою під високим тиском або адсорбції за коливанням тиску таке інше [4].

За даними Інституту газу НАН України (ІГ НАНУ) науковці і бізнесмени декларують потенціал України у виробленні біогазу в межах 2,5-7,8 млрд.м³ за рік. Проаналізуємо реалії у галузі виробництва біогазу та перспективи досягнення нижньої межі цього прогнозу. Для аналізу були взяті дані довоєнного періоду.

На кінець 2020 р. за даними Біоенергетичної асоціації (UABIO) в Україні працювало 68 біогазових станцій: 28 використовували органічні відходи та біосировину великих агрохолдингів, 27 на полігонах сміттєзвалищ використовували у якості сировини тверді побутові відходи, 10 використовували окремі процеси очищення стічних вод, 3 газогенераторні станції були прирівняні до біогазових. Сумарна електрична потужність всіх цих станцій становила 105 МВт. 50 станцій працювали за «зеленим» тарифом і за рік продали 103,364 МВт електроенергії. На перший погляд, це в 11 разів менше за електричні потужності вітрових і в 52 раз менше за потужності промислових сонячних українських електростанцій за той же 2020 р. На користь біогазових станцій відзначимо, що вони можуть працювати незалежно від: швидкості вітру, від пори року та тривалості світлової доби.

Розвиток біогазу в Україні знаходиться на початковій стадії і «зелений» тариф єдиний рушій розвитку галузі. Приведені вище порівняння з вітровими і сонячними електростанціями не враховують можливість генерувати теплову енергію при когенерації, ефект від замкнутого циклу циркуляції CO₂ і утворення добрив як кінцевого продукту метанового бродіння органічних відходів сільського господарства.

Асоціація UABIO декларує виробництво 230 млн.м³ біогазу за 2020 р., але відсутні дані про калорійність такого газу. За існуючої ситуації досягти нижньої межі прогнозу у виробництві 2,5 млрд.м³/рік біогазу буде можливо при збільшенні кількості біогазових станцій до 740. Така робота потребує довгострокових поетапних інвестиційних планів за стабільного розвитку (відбудови) економіки.

Для стимулювання розвитку біогазових станцій і подальшого виробництва саме біометану в листопаді 2021 р. в Закон України «Про альтернативні види палива» були внесені зміни. Законодавчо створено основу для виробництва, використання біометану в Україні та експорту його до країн ЄС. Передбачено створення реєстру біометану з відповідними технічними сертифікатами. Такі реєстри вже працюють на ринку газу в країнах ЄС і необхідні при продажу біометану для гарантій відповідності фізико-хімічних властивостей незалежно від походження біометану.

В Законі зазначено, що біометан є аналогом природного газу, може бути використаний як паливо на транспорті. Його використання зменшить забруднення атмосферного повітря, і

парниковими газами включно. Це ще один крок у напрямі законодавчого стимулювання процесів декарбонізації економіки в Україні.

Біометан також розглядається як сировина у циркуляційних технологічних ланцюжках виробництва та зберігання водню. З біометану подібно до природного газу можна синтезувати водень. Такі технології отримання водню дешевші за електроліз. Існують припущення, що за наявності надлишку «зеленого» водню, його доцільно перетворити на метан з використанням CO_2 , що був вилучений при збагаченні біогазу до біометану [4].

Етапи застосування біогазу і біометану в поршневих ДВЗ

Когенераційні установки з електричною потужністю від 20 до 2000 кВт, які оснащені поршневими двигунами, знаходять широке розповсюдження в житлово-комунальному і аграрному секторі України, котеджних селищах, санаторно-лікарняних комплексах та інше. Загально відомо, що в когенераційних установках процес спільного вироблення електричної та теплової енергії дозволяє підвищити к.к.д. до 90 %.

Більшість приводних поршневих ДВЗ в таких установках – це дизелі, або створені на їх основі суто газові двигуни з іскровим запалюванням, або газодизелі.

ІГ НАНУ і кафедра двигунів і теплотехніки Національного транспортного університету з 2000 р. співпрацюють над створенням і дослідженням когенераційних установок з потужністю привода 20...200 кВт, розробляють системи автоматичного регулювання до них. Принципову схему когенераційної газової установки показано на рис. 1.

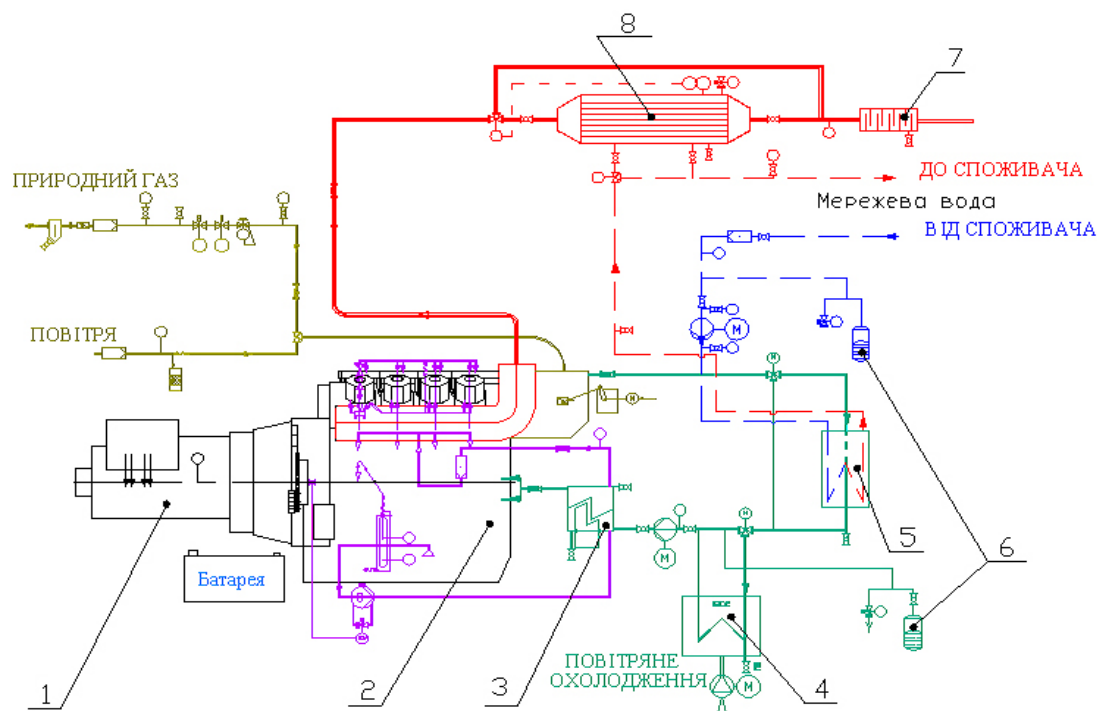


Рисунок 1 – Принципова схема когенераційної газової установки:

1 – електричний генератор; 2 – газовий двигун; 3 – теплообмінник (олива-мережева вода); 4 – радіатор аварійного охолодження; 5 – теплообмінник (охолодна рідина-мережева вода); 6 – рідинні ресивери надлишкового тиску; 7 – глушник; 8 – теплообмінник (відпрацьовані гази-мережева вода)

Figure 1 – Schematic diagram of a gas cogeneration plant:

1 – electric generator; 2 – gas engine; 3 – heat exchanger (oil-mains water); 4 – emergency cooling radiator; 5 – heat exchanger (cooling liquid-mains water); 6 – liquid receivers of excess pressure; 7 – muffler; 8 – heat exchanger (exhaust gases-mains water)

Розроблено методику розрахунку когенераційного обладнання на основі теорії теплового балансу поршневого ДВЗ [5]. Зазвичай автоматичні системи когенераційної установки забезпечують відбір теплоти від систем випуску відпрацьованих газів (ВГ), охолодження, мащення газового двигуна. Для зменшення вартості установки за генерації електричної потужності 30-50 кВт не варто встановлювати теплообмінник 3 і автоматичне управління контуром відбору теплоти від системи мащення.

Розрахунок теплового балансу приводного газового двигуна 8Ч10/8,8, який було виконано для номінального режиму (1500 хв^{-1}) показав, що крім генерації 30 кВт електричної енергії можна отримати додатково до 162 МДж теплової енергії без залучення відбору теплоти від системи мащення. При генерації лише електричної енергії к.к.д. установки за номінального режиму становить близько 30 %, а при когенерації – збільшується до 75 %.

Система відбору теплоти від випускної системи при нагріві мережевої води автоматично спрацьовує за сигналами датчиків температури ВГ. Ця система має два контури проходження ВГ: основний та обхідний без відбору теплоти. В залежності від температури мережевої води на виході до споживача кроковий електродвигун перекриває заслінкою один із контурів.

У випадку недостатнього нагріву мережевої води здійснюється автоматичне відведення теплоти від системи охолодження газового двигуна через теплообмінник 5. Для автономного підтримання тиску в системі мережевої води споживача та в системі охолодження двигуна було вмонтовано два ресивери 6 надлишкового тиску.

Резервна система рідинного охолодження забезпечує захист від перегріву двигуна та надійну автономну роботу. Ця система має контур подачі охолодної рідини до системи зовнішнього відбору теплоти, що складається з радіатора 4 з електричним вентилятором та насосом аварійної підкачки охолодної рідини [6].

Для приводного газового ДВЗ розроблено мікропроцесорну систему дозування газового палива на основі вузлів фірми HEINZMANN [7].

В когенераційних установках застосовують як традиційні газові палива, так і альтернативні.

Використання біогазу вимагає спеціальних налаштувань автоматичної системи дозування газового палива, корекції кута випередження запалювання і газового двигуна в цілому.

Скоротити трудомісткість експериментальних робіт з налаштувань автоматичної системи дозування на певний склад біогазу можливо при застосуванні у якості палива модельного газу [8]. Модельний газ – це суміш природного газу з вуглекислим, яка моделює біогаз.

В наших дослідженнях [9] для створення модельного газу в редукторі-змішувачі нульового тиску до природного газу додавали певну об'ємну частку вуглекислого газу (до 30-34 %). На номінальному режимі метанове число модельного газу дорівнює 84. Для визначення значення метанового числа було вибрано міжнародну методику [10].

Розроблена мікропроцесорна система дозування газового палива забезпечує регулювання частоти обертання колінчастого вала і відповідно вала електрогенератора із заданим ступенем нерівномірності (налаштування було 0,6 %). За роботи на природному газі склад газо-повітряної суміші може підтримуватися в межах 1,0-1,55 коефіцієнта надміру повітря. За роботи на модельному газі розроблена система підтримувала коефіцієнт надміру повітря газо-повітряної суміші в межах 1,0-1,33. Мікропроцесорне дозування кількості газо-повітряної суміші здійснюється автоматично дросельною заслінкою, яка встановлена у газовому змішувачі. Система дозування відноситься, за автомобільною класифікацією, до третього покоління систем живлення газових ДВЗ [11].

Результати досліджень газового ДВЗ 8Ч10/8,8 на модельному газі є основою для здійснення переходу від кількісного до якісного регулювання паливної суміші природного газу з добавками біогазу, тобто для переходу до четвертого покоління систем живлення. Необхідно створити два окремих контури автоматичного регулювання подачами повітря і сумішевого палива з біогазу і природного газу, які взаємозалежні між собою через зовнішнє навантаження. Для сумішевого палива (біогаз / природний газ) розроблено алгоритм взаємозалежного регулювання, принцип якого показано в табл. 1.

За зростання навантаження в 75 % і більше відбувається інтенсивніше збагачення паливної суміші метановою складовою. Це забезпечує збереження номінальної потужності енергетичної установки і стійку роботу за короткочасних перевантажень.

Таблиця 1 – Зміни складу сумішевого палива газового двигуна відповідно навантаженню
Table 1 – Changes in the composition of the fuel mixture of the gas engine according to the load

Зовнішнє навантаження, %	Частка біогазу, %	Частка природного газу, %
0 – 10	85	15
10 – 75	85 – 35	15 – 65
75 – 100	35 – 8	65 – 92
100 – 110	0	100

Запропонований алгоритм регулювання паливної суміші може бути реалізований у мікропроцесорному блоці управління газовими електромагнітними форсунками для дозування складових сумішевого палива. В якості коригуючих зав'язків для алгоритму взаємозалежного регулювання вибрано сигнали від датчиків вмісту кисню і метану у ВГ. Введення цих зав'язків позитивно вплине на адаптацію роботи системи з каталітичним нейтралізатором.

Наявна (довоєнна) кількість біогазових станцій з попередньою очисткою свідчить про доцільність використання біогазу як самостійного палива в когенераційних установках у безпосередній близькості від біогазових станцій. Якщо використовувати біогаз як добавку до природного газу, то крім когенераційних установок можливо використовувати сумішеве паливо в поршневих ДВЗ на автомобілях, автобусах та спеціальній сільськогосподарській техніці місцевого або регіонального рівня. Вартість газового двигуна на сумішевому паливі збільшиться через ускладнення системи живлення і автоматичного управління, але буде збережено номінальну потужність ДВЗ.

Ситуація кардинально зміниться, коли в Україні почнуть виробляти біометан у промислових об'ємах і буде задіяна транспортна інфраструктура природного газу. Тоді цей альтернативний газ із «зеленим» маркуванням і відповідними сертифікатами зможе замінювати частку природного газу в галузях економіки, і в першу чергу, в енергетиці і на транспорті.

Чотиритактні поршнєві газові ДВЗ з іскровим запалюванням, що працюють на газоподібному метані або біометані, мають багато вузлів і конструктивних рішень подібних до тих, які працюють на зрідженому нафтовому газі і описані в роботі [11].

Зріджений метан успішно використовується як моторне паливо у суднових газодизелях на танкерному і комерційному флоті. Двопаливні двотактні поршнєві ДВЗ, які працюють за газодизельним циклом, мають декілька оригінальних конструктивних рішень від провідних моторобудівних фірм [12 с.262–341] і можуть бути реалізовані в інших газових поршневих ДВЗ.

Висновки

Для зменшення викидів парникових газів більшість країн здійснюють перехід від викопних видів палива до відновлювальних джерел енергії. В країнах ЄС законодавчо, на час перехідного періоду, до енергії з відновлювальних джерел з «зеленим» маркуванням (Green Deal) прирівняли енергію отриману від спалювання природного газу.

«Зелене» маркування стимулює розвиток та інвестиції у газові модифікації поршневих ДВЗ. Це опосередковано може бути підтверджено успішним впровадженням у якості моторного палива зрідженого метану в суднових двигунах.

В Україні законодавчо біометан закріплено як альтернативне газове паливо аналогічне природному газу. Сировиною для біометану є біогаз. Біометан в Україні не виробляють у промислових об'ємах через відсутність спеціальних технологій очистки і збагачення на біогазових станціях.

В Україні необхідно почати виробляти біометан у промислових об'ємах і задіяти інфраструктуру природного газу для транспортування біометану. Це питання повинно знайти місце поряд з підвищенням енергоефективності газових силових установок у післявоєнній програмі відновлення енергонезалежності.

Існуюча кількість і якість очисних технологій біогазових станцій дозволяють використовувати біогаз як самостійне паливо в когенераційних установках у безпосередній близькості від біогазових станцій. Наступний крок – це використання біогазу як добавки до природного газу в поршневих ДВЗ

на автомобілях, автобусах та спеціальній сільськогосподарській техніці місцевого або регіонального рівня.

Результати досліджень газового ДВЗ 8Ч10/8,8 забезпечили перехід від кількісного до якісного регулювання паливної суміші природного газу з добавками біогазу. Для сумішевого палива розроблено алгоритм взаємозалежного регулювання. Із зростанням навантаження частка біогазу зменшується, суміш збагачується природним газом. При навантаженні 75 % і більше збагачення паливної суміші відбувається інтенсивніше.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Dena. Power fuels: A missing link to a successful global energy transition. Berlin. April 2019.
2. Castellacci F. Structural change and the growth of industrial sectors: Empirical test of a GPT model // *Review of Income and Wealth*. – 2010. – Vol.56. – Issue 3. – Pp.443 – 482.
3. Девянин С.Н. Биогаз – альтернативное топливо для дизелей / С.Н. Девянин, В.Л. Чумаков, В.А. Марков // *Транспорт на альтернативном топливе*. – 2012. – № 2(26). – С. 68 – 73.
4. Развитие производства биометана в Украине [Електронний ресурс] // MCL. – Режим доступу до журн.: <https://mcl.kiev.ua/razvitie-proizvodstva-biometana-v-ukraine>. 24.11.2021.
5. Долганов К.Є. Система живлення для переобладнання дизеля в газовий двигун / К.Є. Долганов, А.А. Лісовал, О.І. П'ятничко, Ю.П. Майфет. // *Вісник НТУ-ТАУ*. – 2002. – Вип. №7. – С.295–299.
6. Вербовський В.С. Особливості пред-пускового прогріву стаціонарного газового двигуна з використанням теплового акумулятора з фазовим переходом / В.С. Вербовський, І.В. Грицук, Д.С. Адров, З.І. Краснокутська // *Двигуни внутрішнього згоряння*. – 2014. – №2. – С. 85 – 90.
7. HEINZMANN «Цифровые регуляторы скорости» — К.: DG 95-105, 1997. — 49 с.
8. Huang J., Crookes R. J. Assessment of simulated biogas as a fuel for the spark ignition engine // *Fuel*. – 1998. – Т. 77. – №. 15. – С. 1793-1801.
9. Лісовал А.А. Связанное регулирование подачами биогаза и метана в газовом двигателе / А.А. Лісовал // *Двигуни внутрішнього згоряння*. – 2021. – №1. – С. 58-63. DOI: 10.20998/0419-8719.2021.1.11.
10. ISO 15403-1:2006. Natural gas– Natural gas for use as a compressed fuel for vehicles – Part 1: Designation of the quality.
11. Ковальов С.О. Системи управління газовими двигунами, конвертованими на базі дизелів: монографія / С.О. Ковальов. – Харків: Видавництво Іванченка І.С., 2021. – 160с.
12. Білоусов Є.В. Теоретичні основи робочих процесів в суднових двигунах, що працюють на альтернативних паливах: монографія / Є.В. Білоусов. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2020. – 444с.

REFERENCES

1. Dena. Power fuels (2019): A missing link to a successful global energy transition. Berlin. April 2019.
2. Castellacci F. (2010), Structural change and the growth of industrial sectors: Empirical test of a GPT model // *Review of Income and Wealth*. – Vol.56. Issue 3, pp.443 – 482.
3. Devyanin S.N., Chumakov V.L., Markov V.A. (2012), “Biogas - alternative fuel for diesel engines”, [“Биогаз – альтернативное топливо для дизелей“], *Transport on alternative fuel*. No.2(26), pp.68-73.
4. Development of biomethane production in Ukraine (2021), [Electronic resource] // MCL. – Journal access mode: <https://mcl.kiev.ua/razvitie-proizvodstva-biometana-v-ukraine>. 24.11.2021. [in Ukrainian]
5. Dolganov K.Y., Lisoval A.A., Pyatnichko O.I., Mayfet Yu.P. (2002), “Living system for converting a diesel into a gas engine”, [“Systema zhyvlennya dlya pereobladnannya dyzelya v hazovyy dvyhun“], *Bulletin of NTU-TAU*. No. 7, pp.295–299. [in Ukrainian]
6. Verbovsky V.S., Hrytsuk I.V., Adrov D.S., Krasnokutska Z.I. (2014), “Peculiarities of pre-start warm-up of a stationary gas engine using a heat accumulator with a phase transition”, [“Особливості пред-пускового прогріву стаціонарного газového двyhuna z vykorystannyam teplovoho akumulyatora z fazovym perekhodom“], *Internal combustion engines*. No. 2, pp. 85-90. [in Ukrainian]
7. HEINZMANN (1997), “Digital speed controllers”, [“Tsifrovyye regulatoryi skorosti “], Kiev, DG 95-105, p.49.
8. Huang J., Crookes R. J. (1998), “Assessment of simulated biogas as a fuel for the spark ignition engine”, *Fuel*. – Vol/ 77. No. 15, pp. 1793-1801.

9. Lisoval A.A. (2020), "Research results on the use of a mixture of biogas and methane in a gas engine of a power plant", ["Rezultaty issledovaniy po primeneniyu smesi biogaza i metana v gazovom dvigatele elektrostantsii"], Internal combustion engines. No.2, pp.58-63. DOI: 10.20998/0419-8719.2020.2.08. [in Ukrainian]
10. ISO 15403-1:2006. Natural gas– Natural gas for use as a compressed fuel for vehicles – Part 1: Designation of the quality.
11. Kovalev S.O. (2021), "Control Systems for Gas Engines Converted to Diesels: a monograph", ["Systemy upravlinnya hazovymy dvyhunamy, konvertovanyymi na bazi dyzeliv: monohrafiya"], Kharkiv: I.S. Ivanchenko Publishing House, 160p. [in Ukrainian]
12. Bilousov E.V. (2020), "Theoretical foundations of work processes in marine engines operating on alternative fuels: a monograph", ["Teoretychni osnovy robochykh protsesiv v sudnovykh dvyhunakh, shcho pratsyuyut' na al'ternatyvnykh palyvakh: monohrafiya"], Kherson: OLDI-PLUS, 444 p. T [in Ukrainian]

РЕФЕРАТ

Лісовал А.А. Перспективи та етапи застосування біогазу в енергетиці і на транспорті України / А.А. Лісовал, М.І. Гуменчук // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

В статті на підставі світових тенденцій, законодавчих стимулів для кліматично безпечного розвитку галузей економіки обґрунтовано місце біогазу як сировини і моторного палива в декарбонізації енергетики і транспорту України. Для зменшення викидів парникових газів більшість країн здійснюють перехід від викопних видів палива до відновлювальних джерел енергії. В країнах ЄС до енергії з відновлювальних джерел з «зеленим» маркуванням (Green Deal) прирівняли енергію отриману від спалювання природного газу. В Україні законодавчо біометан закріплено як альтернативне газове паливо аналогічне природному газу. Сировиною для біометану є біогаз. Біометан в Україні не виробляють у промислових масштабах через відсутність спеціальних технологій очистки і збагачення на біогазових станціях. В Україні необхідно почати виробляти біометан у промислових об'ємах і задіяти інфраструктуру природного газу для транспортування біометану. Існуюча кількість і якість очисних технологій на біогазових станціях дозволяють використовувати біогаз як самостійне паливо в когенераційних установках у безпосередній близькості від біогазових станцій. Розрахунок теплового балансу приводного газового двигуна 8Ч10/8,8 показав, що крім генерації 30 кВт електричної енергії можна отримати додатково до 162 МДж теплової енергії без залучення відбору теплоти від системи мащення. При генерації лише електричної енергії к.к.д. установки за номінального режиму становить близько 30 %, а при когенерації – збільшується до 75 %. Наступний крок – це використання біогазу як добавки до природного газу в поршневих ДВЗ на автомобілях, автобусах та спеціальній сільськогосподарській техніці місцевого або регіонального рівня. Результати досліджень газового ДВЗ 8Ч10/8,8 забезпечили перехід від кількісного до якісного регулювання паливної суміші природного газу з добавками біогазу. Для сумішевого палива розроблено алгоритм взаємозалежного регулювання. Із зростанням навантаження частка біогазу зменшується, суміш збагачується природним газом. При навантаженні 75 % і більше збагачення паливної суміші відбувається інтенсивніше.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ, ГАЗОВИЙ ПОРШНЕВИЙ ДВИГУН, БІОМЕТАН, ПАРНИКОВІ ГАЗИ, РЕГУЛЮВАННЯ СКЛАДУ ГАЗОВОГО ПАЛИВА.

ABSTRACT

Lisoval A.A., Humenchuk M.I. prospects and stages of biogas application In energy and transport of Ukraine. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

In the article, based on existing global trends, legislative incentives for climate-friendly development of economic sectors, the place of biogas as a raw material and motor fuel in the decarbonization of energy and transport in Ukraine is substantiated. To reduce greenhouse gas emissions, most countries are making the transition from fossil fuels to renewable energy sources. In EU countries, renewable energy with a Green Deal label was equated with energy obtained from the combustion of natural gas. In Ukraine, biomethane is legally enshrined as an alternative gas fuel similar to natural gas. The raw material for biomethane is biogas. In Ukraine, biomethane is not produced on an industrial scale due to the lack of special purification and

enrichment technologies at biogas stations. In Ukraine, it is necessary to start producing biomethane on an industrial scale and use the natural gas infrastructure for transporting biomethane. A existing quantity and quality of treatment technologies of biogas plants allow the use of biogas as an independent fuel in cogeneration plants in the immediate vicinity of biogas plants. Calculation of the heat balance of the drive gas engine (8-cylinder, 100 mm cylinder diameter, 88 mm stroke) showed that in addition to generating 30 kW of electrical energy, it is possible to obtain additionally up to 162 MJ of thermal energy without taking heat from the lubrication system. When generating only electrical energy, the efficiency installation in nominal mode is about 30 %, and with cogeneration – it increases to 75 %. The next step is – the use of biogas as an additive to natural gas in reciprocating internal combustion engines on cars, buses and special agricultural machinery at the local or regional level. The results of tests of the gas ICE ensured the transition from quantitative to qualitative regulation of the fuel mixture of natural gas with biogas additives. For mixed fuel, a coupled control algorithm has been developed. With an increase in load, the share of biogas decreases, the mixture is enriched with natural gas. At a load of 75% or more, the enrichment of the fuel mixture occurs more intensively.

KEY WORDS: INTERNAL COMBUSTION ENGINE, GAS PISTON ENGINE, BIO METHANE, GREENHOUSE GASES, GAS COMPOSITION REGULATION.

АВТОРИ:

Лісовал Анатолій Анатолійович, доктор техн. наук, професор, професор кафедри двигунів і теплотехніки, Національний транспортний університет, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 303а, e-mail: li-dvz@bigmir.net . tel. +380442804716, [https:// orcid.org/0000-0001-6168-4010](https://orcid.org/0000-0001-6168-4010)

Гуменчук Михайло Іванович, кандидат техн. наук, доцент, доцент кафедри двигунів і теплотехніки, Національний транспортний університет, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 303а, e-mail: Gumenchuk1992@ukr.net . tel. +380442804716, <https://orcid.org/0000-0002-3285-0945>.

AUTHOR:

Lisoval Anatoliy .A., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Professor of the Department of engines and heat engineering, e-mail: li-dvz@bigmir.net, tel. +380442804716, Ukraine, 01010, Kyiv, Omeliyanovicha-Pavlenko St. 1, of. 303a, <https://orcid.org/0000-0001-6168-4010>

Humenchuk Mikhaylo I., candidate of technical sciences, associate professor, National Transport University, associate professor National Transport University, Ukraine 01010 Kyiv, Omeliyanovicha-Pavlenko St. 1, of. 303a, Gumenchuk1992@ukr.net, tel. +380442804716, <https://orcid.org/0000-0002-3285-0945>.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Сахно Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

Клименко Олексій .Андрійович., доктор технічних наук, заступник директора з наукової роботи, ДП «ДержтрансНДІпроект», Київ, Україна.

REVIEWER:

Sakhno Voljdymyr P., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Head of the Automobile department, Kyiv, Ukraine.

Klymenko Olexsey A., Doctor of Technical Science, deputy director for scientific work, SE "DerzhtransNDIproekt, Kyiv, Ukraine.

РЕАЛІЗАЦІЯ ПОЛОЖЕНЬ ЗАКОНУ УКРАЇНИ «ПРО ОСНОВИ НАЦІОНАЛЬНОГО СПРОТИВУ» ЧЕРЕЗ АДАПТАЦІЮ ПРОГРАМИ ДИСЦИПЛІНИ «ОХОРОНА ПРАЦІ В ГАЛУЗІ ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ» В НТУ ДО ВИМОГ ВОЄННОГО СТАНУ

Лобода А.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, andreyloboda7@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6956-3288

IMPLEMENTATION OF THE PROVISIONS OF THE LAW OF UKRAINE «ON THE FUNDAMENTALS OF NATIONAL RESISTANCE» THROUGH THE ADAPTATION OF THE DISCIPLINE PROGRAM «SAFETY OF LABOR IN THE INDUSTRY AND CIVIL DEFENSE» IN NTU TO THE REQUIREMENTS OF THE MARTIAL STATE

Loboda A.V., Ph.D. of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, andreyloboda7@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6956-3288

Постановка проблеми. Підготовка фахівців у Національному транспортному університеті здійснюється у відповідності до законодавства, документів Міністерства освіти і науки України та іншої документації, в тому числі внутрішньої університетської. Зміни законодавства, зміни умов функціонування економіки країни та закладів освіти потребують адаптації навчальної документації та режимів роботи до сучасних реалій.

Мета роботи – обґрунтування та внесення змін до програми дисципліни «Охорона праці в галузі та цивільний захист» відповідно до положень Закону України «Про основи національного спротиву» та порядку проведення навчального процесу в умовах воєнного стану.

Виклад основного матеріалу. У зв'язку з необхідністю реалізації положень стратегічних документів у сфері національної безпеки і оборони, Верховною Радою України 16 липня 2021 року було прийнято Закон України «Про основи національного спротиву» [1]. Зокрема, Законом внесені зміни до інших законодавчих актів [3-15]. Відповідно до Закону, складовими національного спротиву є територіальна оборона, рух опору та підготовка громадян України до національного спротиву. У Законі наведено визначення цих понять.

Національний спротив – комплекс заходів, які організовуються та здійснюються з метою сприяння обороні України шляхом максимально широкого залучення громадян України до дій, спрямованих на забезпечення воєнної безпеки, суверенітету і територіальної цілісності держави, стримування і відсіч агресії та завдання противнику неприйнятних втрат, з огляду на які він буде змушений припинити збройну агресію проти України.

Рух опору – система воєнних, інформаційних і спеціальних заходів, організація, планування, підготовка і підтримка яких здійснюється з метою відновлення державного суверенітету і територіальної цілісності під час відсічі збройної агресії проти України.

Територіальна оборона – система загальнодержавних, воєнних і спеціальних заходів, що здійснюються у мирний час та в особливий період з метою протидії воєнним загрозам, а також для надання допомоги у захисті населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій.

Оскільки Національний транспортний університет не є військовим закладом освіти, до програми підготовки фахівців може бути включено елементи територіальної оборони.

Завданнями територіальної оборони серед іншого є:

- своєчасне реагування та вжиття необхідних заходів щодо оборони території та захисту населення на визначеній місцевості;
- участь у захисті населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій, ліквідації наслідків ведення воєнних (бойових) дій;
- участь у підготовці громадян України до національного спротиву
- участь в охороні та обороні важливих об'єктів і комунікацій, інших критично важливих об'єктів інфраструктури, визначених Кабінетом Міністрів України, та об'єктів обласного, районного, сільського, селищного, міського значення, районного у містах рад, сільських, селищних, порушення функціонування та виведення з ладу яких становлять загрозу для життєдіяльності населення;

- участь у здійсненні заходів щодо тимчасової заборони або обмеження руху транспортних засобів і пішоходів поблизу та в межах зон/районів надзвичайних ситуацій та/або ведення воєнних (бойових) дій;

- участь у забезпеченні заходів громадської безпеки і порядку в населених пунктах;

- участь в інформаційних заходах, спрямованих на підвищення рівня обороноздатності держави та на протидію інформаційним операціям агресора (противника).

Територіальна оборона ґрунтується на принципах територіальності, масовості, мінімального часу на розгортання та приведення підрозділів територіальної оборони у готовність до дій, єдиноначальності, централізації управління та децентралізації і контрольованої автономності застосування сил і засобів територіальної оборони, активності, рішучості та безперервності ведення територіальної оборони, наполегливості у досягненні мети територіальної оборони, узгодженого, спільного застосування сил і засобів, залучених до ведення територіальної оборони, безперервності взаємодії сил і засобів територіальної оборони, всебічного врахування і повного використання моральних та психологічних факторів.

Відповідно до повноважень у сфері національного спротиву, Міністерство освіти і науки України:

- бере участь у реалізації державної політики з питань підготовки громадян України до національного спротиву;

- організовує та здійснює реалізацію заходів з початкової підготовки громадян України до національного спротиву;

- формує та вносить у встановленому порядку пропозиції щодо обсягів фінансового забезпечення заходів підготовки громадян України до національного спротиву.

Для реалізації заходів національного спротиву, які передбачені Законом України, наказами Міністерства освіти і науки України, в Національному транспортному університеті (НТУ) в робочі програми цілого ряду навчальних дисциплін підготовки фахівців різних рівнів вищої освіти та спеціальностей внесені відповідні доповнення.

В першу чергу, це стосується навчальної дисципліни «Охорона праці в галузі та цивільний захист», що вивчається студентами Національного транспортного університету на другому (магістерському) рівні вищої освіти та викладається кафедрою «Технічна експлуатація автомобілів та автосервіс» у другому семестрі I курсу для студентів денної форми навчання автомеханічного факультету, факультету економіки та права, а також для студентів заочної форми навчання факультету заочного, дистанційного навчання та підготовки іноземних громадян.

Опис навчальної дисципліни «Охорона праці в галузі та цивільний захист» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» наведено у табл. 1.

При вивченні дисципліни «Охорона праці в галузі та цивільний захист» розглядаються питання щодо комплексу заходів, спрямованих на відвернення надзвичайних ситуацій, захисту персоналу, населення, матеріальних та культурних цінностей в умовах надзвичайних ситуацій. Тому в умовах воєнного стану особливої актуальності набуває увага до вивчення другого модуля з цієї дисципліни – «Цивільний захист».

У 2012 році був прийнятий Верховною Радою України та з 1 липня 2013 року введений в дію Кодекс цивільного захисту України [2]. Згідно зі ст. 4 Кодексу, цивільний захист – це функція держави, спрямована на захист населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій шляхом запобігання таким ситуаціям, ліквідації їх наслідків і надання допомоги постраждалим у мирний час та в особливий період.

В результаті співставлення понять «територіальна оборона» та «цивільний захист», можна зробити висновок, що основні положення територіальної оборони як системи заходів для посилення та надання допомоги при виконанні завдань цивільного захисту доцільно включити до програми дисципліни «Охорона праці в галузі та цивільний захист» в Національному транспортному університеті.

Другий модуль з дисципліни «Охорона праці в галузі та цивільний захист» включає 2 теми: тему 6 «Правові основи та організаційні заходи цивільного захисту в установах і організаціях автомобільного транспорту» і тему 7 «Захист персоналу у надзвичайних ситуаціях» (див. табл. 2).

В кожному із наведених тем додатково включені запитання щодо ознайомлення студентів із Законом України «Про основи національного спротиву», з поняттями національний спротив, рух опору і територіальна оборона, завданнями територіальної оборони (тема 6, запитання 5), організація захисту працівників і студентів НТУ в умовах воєнного стану (тема 7, запитання 6).

Таблиця 1 – Опис навчальної дисципліни «Охорона праці в галузі та цивільний захист»
Table 1 – Description of the academic discipline «Safety of labor in the industry and civil defense»

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів ECTS – 3	Галузь знань: 27 «Транспорт» Спеціальність: 274 «Автомобільний транспорт» Освітньо-професійна програма: «Автомобільний транспорт» Освітньо-наукова програма: «Автомобільний транспорт» Рівень вищої освіти: другий (магістерський)	Нормативна	
Модулів – 2		Рік підготовки	
		1-й	1-й
Загальна кількість годин – 90		Семестр	
		2-й	2-й
Тижневих годин для денної форми навчання: - аудиторних – 2,0; - самостійної роботи студента – 4,0		Лекції	
		15 год.	8 год.
		Практичні заняття	
		15 год.	8 год.
		Самостійна робота	
		60 год.	74 год.
		Індивідуальні завдання	
		38 год.	58 год.
		Види підсумкового контролю:	
		екзамен	екзамен, контрольна робота

Примітка. Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної та індивідуальної роботи становить (%):

- для денної форми навчання – 50,0;
- для заочної форми навчання – 22,2.

Вказані запитання внесені до запитань другого модульного та підсумкового (екзамену) контролів з навчальної дисципліни «Охорона праці в галузі та цивільний захист».

Після повномасштабного вторгнення російської федерації на територію України та оголошення воєнного стану 24 лютого 2022 року, Національний транспортний університет працює з урахуванням поточної безпекової ситуації. З 28 березня було відновлено проведення освітнього процесу в дистанційному режимі. Згодом, з урахуванням наявності та належної підготовки укриттів, в університеті запроваджено змішаний режим надання освітніх послуг.

Зараз з урахуванням поточної безпекової ситуації організація навчального процесу в Національному транспортному університеті здійснюється в дистанційному або в змішаному режимах. Режими навчального процесу щотижня встановлюються наказами по Національному транспортному університету.

Висновок. У роботі здійснено вибір, обґрунтування та внесення змін до програми дисципліни «Охорона праці в галузі та цивільний захист» відповідно до положень Закону України «Про основи національного спротиву» та порядку проведення навчального процесу в умовах воєнного стану.

Таблиця 2 – Структура модуля 2 з навчальної дисципліни «Охорона праці в галузі та цивільний захист»

Table 2 – Structure of module 2 of the academic discipline «Safety of labor in the industry and civil defense»

Модуль 2 Цивільний захист

Тема 6 Правові основи та організаційні заходи цивільного захисту в установах і організаціях автомобільного транспорту

План теми

1. Єдина державна система цивільного захисту та її складові.
2. Загальні принципи організації Цивільного захисту.
3. Призначення та склад сил і засобів Цивільного захисту установ і організацій.
4. Структура плану дій органів управління та сил Цивільного захисту установи і організації.
5. Закон України «Про основи національного спротиву». Завдання територіальної оборони.

Суть ідеології протидії катастрофам, значення формування Єдиної державної системи цивільного захисту (ЄДСЦЗ). Склад та режими функціонування ЄДСЦЗ.

Нормативно-правова база цивільного захисту і реагування на надзвичайні ситуації, досвід управління в розвинутих країнах. Завдання, мета, принципи організації цивільного захисту. Суб'єкти забезпечення цивільного захисту. Повноваження органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, завдання та обов'язки суб'єктів господарювання, права та обов'язки громадян України у сфері цивільного захисту.

Сили і засоби цивільного захисту. Аварійно-рятувальна служба. Штаб цивільного захисту об'єкта.

Етапи розробки і характеристика розділів Плану дій органів управління та сил Цивільного захисту установи і організації.

Закон України «Про основи національного спротиву». Визначення понять національний спротив, рух опору і територіальна оборона. Завдання територіальної оборони.

Рекомендована література

Цивільний захист і охорона праці в галузі: Навч. посібник / С. О. Ковжого, С. А. Тузіков, Є. В. Карманний, А. П. Зенін. – Х.: Нац. ун-т «Юрид. акад. України ім. Ярослава Мудрого», 2012, С. 6...25.

Цивільний захист: Навч. посібник / Зеркалов Д. В., Міхеев Ю. В., Праховник Н. А., Землянська О. В.; за ред. Д. В. Зеркалова. – К.: «Основа», 2014, С. 12...16, 31...54.

Закон України «Про основи національного спротиву» (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2021, № 41, ст. 339), зі змінами.

Тема 7 Захист персоналу у надзвичайних ситуаціях

План теми

1. Класифікація надзвичайних ситуацій, характер впливу вражаючих факторів надзвичайних ситуацій на людину і навколишнє середовище.
2. Організація оповіщення та інформування особового складу.
3. Організація евакуації особового складу.
4. Укриття особового складу в захисних спорудах.
5. Прогнозування становища при аварії на підприємстві та оцінка стійкості об'єктів господарської діяльності.
6. Організація захисту працівників і студентів Національного транспортного університету в умовах воєнного стану

Режим надзвичайної ситуації. Класифікація надзвичайних ситуацій. Організація та проведення евакуаційних заходів.

Використання захисних споруд для захисту робітників і службовців об'єкта господарювання.

Оцінювання обстановки при техногенному вибуху. Прогнозування становища при аварії на підприємстві з пожежонебезпечними технологіями. Оцінка масштабу і характеру (виду) пожежі, прогнозування її розвитку, швидкості та напрямку поширення. Класифікація вибухо-, пожежонебезпечних зон. Характеристика ступенів руйнування. Методи розрахунку характеристик зон ураження (радіусів зон руйнувань) при вибухах конденсованих речовин, газоповітряних, паливно-повітряних сумішей у відкритому та замкнутому просторі.

Стійкість роботи об'єктів господарювання і фактори, що впливають на стійкість. Оцінювання стійкості роботи об'єкта господарювання внаслідок вибуху газоповітряної суміші. Шляхи і способи підвищення стійкості роботи об'єктів господарювання. Забезпечення надійного захисту та життєзабезпечення виробничого персоналу. Захист та раціональне розміщення основних виробничих фондів, зонування території об'єкту. Захист технологічного обладнання, удосконалення господарсько-виробничих зв'язків, робота за спрощеною технологією, використання місцевих ресурсів. Підвищення стійкості виробничих будівель.

Організація захисту працівників і студентів Національного транспортного університету в умовах воєнного стану. Особливості організації навчального процесу в умовах воєнного стану. Організація оповіщення та інформування працівників і студентів. Захисні укриття Національного транспортного університету.

Рекомендована література

Цивільний захист і охорона праці в галузі: Навч. посібник / С. О. Ковжого, С. А. Тузіков, Є. В. Карманний, А. П. Зенін. – Х.: Нац. ун-т «Юрид. акад. України ім. Ярослава Мудрого», 2012, С. 26...41.

Цивільний захист: Навч. посібник / Зеркалов Д. В., Міхєєв Ю. В., Праховник Н. А., Землянська О. В.; за ред. Д. В. Зеркалова. – К.: «Основа», 2014, С. 58...61, 117...129, 165...184.

Стеблюк М. І. Цивільна оборона та цивільний захист: Підручник / М. І. Стеблюк. – 3-тє вид., стер. – К.: Знання, 2013, С. 28...64, 331...350.

Основи цивільного захисту: Навч. посібник / Васійчук В. О., Гончарук В. Є., Качан С. І., Мохняк С. М. – Львів: Вид-во Нац. університету «Львівська політехніка», 2010, С. 241...342.

Закон України «Про основи національного спротиву» (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2021, № 41, ст. 339), зі змінами.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Закон України «Про основи національного спротиву» (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2021, № 41, ст.339), зі змінами.
2. Кодекс цивільного захисту України (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2013, № 34-35, ст.458), зі змінами.
3. Кодекс законів про працю України (Відомості Верховної Ради УРСР, 1971 р., додаток до № 50, ст. 375), зі змінами.
4. Закон України «Про соціальний і правовий захист військовослужбовців та членів їх сімей» (Відомості Верховної Ради України, 1992 р., № 15, ст. 190), зі змінами.
5. Закон України «Про статус ветеранів війни, гарантії їх соціального захисту» (Відомості Верховної Ради України, 1993 р., № 45, ст. 425), зі змінами.
6. Закон України «Про місцеве самоврядування в Україні» (Відомості Верховної Ради України, 1997 р., № 24, ст. 170), зі змінами.
7. Закон України «Про місцеві державні адміністрації» (Відомості Верховної Ради України, 1999 р., № 20-21, ст. 190), зі змінами.
8. Закон України «Про Збройні Сили України» (Відомості Верховної Ради України, 2000 р., № 48, ст. 410; 2004 р., № 33-34, ст. 405; 2009 р., № 19, ст. 258; 2016 р., № 31, ст. 546).
9. Закон України «Про оборону України» (Відомості Верховної Ради України, 2000 р., № 49, ст. 420), зі змінами.

10. Закон України «Про військовий обов'язок і військову службу» (Відомості Верховної Ради України, 2006 р., № 38, ст. 324), зі змінами.
11. Закон України «Про політичні партії в Україні» (Відомості Верховної Ради України, 2001 р., № 23, ст. 118), зі змінами.
12. Закон України «Про Національну гвардію України» (Відомості Верховної Ради України, 2014 р., № 17, ст. 594; 2016 р., № 3, ст. 35), зі змінами.
13. Закон України «Про правовий режим воєнного стану» (Відомості Верховної Ради України, 2015 р., № 28, ст. 250), зі змінами.
14. Закон України «Про Національну поліцію» (Відомості Верховної Ради України, 2015 р., № 40-41, ст. 379), зі змінами.
15. Закон України «Про національну безпеку України» (Відомості Верховної Ради України, 2018 р., № 31, ст. 241), зі змінами.

REFERENCES

1. The Law of Ukraine «On the Fundamentals of National Resistance» (Bulletin of the Verkhovna Rada, 2021, No. 41, p. 339), with changes.
2. Code of Civil protection of Ukraine (Bulletin of the Verkhovna Rada, 2013, No. 34-35, p. 458), with changes.
3. Code of labor laws of Ukraine (Bulletin of the Verkhovna Rada, 1971, att. to No. 50, p. 375), with changes.
4. The Law of Ukraine «On the social and legal protection of military personnel and their family members» (Bulletin of the Verkhovna Rada, 1992, No. 15, p. 190), with changes.
5. The Law of Ukraine «On the status of war veterans, guarantees of their social protection « (Bulletin of the Verkhovna Rada, 1993, No. 45, p. 425), with changes.
6. The Law of Ukraine «On the local self-government in Ukraine» (Bulletin of the Verkhovna Rada, 1997, No. 24, p. 170), with changes.
7. The Law of Ukraine «On the local state administrations» (Bulletin of the Verkhovna Rada, 1999, No. 20-21, p. 190), with changes.
8. The Law of Ukraine «On the Armed Forces of Ukraine « (Bulletin of the Verkhovna Rada, 2000, No. 48, p. 410; 2004, No. 33-34, p. 405; 2009, No. 19, p. 258; 2016, No. 31, p. 546).
9. The Law of Ukraine «On the defense of Ukraine « (Bulletin of the Verkhovna Rada, 2000, No. 49, p. 420), with changes.
10. The Law of Ukraine «On military duty and military service» (Bulletin of the Verkhovna Rada, 2006, No. 38, p. 324), with changes.
11. The Law of Ukraine «On political parties in Ukraine « (Bulletin of the Verkhovna Rada, 2001, No. 23, p. 118), with changes.
12. The Law of Ukraine «On the National Guard of Ukraine « (Bulletin of the Verkhovna Rada, 2014, No. 17, p. 594; 2016, No. 3, p. 35), with changes.
13. The Law of Ukraine «On legal regime of martial law « (Bulletin of the Verkhovna Rada, 2015, No. 28, p. 250), with changes.
14. The Law of Ukraine «On the National police « (Bulletin of the Verkhovna Rada, 2015, No. 40-41, p. 379), with changes.
15. The Law of Ukraine «On national security of Ukraine « (Bulletin of the Verkhovna Rada, 2018, No. 31, p. 241), with changes.

РЕФЕРАТ

Лобода А.В. Реалізація положень Закону України «Про основи національного спротиву» через адаптацію програми дисципліни «Охорона праці в галузі та цивільний захист» в НТУ до вимог воєнного стану / А.В. Лобода // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Підготовка фахівців у Національному транспортному університеті здійснюється у відповідності до законодавства, документів Міністерства освіти і науки України та іншої документації, в тому числі внутрішньої університетської. Зміни законодавства, зміни умов функціонування економіки країни та закладів освіти потребують адаптації навчальної документації та режимів роботи до сучасних реалій.

Мета роботи – обґрунтування та внесення змін до програми дисципліни «Охорона праці в галузі та цивільний захист» відповідно до положень Закону України «Про основи національного спротиву» та порядку проведення навчального процесу в умовах воєнного стану.

Верховною Радою України 16 липня 2021 року було прийнято Закон України «Про основи національного спротиву». Відповідно до Закону, складовими національного спротиву є територіальна оборона, рух опору та підготовка громадян України до національного спротиву.

Оскільки Національний транспортний університет не є військовим закладом освіти, до програми підготовки фахівців може бути включено елементи територіальної оборони.

Для реалізації заходів національного спротиву, в Національному транспортному університеті в робочу програму навчальної дисципліни «Охорона праці в галузі та цивільний захист», що вивчається студентами Національного транспортного університету на другому (магістерському) рівні вищої освіти на кількох факультетах, внесені відповідні доповнення. В результаті співставлення понять «територіальна оборона» та «цивільний захист», встановлено, що територіальна оборона є системою заходів для посилення та надання допомоги при виконанні завдань цивільного захисту. При вивченні дисципліни «Охорона праці в галузі та цивільний захист» розглядаються питання щодо комплексу заходів, спрямованих на відвернення надзвичайних ситуацій, захисту персоналу, населення, матеріальних та культурних цінностей в умовах надзвичайних ситуацій. Тому в умовах воєнного стану особливої актуальності набуває увага до вивчення другого модуля з цієї дисципліни – «Цивільний захист». Другий модуль з дисципліни «Охорона праці в галузі та цивільний захист» включає 2 теми: тему 6 «Правові основи та організаційні заходи цивільного захисту в установах і організаціях автомобільного транспорту» і тему 7 «Захист персоналу у надзвичайних ситуаціях». В кожному із наведених тем додатково включені запитання щодо ознайомлення студентів із Законом України «Про основи національного спротиву», з поняттями національний спротив, рух опору і територіальна оборона, завданнями територіальної оборони, організація захисту працівників і студентів НТУ в умовах воєнного стану. Вказані запитання внесені до запитань другого модульного та підсумкового контролів з навчальної дисципліни «Охорона праці в галузі та цивільний захист».

Результати статті можуть бути впроваджені у закладах вищої освіти для адаптації програм навчальних дисциплін та організації навчального процесу до умов воєнного стану.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ, АДАПТАЦІЯ, ВОЄННИЙ СТАН, ТЕРИТОРІАЛЬНА ОБОРОНА, ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ.

ABSTRACT

Loboda A.V. Implementation of the provisions of the Law of Ukraine «On the fundamentals of national resistance» through the adaptation of the discipline program «Safety of labor in the industry and civil defense» in NTU to the requirements of the martial state. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

Education of specialists at the National Transport University is carried out in accordance with legislation, documents of the Ministry of Education and Science of Ukraine and other documentation, including internal university documentation. Changes in legislation, changes in the functioning of the country's economy and educational institutions require adaptation of educational documentation and work modes to modern realities.

The purpose of the work is to justify and make changes to the program of the discipline «Safety of labor in the industry and civil defense» in accordance with the provisions of the Law of Ukraine «On the fundamentals of national resistance» and the procedure for conducting the educational process in martial law conditions.

On July 16, 2021, the Verkhovna Rada of Ukraine adopted the Law of Ukraine «On the Fundamentals of National Resistance». According to the Law, the components of national resistance are territorial defense, the resistance movement and the preparation of Ukrainian citizens for national resistance.

Since the National Transport University is not a military educational institution, elements of territorial defense may be included in the specialist training program.

In order to implement measures of national resistance, at the National Transport University, to the work program of the study discipline «Safety of labor in the industry and civil defense», which is studied by students of the National Transport University at the second (master's) level of education in a few faculties were made relevant additions. As a result of comparing the concepts of «territorial defense» and «civil defense», it was established that territorial defense is a system of measures to strengthen and provide assistance in the performance of civil defense tasks. When studying the discipline «Safety of labor in the industry and civil defense», questions are considered regarding a set of measures aimed at averting

emergency situations, protecting personnel, population, material and cultural values in emergency situations. Therefore, in the conditions of martial state, attention to the study of the second module in this discipline - «Civil Defense» becomes particularly relevant. The second module of the discipline «Safety of labor in the industry and civil defense» includes 2 topics: topic 6 «Legal bases and organizational measures of civil protection in institutions and organizations of road transport» and topic 7 «Protection of personnel in emergency situations». In each of the above topics, additional questions are included regarding familiarization of students with the Law of Ukraine «On the fundamentals of national resistance», with the concepts of national resistance, resistance movement and territorial defense, tasks of territorial defense, organization of protection of employees and students of NTU in conditions of martial state. The specified questions are included in the questions of the second modular and final controls in the study discipline «Safety of labor in the industry and civil defense».

The results of the article can be implemented in institutions of high education to adapt the programs of study disciplines and the organization of the educational process to the conditions of martial state.

KEY WORDS: DISCIPLINE PROGRAM, ADAPTATION, MARTIAL STATE, TERRITORIAL DEFENSE, CIVIL DEFENSE.

АВТОР:

Лобода Андрій Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Технічна експлуатація автомобілів та автосервіс», e-mail: andreyloboda7@gmail.com, тел.: +38(067)-466-35-69, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 410, orcid.org/0000-0002-6956-3288.

AUTHOR:

Loboda Andrii V., Ph.D., Associate professor, National Transport University, Associate Professor of department of technical operation of vehicles and autoservice, e-mail: andreyloboda7@gmail.com, tel.: +38(067)-466-35-69, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka str., 1, of. 410, orcid.org/0000-0002-6956-3288.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Клименко О.А., доктор технічних наук, заступник директора з наукової роботи ДП «ДержавтотрансНДІпроект», Київ, Україна.

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Klymenko O.A., Doctor of Technical Sciences, Deputy Director for Scientific Activities of the State Enterprise «DergavtotransNDIproect», Kyiv, Ukraine.

Sakhno V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the department of automobiles, Kyiv, Ukraine.

**СУЧАСНІ ПІДХОДИ З ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ТА ПРИНЦИПИ ЗНИЖЕННЯ
ПАРАМЕТРИЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ОБ'ЄКТІВ АЕРОПОРТОВОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ
(НА ПРИКЛАДІ МІЖНАРОДНОГО ДОСВІДУ)**

Маруніч С.В., Державна авіаційна служба України, Київ, Україна,
Svitlana.Marunych@avia.gov.ua, orcid.org/0000-0003-2777-8501

Старинець Л.М., Державна авіаційна служба України, Київ, Україна,
Lyudmyla.Starynets@avia.gov.ua, orcid.org/0000-0001-7923-7489

**MODERN APPROACHES TO DECARBONIZATION AND PRINCIPLES OF REDUCTION
OF PARAMETRIC POLLUTION OF AIRPORT INFRASTRUCTURE OBJECTS
(IN THE EXAMPLE OF INTERNATIONAL EXPERIENCE)**

Marunych S.V., State Aviation Administration of Ukraine, Kyiv, Ukraine,
Svitlana.Marunych@avia.gov.ua, orcid.org/0000-0003-2777-8501

Starynets L.M., State Aviation Administration of Ukraine, Kyiv, Ukraine
Lyudmyla.Starynets@avia.gov.ua, orcid.org/0000-0001-7923-7489

Постановка проблеми.

Ще на початку ХХ ст. авіація цивільним населення сприймалася чимось дивовижним та неосяжним. Однак, ледь з'явившись, стала невід'ємною частиною дійсності. Розвиток авіації дозволяє людині успішно змагатися з простором і часом, витративши декілька годин можна досягти іншого континенту.

Відповідно для задоволення сучасних та майбутніх потреб в авіаційних перевезеннях та в цілому вирішення соціальних та економічних проблем існує потреба у розвитку загальнодержавної мережі аеропортів. У довоєнний час авіаційна транспортна система України посідала 61 місце за індексом ефективності логістики серед 160 країн світу, що свідчить про позитивну тенденцію. Але відомим є факт, що основна більшість аеропортів України були запроектовані та збудовані в 60-х роках ХХ століття, а тому можливості та потенціал аеропортової інфраструктури є застарілим та дещо обмеженим та не пристосованими до міжнародних екологічних стандартів.

Згідно з результатами досліджень щодо несприятливого впливу авіації на довкілля [1], в околиці аеропорту існують наступні чинники: «шум під час експлуатації літаків, викиди забруднюючих речовин, електромагнітні випромінювання, теплові забруднення, забруднені стоки з території аеропорту».

До факторів «хімічного впливу» авіації на довкілля фахівці відносять [2; 3]: емісію шкідливих речовин авіаційними двигунами та дію їх на озоновий шар атмосфери, до факторів «фізичного впливу» – авіаційний шум та звуковий удар.

Як наслідок, до тепер залишається актуальною проблемою розробка дієвих заходів зниження негативного впливу об'єктів аеропортової інфраструктури шляхом застосування дієвих підходів з декарбонізації та зниження параметричного забруднення, зокрема шумового навантаження на довкілля та стан здоров'я населення, що мешкає в зонах впливу аеропортів.

Аналіз публікацій за проблематикою.

Питаннями подолання негативної дії авіаційного шуму займаються широке коло дослідників, серед них: авіаційні конструктори, експлуатанти авіаційної техніки, екологи та інші науковці. Вивченням питання впливу шуму на людину займається досить широке коло організацій та науковців, серед них можна виділити Міжнародну організацію цивільної авіації (ICAO), а саме комітет з охорони навколишнього середовища (CAEP), Авіаційний науково-технологічний комплекс ім. Антонова, таких науковців як О.І. Запорожець, В.П. Бабак, С.К. Солдатов, М.В. Фокін, А.В. Богомолів, В.М. Зінкін та ін. [4-6].

Проблемою зміни клімату займається досить багато вчених, як українських так і зарубіжних. Серед вітчизняних вчених можна відмітити Я. Дідух, В. Багнюк, Й. Букша, П. Гожик, В. Ліпінський, О. Чубатий, а серед зарубіжних Р. Пачаурі, А. Рейзінгер, Ф. Джонс, С. Соломон, Д. Кін, З. Чен, М. Перрі, П. ван дер Лінден, Б. Метц, О. Девідсон, Л. Мейєр [7].

Науковцями розглядалася проблема безпеки експлуатації аеродромів і повітряних суден з безпосереднім дотриманням умов екологічності. Досліджується їх вплив на екологічну безпеку, а також на здоров'я людини. Автори відзначають, що інтенсивний розвиток авіаційної техніки, що супроводжується підвищенням потужності авіаційних двигунів, недосконалість нормативної бази, стосовно питань використання територій, прилеглих до аеродромів, аеропортів і авіаційних підприємств є передумовою негативного впливу на навколишнє середовище, в тому числі і з умов впливу авіаційного шуму.

Проте, постійне вдосконалення авіаційної техніки, обслуговуючої інфраструктури, поява нових технологій та ізоляційних матеріалів актуалізує наукові дослідження в цій сфері, вимагає постійного моніторингу та внесення нових конструктивних пропозицій.

Мета статті вивчення негативного впливу діяльності аеропортової інфраструктури на стан довкілля та стан здоров'я населення, що мешкає в зонах впливу аеропортів, а також визначення заходів щодо його зниження.

Результат дослідження.

За роки незалежності в Україні укладені двосторонні Угоди про міжнародне повітряне сполучення з багатьма країнами світу, а саме створена принципово нова мережа авіаліній — міжнародна. Україна є членом Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO) та дотримується Стандартів та Рекомендованої практики (SARPs) зокрема з питань забезпечення «Охорони навколишнього середовища».

Щоб задовольнити потреби в пасажиро- та вантажоперевезеннях обсяг авіаперевезень сприяє насиченню аеропорту трафіком. Система повітряного простору стає все більш перевантаженою, оскільки кількість операцій повітряних суден зростає. У зв'язку з цим посилюється негативний вплив на населення, яке живе поблизу аеропортів, а також на навколишнє середовище.

Авіаційний шум вважається однією з найбільш серйозних екологічних проблем у місцевих громадах сучасних міст, що впливає на людей, які живуть поблизу аеропортів. Це підтверджується доказами того, що вплив шуму від літаків пов'язаний із погіршенням самопочуття, зниженням якості життя та вищими рівнями стресу, тривоги, депресії та психологічної захворюваності. Значна робота була проведена в області ефектів шуму, що відображає різні аспекти роздратування та здоров'я людини. Це критична проблема, яка впливає на подальший розвиток цивільної авіації. Для контролю шуму в аеропортах світу намагалися застосувати різні рішення. Тим не менш, рівень шуму в околицях аеропортів, зокрема під траєкторіями зльоту та посадки, залишається високим і погіршує якість життя місцевих жителів. Сьогодні це вважається однією з найбільш значущих екологічних проблем, що впливають на населення та навколишнє середовище.

Повітряні судна забруднюють атмосферу внаслідок викидання шкідливих речовин з відпрацьованими газами авіаційних двигунів. Літаки під час польоту забруднюють атмосферу в глобальних масштабах, тобто значне забруднення має місце як у зонах аеропортів, так і на трасах польоту (на висоті 8–12 км). Причому, якщо на трасах польоту небезпека від цього забруднення незначна (польоти літаків на великій висоті та з великою швидкістю зумовлюють розсіювання продуктів згоряння у верхніх шарах атмосфери та на великих територіях, що знижує рівень їх впливу на живі організми), то в зоні аеропорту нехтувати таким забрудненням не можна. Гази в атмосферне повітря викидають сопла та вихлопні патрубки двигунів. Цей процес називають емісією авіаційних двигунів.

Світова спільнота дійшла висновку, що майбутні вдосконалення завдяки технологічному прогресу стануть можливими лише шляхом значного обміну між експлуатаційними витратами та екологічними показниками.

Крім того, ряд найбільших європейських аеропортів досягли своєї екологічної нейтральності ще до того, як повністю використали свою злітно-посадкову смугу та інфраструктуру терміналу.

Підраховано, що при 300 зльотах і посадках широкофюзеляжних далекомагістральних літаків за добу в атмосферу викидається – 3,7 т оксиду вуглецю, 2 т вуглеводневих з'єднань і 1,7 т оксидів азоту. У середньому один реактивний літак, споживаючи протягом 1 години 15 т палива і 625 т повітря, випускає в довкілля: 18 т водяної пари; 46,8 т діоксиду вуглецю; 15 кг оксидів сірки; 635 кг оксиду вуглецю; 635 кг оксидів азоту; 2,2 кг твердих часток. [8]

Літаки забруднюють приземні шари атмосфери відпрацьованими газами авіадвигунів, що складають 87 % усіх викидів цивільної авіації. Загальний викид токсичних речовин повітряними суднами може бути приблизно оцінений об'ємом споживаного авіацією палива, котрий складає десь 4 % від загальних витрат палива усіма видами транспорту. [9]

Контроль шуму навколо аеропортів є складним питанням, оскільки залежить від багатьох факторів. Наразі проводяться дослідження з метою вивчення проблеми зменшення авіаційного шуму. Існуючі проекти вже визначили ряд перспективних процедур і методів, які можуть бути застосовані для досягнення узгодженого підходу в рамках ЄС.

Запропонована дослідницька діяльність охоплює:

- польотні процедури зниження шуму, враховуючи безпеку та експлуатаційні обмеження;
- керування з використанням спеціальної системи наведення (наприклад, GPS або D-GPS);
- оцінка шумового сліду в режимі реального часу для демонстрації в польоті та для пілотованого моделювання для розробки стратегій управління авіаційним шумом.

У різних організаціях, ЄС, Сполучених Штатах та ICAO підхід до аналізу та управління або контролю шуму літаків подібний. Це «збалансований» підхід, який включає чотири складові: контроль шуму в джерелі (літак), планування землекористування навколо аеропортів, експлуатаційні процедури зниження шуму для літаків та обмеження на експлуатацію. Окрім цих чотирьох категорій, у Сполучених Штатах використовують планування аеропорту, а ICAO визнає плату за шум, як ефективний інструмент.

Щоб досягти збалансованого підходу, використовуються спеціальні інструменти. По-перше, впроваджене відповідне законодавче врегулювання процесу просторового зонування, визначені показники шуму, шумові ефекти або впливи по відношенню до показників, а також потрібен метод для обчислення значень показників шуму на територіях навколо аеропортів. В рамках ICAO CAEP розроблений необхідний інструктивний матеріал. Відповідно до якого розглядаються та аналізуються чотири різні елементи: повітряний простір, аеродром, термінал, наземний доступ.

В переважній більшості у найбільших аеропортах світу використовуються експлуатаційні обмеження або обмеження пропускної здатності на основі шуму. Але потенційне зростання повітряного руху означає, що джерела викидів у майбутньому збільшаться. Дослідження комплексного впливу аеропорту показує, що необхідно ввести поняття пропускної (експлуатаційної) спроможності аеропорту відповідно до умов екологічної безпеки. Оцінку впливу аеропорту на навколишнє середовище можна здійснити шляхом визначення екологічної спроможності аеропорту.

Вплив роботи аеропорту на місцеве середовище є серйозною проблемою, яка вплине як на пропускну здатність, так і на потенціал майбутнього зростання. До цієї концепції екологічної спроможності, що стосується аеропортів, можна підійти принаймні двома способами: перший полягає в тому, що експлуатаційна спроможність аеропорту є меншою, ніж загальна сума індивідуальних екологічних заходів, які вже застосовуються в цьому аеропорту. Другий – може призвести до екологічно оптимального рішення. Необхідно визначити та відокремити короткострокові проблеми, які головним чином впливають на якість життя (наприклад, шум літаків), від довгострокових проблем, які головним чином впливають на асиміляційну здатність навколишнього середовища справлятися з негативним впливом (наприклад, забруднення та глобальне потепління). Крім того, необхідно оцінити життєздатність екологічних заходів, які є на території аеропорту та поблизу. Наприклад, багато великих аеропортів мають давно встановлені обмеження на нічні польоти, метою яких є захист місцевих громад від надмірного впливу авіаційного шуму. З точки зору екологічної спроможності, такі обмеження можна розглядати як короткострокову проблему якості життя та успішний захід пом'якшення, але з потенційно більш серйозними довгостроковими екологічними наслідками.

Таким чином, CAEP виявив проблему шуму та обговорив заходи щодо її зниження та контролю. Серед чотирьох елементів збалансованого підходу поточні розслідування стосуються процедур зменшення шуму, які відповідно до політики ICAO дозволяють зменшити шум під час експлуатації повітряних суден. Цю екологічну проблему можна вирішити лише в рамках збалансованого глобального бачення сталого повітряного транспорту, що включає нові технологічні двигуни та фюзеляжі, проривні технології, розробку нових процедур і маршрутів польоту, управління повітряним простором, нові правила регулювання та сертифікацію. Таким чином, технологічні розробки, управління повітряним простором, операційне вдосконалення та ефективність системи слід розглядати як екологічні інновації. Немає жодного виправдання тому, що повітряний транспорт не буде продовжувати розвиватися без зменшення його впливу на навколишнє середовище [10].

Застосовувані процедури не є оптимізованими, а мають загальний характер. Нова оптимізація траєкторії польоту, пов'язана з новою конструкцією літака та двигунами, є рішенням, яке повинно сприяти зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. Процедури зменшення шуму розглядаються як необхідний захід для збалансованого підходу до контролю шуму навколо аеропортів та для економії споживання палива. Будь-яка система, яка визначає правильні особливості оптимізованих траєкторій польоту літака в конкретних умовах, буде корисною для контролю впливу

на навколишнє середовище. Без вдосконалення моделювання неможливо вести розробки. Це полягає в розробці ефективних інструментів обробки, які дозволяють здійснювати діагностику та контроль у польоті в режимі реального часу з урахуванням функцій (системи управління польотом) і оновлень AMS (системи управління повітряним простором). Оптимізація траєкторії польоту є інноваційним рішенням у короткостроковій перспективі, яке робить значний внесок у можливе зменшення впливу комерційних літаків на навколишнє середовище.

Зниження негативного впливу авіації на навколишнє середовище (параметричне та інгредієнтне забруднення) слід розглядати як взаємодію інституціональної, управлінської, технологічної і технічної складових.

До найбільш вагомих кроків, що формують інституціональне середовище з декарбонізації та енергоефективності аеропортів впродовж останнього десятиліття, слід віднести такі ініціативи Airport Carbon Accreditation та CORSIA.

У 2014 році в контексті сталого розвитку авіації була розроблена ієрархічна система методологічних підходів до створення довготривалих прогнозів та оцінки енергетичної ефективності авіаційного транспорту та аеропортових комплексів [11], одним із таких методів є впровадження низко вуглецевої програми (Airport Carbon Accreditation), що дає можливість управляти викидами вуглецю за єдиним стандартом. Упродовж першого року дії програми (07.2009-06.2010) викиди вуглецю в аеропортах були скорочені на 56 633 т. [12]

Ця програма офіційно підтримується або схвалюється такими організаціями: International Civil Aviation Organization, United Nations Environment Programme, European Commission DG MOVE, DG CLIMA; Eurocontrol; European Civil Aviation Conference.

Акредитація діяльності аеропортів здійснюється за чотирма рівнями:

- 1 – відображення (оприлюднення результатів вимірювання слідів вуглецю);
- 2 – скорочення (управління вуглецем з метою зменшення викидів вуглецю);
- 3 – оптимізація (залучення третіх сторін до скорочення викидів вуглецю);
- 3+ – нейтральність (нейтральність вуглецю для прямих викидів шляхом компенсації).

Саме «рівень 3+» свідчить про вуглецеву нейтральність діяльності акредитованого аеропорту.

Простежується стабільна позиція європейських аеропортів як лідерів програми акредитації (75 аеропортів – у 2013 році, 141 – у 2019 році), а також позитивна динаміка збільшення кількості акредитованих аеропортів, зокрема, за «рівнем 3+» (14 аеропортів – у 2013 році, 40 – у 2019 – рисунок 1.

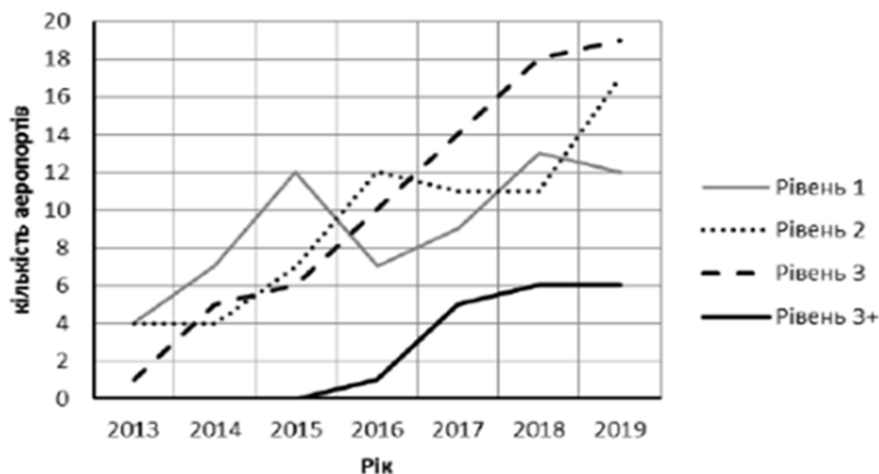


Рисунок 1 – Динаміка змін кількості аеропортів, акредитованих за різними рівнями впродовж 2013-2019 рр. (Азійсько-Тихоокеанський макрорегіон)

Figure 1 – Dynamics of changes in the number of airports accredited at different levels during 2013-2019 (Asia-Pacific macro-region)

Компенсація та скорочення викидів CO₂ для міжнародної авіації. У в 2016 році на 39-й сесії Асамблеї ICAO була прийнята система CORSIA (Carbon Offsetting Scheme for International Aviation), як ринково-орієнтований інструмент для сприяння прихильності авіаційної галузі до вуглецевого нейтрального зростання. Авіакомпанії, починаючи з 2021 року, зобов'язані добровільно купувати квоти на викиди CO₂ для компенсації обсягів їх зростання. Компенсація буде забезпечуватися

шляхом впровадження проектів зі скорочення викидів вуглецю в країнах, що розвиваються. До участі у CORSIA долучилися більше ста країн, зокрема, Україна. [12]

Україна приймає участь з базовому етапу, а саме період 2019 – 2020 роки, що дав змогу здійснювати моніторинг емісії CO₂ для встановлення базового рівня емісії від цивільної авіації, що в подальшому виступатиме передумовою для розрахунку ефективності впровадження програми скорочення викидів CO₂ від міжнародної авіації.

Висновки та перспективи подальшого дослідження.

Інституціональне середовище з декарбонізації аеропортів формується двома основними складовими: Системою компенсації та скорочення викидів CO₂ для міжнародної авіації (CORSIA) та Програмою вуглецевої акредитації аеропортів (Airport Carbon Accreditation).

Для вирішення екологічної проблеми щодо зниження параметричного забруднення об'єктів аеропортової інфраструктури доцільно використовувати сучасні принципи збалансованого глобального бачення сталого повітряного транспорту, що включає нові технологічні двигуни та фюзеляжі, проривні технології, розробку нових процедур і маршрутів польоту, управління повітряним простором, нових правил регулювання та сертифікації. Таким чином, технологічні розробки, управління повітряним простором, операційне вдосконалення та ефективність системи слід розглядати як екологічні інновації.

Незважаючи на кризу авіаційної галузі, декарбонізація та зменшення шумового навантаження залишається глобальним трендом, що визначає цілі та завдання у розвитку аеропортів. Аеропорти продовжують впровадження проектів, спрямованих на декарбонізацію та зменшення шумового навантаження для досягнення системного та довгострокового ефекту щодо зменшення викидів CO₂ та захисту від шумового забруднення. З економічної точки зору такі проекти можуть розглядатися як інструменти підтримки бізнес-діяльності як аеропортів, так навколишніх муніципальних утворень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сердюк, О. Є. Розробка методики прогнозування рівня енергетичних забруднень ПТК в зоні аеропорту/ О. Є. Сердюк, Г. М. Франчук // Наука і молодь. Прикладна серія. – К., 2006 – № 6. – С. 177–180.
2. Загоруй, Я. За технологічний прогрес платить природа: вплив авіації на довкілля [Електронний ресурс] / Я. Загоруй // журнал "Екологія". – 2006 р. – С.32-39. – Режим доступу: <http://h.ua/story/5788/>
3. Макаренко, Ю. В. Економічна оцінка впливу авіатранспортних процесів в Україні на навколишнє середовище: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. економ. наук : спец. 08.07.01 «Економіка промисловості»/ / Ю. В. Макаренко. – Суми: Сумський державний університет, 2001. – 21 с.
4. Бабак В.П. Безпека авіації / В.П. Бабак, В.П.Харченко – К.:Техніка, 2004. – 584 с.
5. Солдатов С.К. Человек и авиационный шум / С.К.Солдатов, В.Н.Зинкин,. –М.: Новые технологии, 2012. – 24 с.
6. Фокин М.В. Оценка риска для здоровья населения от воздействия авиационного шума / М.В.Фокин. – К.: Кристал, 2009. – С. 29–32.
7. Логачова О.В. Механізми регулювання антропогенних викидів парникових газів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. економ. наук : спец. 08.07.01 «Економіка промисловості»/О.В.Логачова. – Донецьк 2008. – С.3-12.
8. Kurniawan JS, Khardi S (2011) Omparison of methodologies estimating emissions of aircraft pollutants. Environmental impact assessment around airports.
9. Zaporozhets OI, Tokarev VI (1998) Aircraft noise modelling for environmental assessment around airports.
10. Strelkova, G.(2014). System approach towards enhancement of airports' energy efficiency / Proceedings of the 17th Conference for Junior Researchers _Science – Future of Lithuania_ Transport Engineering and Management, 85-89.
11. Офіційний сайт організації «Airport Carbon Accreditation»- Counting the CO₂ reduction [Електронний ресурс] – Режим доступу:<https://airportco2.org/counting-the-co2-reduction.html>
12. Офіційний сайт Міжнародної організації цивільної авіації [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/default.aspx>

REFERENCES

1. Serdyuk, O. E. (2006). Rozrobka metoduku prognozyvany rivny energetichnuh zabrydnen PTK v zoni aeroportu [Development of a methodology for forecasting the level of energy pollution of PTK in the airport zone]. Kyiv: Science and youth. Applied series [in Ukrainian]

2. Zagorui, Y. (2006) *Za tehnologichnui prozes platut pruroda: vpluv aviacii na dovčila* [Nature pays for technological progress: the impact of aviation on the environment]. Kyiv: journal "Ecology. Retrieved from: <http://h.ua/story/5788/> [in Ukrainian]
3. Makarenko, Y. V. (2001) [Economic assessment of the impact of air transport processes in Ukraine on the environment] Extended abstract of candidate's thesis.- Sumy: Sumy State University [in Ukrainian].
4. Bakak V.P. (2004) *Aviaciuna bezpeka* [Aviation safety]. Kyiv: Technika [in Ukrainian].
5. Soldatov S.K. (2012) *Chelovek i aviazionnyy shum* [Man and aircraft noise] Moscow: New technologies [in Russian].
6. Fokin M.V. (2009) *Ozenka riska dla zdorov'ya naselenii ot vozdeistvia aviacionogo shuma* [Risk assessment for public health from the impact of aircraft noise] Moscow: Crystal [in Russian].
7. Logachova O.V. (2008) *Mehanizm regulyvannya antropogennykh vykudiv parnikovykh gaziv* [Mechanisms for the regulation of anthropogenic greenhouse gas emissions] Extended abstract of candidate's thesis. – Donetsk [in Ukrainian].
8. Kurniawan JS, Khaldi S (2011) *Comparison of methodologies estimating emissions of aircraft pollutants. Environmental impact assessment around airports.*
9. Zaporozhets OI, Tokarev VI (1998) *Aircraft noise modelling for environmental assessment around airports.*
10. Strelkova, G.(2014). *System approach towards enhancement of airports' energy efficiency / Proceedings of the 17th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania' Transport Engineering and Management*, 85-89.
11. Official website of the Airport Carbon Accreditation- Counting the CO₂ reduction [Electronic resource] – Access: <https://airportco2.org/counting-the-co2-reduction.html>
12. Official website of the International Civil Aviation Organization [Electronic resource] – Access: <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/default.aspx>

РЕФЕРАТ

Маруніч С.В. Сучасні підходи з декарбонізації та принципи зниження параметричного забруднення об'єктів аеропортової інфраструктури (на прикладі міжнародного досвіду) / С.В. Маруніч, Л.М. Старинець // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

В статті запропоновані способи зменшення негативного впливу аеропортової інфраструктури, зокрема параметричного (шум) та інгредієнтного забруднення (емісія CO₂) на навколишнє середовище.

Метою статті є вивчення негативного впливу діяльності аеропортової інфраструктури на стан довкілля та стан здоров'я населення, що мешкає в зонах впливу аеропортів, а також визначення заходів щодо його зниження.

Аеропортова інфраструктура негативно впливає на навколишнє середовища та, зокрема, на здоров'я населення. В статті описані основні підходи до управління шумом в аеропортах, а також розглянути два найбільш суттєвих заходи щодо боротьби з викидами парникового газу CO₂.

Незважаючи на кризу авіаційної галузі, декарбонізація та зменшення шумового навантаження залишається глобальним трендом, що визначає цілі та завдання у розвитку аеропортів. Аеропорти продовжують впровадження проектів, спрямованих на декарбонізацію та зменшення шумового навантаження для досягнення системного та довгострокового ефекту щодо зменшення викидів CO₂ та захисту від шумового забруднення. З економічної точки зору такі проекти можуть розглядатися як інструменти підтримки бізнес-діяльності як аеропортів, так навколишніх муніципальних утворень.

Результати статті можуть бути використані при формуванні екологічної політики аеропорту, як джерело додаткової інформації.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АЕРОПОРТ, АВІАЦІЙНИЙ ШУМ, ВИКИДИ (ЕМІСІЯ) CO₂, ДЕКАРБОНІЗАЦІЯ, ЗБАЛАНСОВАНИЙ ПІДХІД, УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ ПРОСТОРОМ.

ABSTRACT

Marunych S.V., Starynets L.M. Modern approaches to decarbonization and principles of reducing parametric pollution of airport infrastructure facilities (on the example of international experience). Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv. National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article proposes ways to reduce the negative impact of airport infrastructure, in particular parametric (noise) and ingredient pollution (CO₂ emissions) on the environment. The purpose of the article

is to study the negative impact of airport infrastructure on the environment and the health of the population living in the areas affected airports, as well as to determine measures to reduce it.

Airport infrastructure has a negative impact on the environment and, in particular, on public health. The article describes the main approaches to noise management at airports, and also considers the two most significant measures to combat CO₂ greenhouse gas emissions.

Despite the crisis in the aviation industry, decarbonization and reduction of noise load remains a global trend that determines the goals and objectives in the development of airports. Airports continue to implement projects aimed at decarbonization and noise reduction to achieve a systemic and long-term effect on reducing CO₂ emissions and protecting against noise pollution. From an economic point of view, such projects can be considered as tools for supporting the business activities of both airports and surrounding municipal entities.

The results of the article can be used in the formation of the environmental policy of the airport, as a source of additional information.

KEY WORDS: AIRPORT, AVIATION NOISE, CO₂ EMISSIONS, DECARBONIZATION, BALANCED APPROACH, AIR SPACE MANAGEMENT

АВТОРИ:

Маруніч Світлана Василівна, аспірант НТУ, Державна авіаційна служба України, начальник відділу забезпечення екологічної безпеки в цивільній авіації управління стратегічного розвитку, e-mail: Svitlana.Marunych@avia.gov.ua, Україна, 01135, м. Київ, проспект Перемоги. 14, +380933854958.

Старинець Людмила Миколаївна, аспірант НТУ, Державна авіаційна служба України, головний спеціаліст відділу забезпечення екологічної безпеки в цивільній авіації управління стратегічного розвитку, e-mail: Lyudmyla.Starynets@avia.gov.ua, Україна, 01135, м. Київ, проспект Перемоги. 14, +380964594560.

AUTHOR:

Marunych Svitlana Vasylivna, graduate student of National Technical University, State Aviation Administration of Ukraine, head of the Department of Environmental Safety in Civil Aviation, Department of Strategic Development, e-mail: Svitlana.Marunych@avia.gov.ua, Ukraine, 01135, Kyiv, Peremogy Avenue. 14, +380933854958.

Lyudmila Mykolaivna Starynets, graduate student of National Technical University, State Aviation Administration of Ukraine, chief specialist of the Department of Environmental Safety in Civil Aviation, Strategic Development Department, e-mail: Lyudmyla.Starynets@avia.gov.ua, Ukraine, 01135, Kyiv, Peremogy Avenue. 14, +380964594560.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Синило К.В., к.т.н., доцент кафедри цивільної та промислової безпеки Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

Рутковська І.А., к.т.н., професор Національного транспортного університету, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Synylo K.V., Ph.D., associate professor of the Department of Civil and Industrial Safety, National Aviation University, Kyiv, Ukraine.

Rutkovska I.A., Ph.D., professor of the National Transport University, Kyiv, Ukraine.

**ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ КОНСТРУКЦІЇ
ЛОТКОВИХ РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ ВУЗЛІВ БЕЗКІВШЕВИХ РОТОРНИХ
РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТРАНШЕЙНИХ ЕКСКАВАТОРІВ**

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

Пацьора Д.І., Національний транспортний університет, Київ, Україна, dpatsora@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9515-3672

**DETERMINATION OF THE RATIONAL PARAMETERS FOR THE CONSTRUCTION
OF THE TRAY DISCHARGE ASSEMBLY OF THE BUCKETLESS ROTARY
IMPLEMENTS OF THE TRENCHING EXCAVATORS**

Musiiko V.D., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kiev, Ukraine, musvd@i.ua, orcid.org/0000-0001-9983-3296,

Koval A.B., Ph.D. Engineering, National Transport University, Kyiv, Ukraine, kandr@i.ua, orcid.org/0000-0003-1295-8200

Patsora D.I., National Transport University, Kyiv, Ukraine, dpatsora@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9515-3672

Постановка проблеми та її актуальність. Вирішення задачі підвищення продуктивності землерийних машин безперервної дії пов'язано з необхідністю виконання в стислі терміни значних об'ємів земляних робіт. Насамперед це стосується виконання земляних робіт під час будівництва і реконструкції нафто- та газопроводів, водопровідних систем, під час виконання меліоративних та дренажних робіт. Найбільш дешевим і ефективним способом створення протяжних виїмок в ґрунтах слід вважати їх відкопування траншейними екскаваторами.

Для виконання всього комплексу земляних робіт спроектовані, виготовлені та використовуються різноманітні за конструкцією траншейні екскаватори з ланцюговими і роторними робочими органами, чим забезпечуються багатоплановість споруджуваних траншей різних розмірів і технологічного призначення. Широкого поширення набули машини з ланцюговими робочими органами як ківшевыми так і скребковими, роторними – як ківшевыми, так останнім часом і безківшевыми.

В Україні і за кордоном розроблені та використовуються різні конструкції траншейних екскаваторів з ланцюговими ківшевыми або скребковими робочими органами [1].

Ці екскаватори здатні ефективно розробляти траншеї прямокутного або трапецієподібного профілю, лінійні розміри яких сягають у глибину до 6 м, ширину по дну до 1,0 м, по верху до 2,8 м в ґрунтах 1-3 категорії та мерзлих ґрунтах. Продуктивність екскаваторів, залежно від умов роботи, коливається в межах 200-1200 м³/год. Конструкцію робочих органів таких машин можна вважати максимально досконалою.

Аналізуючи показники роботи ланцюгових і роторних траншейних машин, слід відзначити, що у роторних, за відомими даними досліджень [2], розподіл потужності двигуна між роботою копання, підйому ґрунту, переміщення машини і приводу розвантажувального конвеєра більш сприятливий, ніж у ланцюгових. На роботу копання у них за швидкості ходу 100 м/год. витрачається від 67-69 % потужності у великих машин проти 39-41 % у ланцюгових траншеєкопачів. За умови збільшення швидкості ходу до 200 м/год ці цифри становлять 53-54 % у роторних машин проти 31-34 % у ланцюгових. Слід зазначити порівняно низьку енергоємність розробки ґрунту роторними робочими органами [3] траншейних екскаваторів.

Однак роторні ківшеві робочі органи траншейних екскаваторів мають і свої недоліки, а саме: продуктивність машин лімітується ємністю ківшів і умовами їх розвантаження [4].

Для виконання земляних робіт останнім часом розроблені конструкції та виготовлені землерийні машини, обладнані роторними безківшевыми робочими органами. Роторний робочий

орган безківшевого типу (рисунок 1) являє собою вертикальний диск 1, на якому по периметру перпендикулярно площині диска встановлені поперечні траверси 2, із закріпленими на них зубами 3 [5]. Ротор обертається на осі, встановленій у підшипниках рами 4. З обох сторін на вертикальному диску встановлені кільцеві обичайки 5. Простори ротора, обмежені поверхнею кільцевих обичайок і внутрішньою поверхнею траверс, будемо надалі називати внутрішніми кільцевими порожнинами (ВКП). Зовнішньою кільцевою порожниною (ЗКП) будемо називати простір, обмежений ріжучими кромками зубів та внутрішніми поверхнями траверс. На рамі 5 позаду ротора встановлюється зачисний башмак 6, призначення якого – очищати траншею від просипаного ґрунту і створювати додатковий підпір при виносі ґрунту із забою. Розвантаження робочого органа здійснюється на обидві сторони траншеї ґрунтознімачами 7, що встановлені по обидві сторони диска ротора під певним кутом до нього.

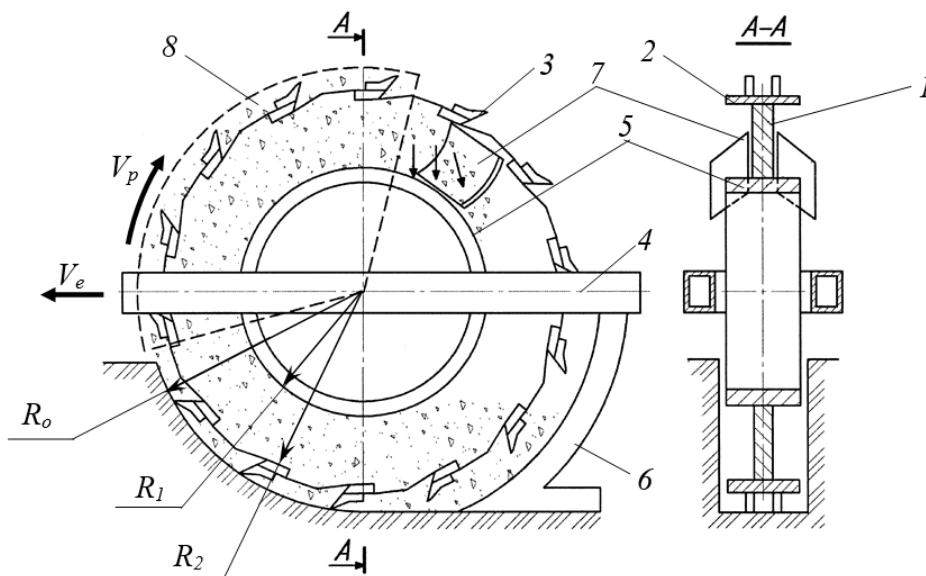


Рисунок 1 – Роторний безківшевий робочий орган: 1 – центральний диск; 2 – траверса; 3 – ріжучий елемент; 4 – рама; 5 – обичайка; 6 – зачисний башмак; 7 – ґрунтознімач; 8 – кожух
Figure 1 – Rotary bucketless implement: 1 – central disc; 2 – crossarm; 3 – cutter; 4 – frame; 5 – shell; 6 – clean-up bearing plate; 7 – soil remover; 8 – encasement

Робочий процес безківшевого ротора полягає в послідовному відділенні від масиву стружок ґрунту за допомогою ріжучих елементів (зубів), розташовуваних по радіусу R_o під час обертання ротора зі швидкістю V_p і подачі його на забій зі швидкістю V_e , (рисунок 1). Відокремлений від масиву ґрунт під деяким напірним зусиллям стружки надходить у внутрішні кільцеві робочі порожнини. Ці порожнини характеризуються радіусами R_1 і R_2 та шириною ротора за винятком товщини диска. Поступово накопичуючись там, ґрунт заклинюється у кожній з двох внутрішніх кільцевих робочих порожнин за рахунок сили тяжіння, відцентрової сили, сили бокового розпору ґрунту, напору стружки що зрізається і в результаті дії сил тертя по поверхням кільцевої порожнини виноситься із забою. За такої умови ґрунт, що виноситься, долає сили тертя об стінки траншеї, стінки кожуха ротора 8 (якщо він встановлений), складову сили тяжіння самого ґрунту що виноситься, складову загальної сили напору стружки, яка зрізується, і силу відпору розвантажувальних скребків.

Підвищена увага до створення високопродуктивних конструкцій робочих органів безківшевого типу пояснюється їх передбачуваними перевагами порівняно з роторними ківшевыми та ланцюговими скребковими і ківшевыми робочими органами, а саме:

- теоретична продуктивність безківшевого ротора по виносу ґрунту з забою вище, ніж ківшевих і скребкових тому, що ґрунт може транспортуватися з траншеї суцільним потоком, а не окремими порціями;
- конструкції робочих органів дозволяють реалізувати на їх приводі будь-яку потужність, що підводиться до них;
- примусове розвантаження робочого органа виключає введення обмеження на швидкість різання ґрунту і дає можливість розробляти ґрунти на підвищених швидкостях різання;

– конструкція роторного безківшевого робочого органа більш проста і менш металоемна, ніж робочого органа екскаватора роторного ківшевого або ланцюгового скребкового.

Таким чином, роторні безківшеві робочі органи мають основні переваги роторних ківшевих робочих органів перед ланцюговими і, разом з цим, мають ряд переваг перед ними. Наукового вирішення потребують питання оптимізації конструкції окремих вузлів та робочого органа в цілому з точки зору забезпечення мінімізації енергомосткості розробки ним ґрунту, насамперед процесу розвантаження розробленого ґрунту з робочого органу.

Аналіз результатів останніх досліджень і публікацій. Робочий процес траншейних роторних екскаваторів полягає в суміщенні двох робочих рухів: подачі робочого органу на забій зі швидкістю V_e і різання ґрунту зі швидкістю V_p . Перший із цих рухів забезпечується за рахунок переміщення машини, другий – шляхом обертання з відомою частотою ківшевого ротора заданих лінійних розмірів. Водночас ґрунт, що відокремлюється різцями ківшів від масиву, піднімається в ківшах із забою до верхньої точки ротора. Під дією сил гравітації він зсипається звідти в приймальний пристрій конвеєра розвантажувального вузла екскаватора, яким і переміщується далі в відвал або в транспортний засіб.

Технічна продуктивність траншейного екскаватора по забою Π_3 визначається згідно залежності:

$$\Pi_3 = F_{тр} \cdot V_e, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (1)$$

де $F_{тр}$ – площа поперечного перерізу траншеї, що розробляється, м^2 ;

V_e – швидкість переміщення, $\text{м}/\text{год}$.

Продуктивність безківшевих роторних робочих органів з виносу ґрунту з забою Π_6 визначається з виразу:

$$\Pi_6 = n \cdot F_k \cdot V_p \cdot k_n, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (2)$$

де, n – число робочих порожнин;

F_k – площа поперечного перерізу робочих порожнин ротора, м^2 ;

V_p – швидкість різання ґрунту, $\text{м}/\text{с}$;

k_n – коефіцієнт проковзування ґрунту в робочих порожнинах ротора.

Аналіз наведеної залежності показує, що продуктивність БРРО з виносу прямо пропорційна обсягу робочих порожнин ротора і швидкості переміщення ґрунту із забою в зону розвантаження. Одна із основних переваг безківшевих роторних робочих органів – виключення обмежень на швидкість різання ґрунту. Це забезпечується застосуванням примусового розвантаження робочих порожнин ротора. Розробка ґрунтів траншейними екскаваторами можлива тільки за умови $\Pi_6 > \Pi_3$, тобто продуктивність машини визначається виносною здатністю її робочого органу.

Традиційно, розвантаження безківшевих роторних робочих органів здійснюється пасивними ґрунтознімачами, що введені у внутрішні кільцеві робочі порожнини та розміщені в задній частині ротора над денною поверхнею ґрунту (рисунок 1). Така конструкція є працездатною і використовується на машинах ЕТР-132, ЕТР-134, ЕТР-137. Однак, вказаний спосіб розвантаження та конструкція розвантажувального вузла не забезпечують повну очистку роторного робочого органа від транспортованого з забою ґрунту, особливо вологого та липкого. В наявності перенесення розробленого ґрунту знову в забій, на дні траншеї мають місце залишкові просипи ґрунту об'єм яких на деяких режимах роботи досягає 20 % об'єму відкопаної траншеї. Це суттєво збільшує величину зовнішніх навантажень в режимі копання ґрунту. Крім того, розроблений ґрунт, внаслідок неефективного розвантаження робочого органа, попадає під нижні площини рами робочого органа, підпресовується там, що збільшує величину сили тяги, яка витрачається на переміщення робочого органа в режимі копання ґрунту [6].

З метою вирішення зазначеної проблеми нами було виконано комплекс досліджень з підвищення ефективності розвантаження робочих органів землерийних машин безперервної дії та розроблено компоновальну схему і конструктивне рішення двоступеневого вузла розвантаження безківшевих роторних робочих органів [5, 6].

Суть технічної пропозиції полягає в тому, що безківшевий роторний робочий орган траншейного екскаватора, який включає встановлений на рамі робочого органа ротор, оснащений ріжучими елементами і встановлений на кінці рами розвантажувальний вузол традиційної конструкції з бермоутворювачами оснащено додатковим розвантажувальним вузлом лоткового типу. Вузол включає в себе два симетрично розміщених відносно ротора лотки, встановлені на рамі в передній частині ротора [5].

В даному випадку перший розвантажувальний вузол забезпечує розвантаження ґрунту із внутрішніх кільцевих робочих порожнин, а задній з бермоутворювачами – зовнішньої кільцевої робочої порожнини. Кожен із лотків складається з основної направляючої поверхні (днища лотка), передньої стінки та відвальної поверхні, що виконує функцію ґрунтознімача. Водночас передні стінки лотків з'єднані між собою за допомогою перемички [5, 6].

Вказане технічне рішення спрямовано на реалізацію сформульованої нами наукової гіпотези, суть якої полягає в тому, що сили напору потоку розробленого ґрунту, який транспортується ротором із забою, достатньо для забезпечення його розвантаження із внутрішніх кільцевих робочих порожнин ротора та переміщення його в бруствер на сторону від відкопаної траншеї без використання додаткових привідних пристроїв.

Вилучення ґрунту під час транспортування його із забою у внутрішніх кільцевих порожнинах безківшевого роторного робочого органу здійснюється ґрунтознімачами. Конструкція ґрунтознімача має забезпечувати мінімальний опір руху потоку транспортованого ґрунту, змінюючи при цьому напрямок його переміщення.

Питання переміщення ґрунту по різних поверхнях досить добре вивчено [7]. Аналітичні дослідження академіка В.П. Горячкіна [8], більш пізні роботи з теорії лемешно-відвальних поверхонь Л.Б. Гаячева [9] і ряд інших робіт у цій галузі присвячені вдосконаленню форми відвальних поверхонь робочих органів ґрунтообробних і землерийних машин, наприклад, плужних каналокочів. Запропоновані форми відвальних поверхонь забезпечують переміщення по ним пластів ґрунту та їх подальшу оборотність. Це досягається шляхом надання відвальній поверхні особливої конфігурації.

Встановлено, що найменш навантаженою при інших рівних умовах є конструкція лемешів з прямим профілем робочої поверхні. Зміна профілю на більш складний (ламаний або опукло-увігнутий) призводить до зростання навантаження на нього з боку переміщуваного матеріалу близько 50 % [10].

Функціональним призначенням ґрунтознімачів безківшевих роторних робочих органів є зміна напрямку переміщення ґрунтових потоків. Тому, при виборі конструктивних параметрів ґрунтознімачів не доцільно використовувати рекомендації з вибору достатньо складних в конструктивному плані плужних відвальних поверхонь, що мають інше функціональне призначення.

Найбільш прийнятною для використання в якості ґрунтознімача безківшевого роторного робочого органу, що вилучає ґрунт із внутрішньої кільцевої робочої порожнини на сторону від траншеї, представляється конструкція типу відвалу автогрейдера, або косо поставленого відвалу бульдозера. Взаємодію відвальних робочих органів землерийних машин з ґрунтом найбільш повно відображено в роботах М.Г. Домбровського [2], О.М. Зеленіна [11], В.І. Баловнева [12] та ін. Серед факторів, що визначають опір переміщенню ґрунту вздовж відвальних поверхонь, досліджено вплив форми робочої поверхні відвалу. Доведено, що мінімальний опір переміщенню ґрунту по відвалу автогрейдера забезпечується в разі постійності радіуса кривизни його робочої поверхні. Дослідженнями К.А. Артем'єва, М.В. Воронцова [13] визначено, що одним з найважливіших чинників, які впливають на опір переміщенню ґрунту уздовж відвалу, є кут установки його до поздовжньої вісі машини. Встановлено, що оптимальним, з точки зору мінімізації опору переміщенню ґрунту уздовж відвалу автогрейдера, є кут $50^\circ \dots 60^\circ$. З урахуванням наявних результатів теоретичних і експериментальних досліджень можна припустити, що конструкція ґрунтознімача безківшевого ротора повинна мати вид відвальної поверхні, введеної у внутрішню кільцеву порожнину ротора, і мати профіль постійного радіуса кривизни R .

Кут встановлення ґрунтознімача відносно вектора швидкості руху потоку ґрунту у внутрішній кільцевій порожнині ротора (до площини його центрального диска) на підставі вищевикладеного повинен вибиратися в межах $50^\circ \dots 60^\circ$. Надалі раціональна величина кута встановлення ґрунтознімача до площини центрального диска ротора, як і його довжина, уточнюються експериментально.

Метою дослідження є визначення раціональної траєкторії переміщення ґрунту з безківшевого роторного робочого органа траншейного екскаватора на розвантаження та на її основі форми днища розвантажувального лотка.

Основна частина.

Відповідно вимогам до розвантажувального вузла безківшевого роторного робочого органу потік ґрунту, вилучений з його внутрішньої кільцевої порожнини, необхідно перемістити на певну відстань від траншеї в бруствер. У процесі переміщення ґрунту слід виключити його взаємодію з дном поверхнею забою. Це можливо у випадку, якщо потік ґрунту транспортується у відвал з якої-небудь направляючої поверхні (днища лотка, наприклад), піднятої над поверхнею забою. Тобто

[15], утворюється застійна зона ґрунту. Профіль поверхні застійної зони, що контактує з потоком ґрунту, має конфігурацію аналогічну кривизні потоку. Іншими словами, кривизна застійної зони адекватна кривизні направляючої поверхні, що в нашому випадку забезпечує постійну ширину потоку ґрунту на ділянці DC .

З урахуванням вищевикладеного, координата точки C , визначається з умови забезпечення рівності ширини потоку на вході і виході ділянки DC – зони встановлення ґрунтознімача. Для цього величина відрізка CC' , розташованого на нормалі до зовнішньої частини ґрунтознімача, що визначає перетин потоку на виході з розглянутої ділянки, приймається рівною ширині внутрішньої кільцевої порожнини ротора b . Положення точки C на шуканій траєкторії в обраній системі координат $XO'Y$ визначається координатами:

$$X_C = (H_{гр} + l_{гр} \cdot ctg\alpha) \cdot tg\alpha - \left(\frac{H_{гр}}{\cos\alpha} + l_{гр} - b\right) ctg\alpha; Y_C = H' = H_{гр} \cdot tg\alpha + l_{гр} \cdot \sin\alpha - b \cdot \sin\alpha. \quad (3)$$

Для вирішення поставленого завдання приймаємо наступні припущення:

- переміщення ґрунту на розвантаження здійснюється в площині, перпендикулярній диску ротора;
- ширина потоку ґрунту незмінна і дорівнює ширині внутрішньої кільцевої порожнини ротора;
- ділянка DC траєкторії переміщення ґрунту на розвантаження в загальному вигляді описується ступеневою функцією виду:

$$y = ax^n, \quad (4)$$

де $a > 0$; $n > 0$.

Згідно з розрахунковою схемою, запис обраної степеневі функції в полярних координатах з центром в точці O дозволяє визначити радіус-вектор ρ , що описує шукану траєкторію переміщення ґрунту. Точка O при цьому знаходиться на перетині нормалі до зовнішньої частини ґрунтознімача і рівнем денної поверхні ґрунту. Значення ρ_m визначається з рівняння:

$$a(\rho - \rho_T \cos \phi_T)^n - \rho_T \sin \phi_T = 0, \quad (5)$$

де ρ_m – поточне значення радіус-вектора ρ ;

ϕ_m – поточне значення кута повороту радіус-вектора в діапазоні $0 \leq \phi_m \leq \alpha' = \alpha = 60^\circ$;

ρ° – значення ρ_m за $\phi_m = 0$, $\rho^\circ = DO$.

Коефіцієнти a і n для степеневі функції знаходяться при реалізації припущення про незмінність ширини потоку ґрунту, що транспортується, на ділянці DC . В такому випадку можна стверджувати про відповідність кута α встановлення ґрунтознімача до площини диска ротора і кутового коефіцієнта K_α дотичної до криволінійної направляючої поверхні, що описується кривою шуканої траєкторії в точці C , тобто:

$$K_\alpha = \frac{dy}{dx} = a \cdot n \cdot (O'K - b)^{n-1} = tg\beta', \quad (6)$$

де β' – кут нахилу дотичної до кривої в точці C до осі $O'X$;

α – кут установки ґрунтознімача.

Позначимо співвідношення необхідної висоти підйому ґрунту в процесі переміщення по напрямній до висоти підйому по напрямній:

$$Q = \frac{H}{O'K - b}. \quad (7)$$

Значення коефіцієнта n рівняння, що описує шукану траєкторію, визначається згідно з виразом:

$$\frac{y_c}{(O'K - b)^n} n (O'K - b)^{n-1} = tg\beta', \quad n = \frac{tg\beta' (O'K - b)}{y_c}. \quad (8)$$

Зі спільного вирішення рівнянь (6) і (8) отримаємо:

$$n = \operatorname{tg} \beta' \cdot Q. \quad (9)$$

Значення коефіцієнта a , в такому випадку, визначиться з рівняння:

$$a = Q \cdot (O'K - b)^{1-n}. \quad (10)$$

Таким чином, шукана траєкторія переміщення ґрунту на ділянці DC описується параболічною залежністю виду:

$$y = a \cdot (O'K - b)^n, \quad (11)$$

коефіцієнти якої визначаються згідно з залежностями (9), (10).

У кінцевому рахунку рівняння (4)-(11) являють собою математичну модель раціональної траєкторії переміщення ґрунту на розвантаження з внутрішньої кільцевої порожнини ротора в зоні встановлення ґрунтознімача.

З урахуванням прийнятої вихідної передумови про виключення впливу відсипаного відвалу ґрунту на процес переміщення ґрунту з внутрішньої кільцевої порожнини ротора на розвантаження та з урахуванням результатів аналізу існуючих конструкцій безківшевих роторних робочих органів траншейних екскаваторів, фактичні значення Q знаходяться в межах $1 < Q < 2,5$.

Для оцінки величини опору переміщенню потоку ґрунту по направляючій поверхні, профіль якої описується рівнянням кривої шуканої траєкторії, і чисельного визначення її параметрів, при яких цей опір мінімальний, розглянемо процес силової взаємодії потоку ґрунту з направляючою поверхнею.

Відповідно до розрахункової схеми (рисунок 2) на виділеній елементарній ділянці dy потоку ґрунту діє сила напору $F+dF$, яка переміщує його, і сила F , яка перешкоджає цьому переміщенню. Дія цих сил зумовлює виникнення сил внутрішнього розпору ґрунту, реакціями на які з боку зони ущільнення і напямної поверхні, профіль якої відповідає шуканій траєкторії, є сили dN_1 і dN_2 відповідно. Переміщення ґрунту елементарної ділянки по криволінійній траєкторії призводить до виникнення відцентрової сили і реакції dN_u на неї з боку поверхні ґрунтового ущільнення. Взаємодія ґрунту елементарної ділянки з направляючою поверхнею і застійною зоною ґрунтового ущільнення зумовлює виникнення сил тертя dF_{N2} , dF_{N1} і dF_u , що перешкоджають переміщенню ґрунту. Значення сил тертя ґрунту, що транспортується, визначатимуться також складовою сили тяжіння dG ґрунту вибраної елементарної ділянки dF_G .

Під час виведення рівняння руху потоку ґрунту в якості системи координат вибираємо рухому систему координат, центр обертання радіус-вектора ρ якої проходить через точку перетину горизонталі, розташованої на рівні денної поверхні забою і нормалі до зовнішньої частини ґрунтознімача. Вісь n є продовженням радіуса вектора ρ і утворює криву CD .

Сила тертя ґрунту елементарної ділянки dF'_{N2} об направляючу поверхню направлена по дотичній до її твірної. Відповідно, сила реакції dN_2 , яка її викликала, перпендикулярна лінії дії сили тертя dF_{N2} і спрямована під деяким кутом γ до вибраної осі. Значення кута γ визначаються в загальному випадку з виразу:

$$\gamma = 90^\circ - (\beta + \phi_T), \quad (12)$$

де β – кут між дотичною до кривої, що утворює направляючу поверхню в точці S і горизонталлю;

ϕ_m – кутова координата точки S .

Значення тангенса кута β визначає кутовий коефіцієнт K_ϕ положення дотичної до кривої, що утворює направляючу поверхню.

Величина K_ϕ в декартовій системі координат $XO'Y$ знаходиться як перша похідна функції $y = a \cdot (O'K - b)^n$, де b – ширина потоку ґрунту.

Тоді $\beta = \arctg[a \cdot n \cdot (O'K - b)^{1-n}]$.

Рівняння проекції сил на вісь n і нормаль τ до неї запишуться наступним чином:

$$\begin{aligned} \Sigma n = 0; \quad dG \sin \phi_T + dN_1 - dN_2 \sin(\beta + \phi_T) - dF_{N2} \cos(\beta - \phi_T) + \\ + dN_u - (F + dF) \sin \frac{d\phi}{2} - F \sin \frac{d\phi}{2} = 0; \end{aligned} \quad (13)$$

$$\Sigma \tau = 0; \quad dF_{N1} + dF_{N2} \sin(\beta + \phi_T) + dF_{N2} + dF_{N2} \cos(\beta + \phi_T) + dG \cos \phi_T + dF_G - (F + dF) \cos \frac{d\phi}{2} + F \cos \frac{d\phi}{2} = 0. \quad (14)$$

З урахуванням вищевикладеного можна записати:

$$\begin{aligned} dN_1 &= dN_2 = ((F + dF) - F)\xi = dF\xi; \\ dF_{N\psi} &= dN_\psi f_1; \\ dF_{N2} &= dN_2 f_2 = dF \cdot \xi \cdot f_2; \\ dF_{N1} &= dN_1 f_1 = dF \cdot \xi \cdot f_1; \\ dF_G &= dG \sin \phi_T f_2, \end{aligned} \quad (15)$$

де f_2 і f_1 – коефіцієнти тертя ґрунту по ґрунту і ґрунту по металу, відповідно.

Після відповідних підстановок і з урахуванням того, що $\sin \frac{d\phi}{2} \approx \frac{d\phi}{2}$, $\cos \frac{d\phi}{2} \approx 1$ для малих кутів, а також нехтуючи величиною $dF \frac{d\phi}{2}$ як нескінченно малою другого порядку рівняння (13) і (14) набувають вигляду:

$$\Sigma n = 0; \quad dG \sin \phi_T + dF \cdot \xi - dF \cdot \xi \sin(\beta + \phi_T) - dF \cdot \xi \cdot f_2 \times \times \cos(\beta + \phi_T) + N_\psi - F \frac{d\phi}{2} - F \frac{d\phi}{2} = 0; \quad (16)$$

$$\Sigma \tau = 0; \quad dF\xi f_1 + dF\xi f_2 \sin(\beta + \phi_T) + dF\xi \cos(\beta + \phi_T) + dN_\psi f_1 + dG(\cos \phi_T + \sin \phi_T f_2) - dF = 0. \quad (17)$$

Розв'язавши рівняння (5) відносно dN_ψ отримаємо:

$$dN_\psi = F d\phi f_1 + dF\xi f_2 \cos(\beta + \phi_T) + dF\xi \sin(\beta + \phi_T) - dF\xi - dG \sin \phi_T. \quad (18)$$

Після перетворень рівняння (6) запишеться наступним чином:

$$dF\{\xi[\sin(\beta + \phi_T)(f_1 + f_2) + \cos(\beta + \phi_T)(1 + f_1 + f_2)] - 1\} + dG[\cos \phi_T + \sin \phi_T (f_2 - f_1)] + F d\phi f_1 = 0. \quad (19)$$

Значення dG визначається з виразу:

$$dG = \gamma_{\text{гп}} b \cdot h' R_{\text{кр}} d\phi, \quad (20)$$

де $\gamma_{\text{гп}}$ – об'ємна вага ґрунту;

h' – ширина потоку ґрунту, що визначається висотою внутрішньої кільцевої порожнини ротора;

$R_{\text{кр}}$ – радіус кривизни ґрунтового потоку.

Після підстановки цих виразів в остаточне рівняння (19) і ділення його на $d\phi$ отримаємо:

$$\frac{dF}{d\phi} = \frac{\gamma_{\text{гп}} b h' [\sin \phi_T (f_1 - f_2) - \cos \phi_T]}{c} R_{\text{кр}} - F f_1 C^{-1}. \quad (21)$$

Радіус кривизни потоку $R_{\text{кр}}$, з урахуванням малої величини $d\phi$ приймаємо рівним значенню радіус-вектора ρ .

Для визначення характеру зміни сили опору переміщенню потоку ґрунту F по направляючій поверхні, яка описує шукану траєкторію, вирішуємо разом систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dF}{d\phi} = \gamma_{\text{гп}} b h' [\sin \phi_T (f_1 - f_2) - \cos \phi_T] \rho C^{-1} - F f_1 C^{-1} \\ a(\rho^0 - \rho_T \cos \phi_T)^n - \rho_T \sin \phi_T = 0. \end{cases} \quad (22)$$

Рівняння (16)-(22) являють собою математичну модель силової взаємодії потоку ґрунту, що транспортується з внутрішньої кільцевої порожнини у відвал, з направляючими поверхнями розвантажувального вузла.

Аналітичне рішення наведеної системи рівнянь являє собою досить складну задачу, тому розрахунок виконується чисельним методом.

У процесі вирішення задачі величина кута γ приймається досить малою. Відповідно до геометричних розмірів безківшевого роторного робочого органу екскаватора ЕТР-134, для розрахунків приймаються наступні чисельні значення величин, що входять в рівняння (21) $\gamma_{cp} = 19 \text{ кН/м}^3$; $f_2 = 0,7$; $f_l = 0,5$; $Q = 1 \dots 2$; $b = 0,13 \text{ м}$; $OK = 0,15-0,25 \text{ м}$; $h' = 0,25 \text{ м}$.

Графічна інтерпретація результатів розрахунку наведена на рисунку 3.

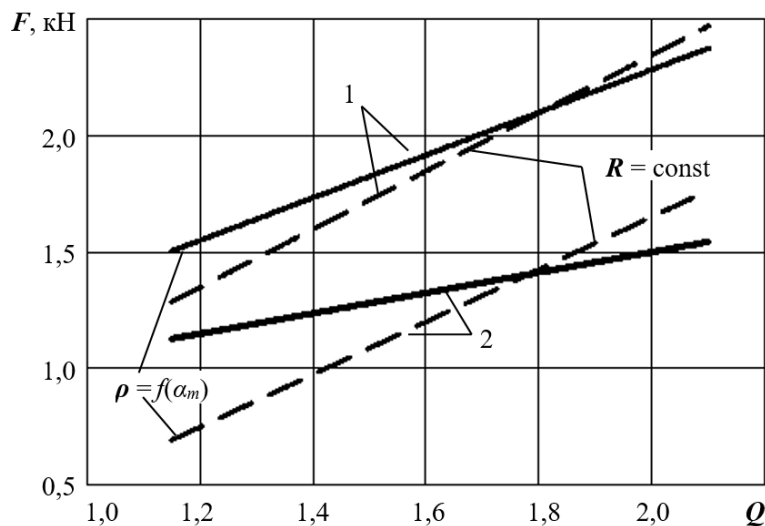


Рисунок 3 – Зміна сили опору переміщення ґрунту по напрямній поверхні F залежно від величини Q : 1 – $DK = 0,2 \text{ м}$, 2 – $DK = 0,15 \text{ м}$.

Figure 2 – Changes in the resistive forces of the soil transportation along the surface F depending on value Q : 1 – $DK = 0,2 \text{ м}$, 2 – $DK = 0,15 \text{ м}$.

Аналіз отриманих залежностей $F = f(Q)$ при $\rho = f(\gamma)$ для робочого органу екскаватора ЕТР-134 показує, що значення сили опору переміщенню ґрунту F визначаються висотою підйому ґрунту H і дальністю його транспортування DC від траншеї що розробляється. Залежність носить лінійний характер, причому збільшення висоти підйому ґрунту H в два рази (при $DK = const$) призводить до збільшення сили опору переміщенню потоку ґрунту на 50 %. Підвищення значення величини Q з 1,2 до 2 характеризується зміною сили опору від 1,1 кН до 1,5 кН. Аналогічна зміна Q , при збільшенні вильоту DK на 30 %, наприклад, викликає підвищення величини F з 1,5 кН до 2,2 кН, тобто на 40 %.

Встановлений характер зміни сили опору переміщенню потоку ґрунту з ротора у відвал пояснюється зростанням впливу нормальної складової сили ваги ґрунту, що визначає силу тертя об напрямну поверхню. Причому, збільшення вильоту направляючої поверхні надає більш значний вплив на зростання сили опору, ніж підвищення висоти підйому ґрунту H .

Окремим випадком конфігурації направляючої поверхні розвантажувального вузла на даній ділянці може бути поверхня постійного радіуса кривизни $R = const$. Величина радіуса R на основі елементарних геометричних побудов для розглянутої розрахункової схеми визначиться з виразу:

$$R = \frac{H \cdot (1 + 1/Q^2)}{2 \cdot \left(1 - \frac{\sin \beta}{Q}\right)}. \quad (23)$$

Замінивши значення $R_{кр}$ на R_c в рівнянні і розв'язуючи його методом, аналогічним вищевикладеному, отримуємо результати, які в графічному вигляді представлені на рисунку 3. Залежність сили опору переміщенню ґрунту F від величини Q в цьому випадку лінійна (на рисунку 3 позначено пунктиром) і має більш інтенсивний характер зміни в бік збільшення. Так підвищення значення величини Q з 1,3 до 2 призводить до збільшення сили F на 90 % (з 0,87 кН до 1,6 кН,

відповідно). Аналогічна картина спостерігається при збільшенні вильоту направляючої поверхні: $F = 1,5-2,4$ кН.

Аналіз отриманих залежностей дозволяє стверджувати, що величина сили опору F переміщенню ґрунту по розглянутих напрямних поверхнях характеризується співвідношенням величин вильоту поверхонь і необхідної висоти підйому ґрунту над рівнем денної поверхні забою. Зміна сили опору F носить лінійний характер як для параболічної направляючої поверхні, так і для поверхні постійного радіуса кривизни.

Таким чином, при виборі траєкторії переміщення потоку ґрунту з внутрішньої кільцевої порожнини на розвантаження, слід виходити з того, що з точки зору зменшення сили опору переміщенню оптимальною, при значенні $Q \leq 1,4-1,6$, є пряма поверхня розвантажувального вузла постійного радіуса кривизни. У разі знаходження величини співвідношення $Q \geq 1,75$, перевагу, з тих же міркувань, слід віддавати направляючій поверхні параболічної форми $y = ax^n$.

Залишкові просипи розробленого ґрунту на дні відкопаної траншеї, за умови двоступеневого розвантаження ротора, становлять не більше 3-4 % об'єму виїмки.

Висновки.

Обґрунтована доцільність та раціональність оснащення безківшевого роторного робочого органа траншейного екскаватора додатковим лотковим розвантажувальним вузлом, що забезпечує повне розвантаження ротора від транспортованого ґрунту.

Ґрунтознімачі лоткового розвантажувального вузла повинні мати форму відвальних поверхонь постійного радіуса кривизни, величина якого функціонально залежить від радіуса ротора.

Раціональними траєкторіями переміщення транспортованого ґрунту з безківшевого роторного робочого органа на розвантаження, а значить і форма напрямних поверхонь розвантажувальних лотків, можуть бути параболічними, або поверхнями постійного радіуса кривизни.

Отримані математичні моделі розрахунку параметрів раціональних траєкторій переміщення розробленого ґрунту з ротора на розвантаження та сил опору переміщення ґрунту по днища лотків забезпечують вибір раціональної форми та параметрів конструкції днища лотків в залежності від конструктивних параметрів робочого органа: параболічні – за умови $Q \geq 1,75$; постійного радіуса кривизни – $Q \leq 1,4-1,6$.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мусійко В.Д. Теорія та створення інноваційних землерийних машин безперервної дії: монографія. Видання друге, доповнене / В.Д. Мусійко, А.Б. Коваль. – Київ: "Видавництво Людмила", 2018. – 282 с.
2. Домбровский Н.Г. Многоковшовые экскаваторы. Конструкция, теория, расчет. – М.: Машиностроение, 1972. – 432 с.
3. Федоров Д.И. Рабочие органы землеройных машин. – М.: Машиностроение, 1977. – 288 с.
4. Гарбузов З.Е. Экскаваторы непрерывного действия / З.Е. Гарбузов, В.Н. Донской, Н.В. Карев, Л.Е. Подборский. – М.: Высшая школа, 1975. – 320 с.
5. 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.
6. Мусійко В.Д. Безківшений роторний робочий орган землерийних машин з двохступеневим розвантаженням / В.Д. Мусійко, Ю.М. Клименко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник – К.: НТУ, 2009. – Вип. 19. – С. 126-130.
7. Горячкин В.П. Земледельческая механика. Основы теории земледельческих машин и орудий / В.П. Горячкин. – М.: Сельхозгиздат, 1937. – 258 с.
8. Горячкин В.П. Сельскохозяйственные машины и орудия, теория / В.П. Горячкин. – Т. 2. – М.: Колос, 1968. – 455 с.
9. Гаячев Л.В. Теория лемешно-отвальной поверхности / Л.В. Гаячев // Труды Азово-черноморского института механизации сельского хозяйства. – зерноград, 1961. – Вип. 13. – С. 79-98.
10. Левин А.Г. Определение рациональной формы рабочей поверхности лемеха забойного конвейера // А.Г. Левин // Сборник комплексная механизация производственных процессов на шахтах разрабатывающих тонкие, пологие пласты. – 1977. – Вип. 68. – С. 81-88.

11. Зеленин А.И. Косое резание и копание грунтов / А.И. Зеленин, Л.В. Красильников // Дорожные и строительные машины. – 1974. – № 4. – С. 28-30.
12. Баловнев В.И. Физическое моделирование резания грунтов. М., Машиностроение, 1969. – 159 с.
13. Эвентов И.М. Выбор наивыгоднейшего угла установки ножа автогрейдера / И.М. Эвентов. – М.: Дориздат, 1949. – 8 с.
14. Сухарев Э.А. Обоснование бокового профиля очистителя ковшей по минимальной энергоёмкости / Э.А. Сухарев, В.Г. Онокало // Горные, строительные, дорожные и мелиоративные машины: Респ. межвед. сб. – К.: Техніка. – 1986. – Вып. 39. – С. 113-116.
15. Коваленко В.Я. Исследование процесса загрузки ленточных конвейеров на горнорудных предприятиях: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.Я. Коваленко. – Днепропетровск, 1971. – 24 с.

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.
2. Dombrovskiy, N. G. *Mnohokovshovye ekskavatory. Konstruktsiya, teoriya y raschet* [Multi bucket excavators. Construction, theory and calculation] Moskva, 1972, 432 p.
3. Fedorov D. Y. *Rabochye orhany zemleroinykh mashyn* [The working bodies earthmoving machines]. Moscow, Mashinostroenie, 1977, 288 p.
4. Garbuzov Z.E., Donskoy V.N., Karev N.V., Podborskiy L.E. (1975) *Ekskavatory nepreryvnogo deystviya* [Continuous excavators] Moscow: Vysshaiy shkola [in Russian].
5. Musiyko V.D., Koval A.B., Patsora D.I. Shliakhy pidvyschennia produktyvnosti transheinykh ekskavatoriv bezperervnoi dii [Ways to increase the productivity in continuously operating trenching excavators] *Visnyk Natsionalnoho Transportnoho Universyteyu* [Visnyk National Transport University], 2021, issue 3 (50), p.p. 132-143.
6. Musiyko V.D., Klymenko Yu.M. Bezktivshevyi rotorny orhan zemleryinoi mashyny z dvokhstupeneyvym rozvantazhenniam [Sleeveless rotary working body of earthmoving machines with two-stage unloading] *Visnyk Natsionalnoho Transportnoho Universyteyu* [Visnyk National Transport University], 2009, issue 19, p.p. 126-130.
7. Goryachkin V.P. *Zemledelcheskaya mekhanika. Osnovy teorii zemledelcheskikh mashyn i orydiy* [Agricultural mechanics. Fundamentals of the theory of agricultural machines and implements]. Moscow, Selkhozizdat Publ., 1937, 258 p.
8. Goryachkin V.P. *Selskokhozyaystvennye mashyny i orudiya, teoriya* [Agricultural machines and implements, theory]. Moscow, Kolos Publ., 1968, 455 p.
9. Gayachev L.V. *Teoriya lemeshno-otvalnoy poverkhnosti* [Theory of the share-dump surface]. *Trudy Azovo-Chernomorskogo instituta mekhanizatsii selskogo khozyaystva* [Proceedings of the Azov-Black Sea Institute of Agricultural Mechanization], 1961, issue 13, p.p. 79-98.
10. Levin A.G. *Opredeleye ratsyonalnoy formy rabochey poverkhnosti lemekha zaboynogo konveyera* [Determination of the rational shape of the working surface of the face conveyor plowshare]. *Sboryik kompleksnaya mekhanizatsiya proizvodstvennykh protsesov na shakhtakh razrabatyvayushchikh tonkie, pologie plasty* [Collection complex mechanization of production processes in mines developing thin, gentle seams], 1977, issue 68, p.p. 81-88.
11. Zelenin A.I., Krasilnikov L.V. *Kosoe rezanie i kopanie gruntov* [Bevel cutting and soil dripping] *Dorozhnye i stroitelnye mashyny – Road and construction machines*, 1974, issue 4, p.p.28-30.
12. Balovnev V. I. (1969) *Fizicheskoe modelirovanie rezaniya gruntov* [Physical modeling of cutting soil]. Moscow: Mashynostroenie [in Russian].
13. Eventov I.M. *Vybor naividneyshego ugla ustanovki nozha avtogreydera* [Selecting the most visible grader knife angle]. Moscow, Dorizdat Publ., 1949, 8 p.
14. Sukharev E.A., Onokalo V.G. *Obosnovanie bokovogo profilya ochistitelya kovshey po minimalnoy energoemkosti* [Justification of the side profile of the bucket cleaner for the minimum energy consumption]. *Gornye, stroitelnye, dorozhnye i meliorativnye mashyny – Mining, construction, road and land reclamation machines*, 1986, issue 39, p.p. 113-116.

15. Kovalenko V.Ya. *Issledovanie protsessa zagruzki lentochnykh konveyerov na gornorudnykh predpriyatiyakh* Avtoreferat Diss. [Study of the loading process of belt conveyors at mining enterprises. Author's abstract] Dnepropetrovsk, 1971, 24 p.

РЕФЕРАТ

Мусійко В.Д. Визначення раціональних параметрів конструкції лоткових розвантажувальних вузлів безківшевих роторних робочих органів траншейних екскаваторів / В.Д. Мусійко, А.Б. Коваль, Д.І. Пацьора // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

У статті розглянуто питання вибору та обґрунтування параметрів конструкції лоткового розвантажувального вузла безківшевого роторного робочого органа траншейного екскаватора на основі аналізу раціональних траєкторій переміщення транспортованого ротором ґрунту із забою до місця укладання його на брівці траншеї.

Мета дослідження: визначення раціональної траєкторії переміщення ґрунту з безківшевого роторного робочого органа траншейного екскаватора та параметрів елементів конструкції лоткового розвантажувального вузла.

Об'єкт дослідження: безківшевий роторний робочий орган.

Метод дослідження: – розрахунково-аналітичний.

В результаті виконаних аналітичних досліджень отримано математичну модель визначення раціональних траєкторій переміщення розробленого ґрунту з робочого органа на бруствер траншеї. Встановлено вид цих траєкторій, що описують необхідну форму напрямних поверхонь (днищ) лотків розвантажувального вузла безківшевого ротора.

Математична модель визначення сил опору переміщенню розробленого ґрунту по напрямній поверхні розвантажувального лотка дозволяє шляхом розрахунків визначити оптимальну форму та конструктивні параметри напрямних поверхонь лотків та ґрунтознімачів.

З використанням розроблених математичних моделей виконано розрахунки конструктивних параметрів розвантажувальних вузлів траншейних екскаваторів ЕТР-137 та ТМК-3.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БЕЗКІВШЕВИЙ РОТОР, ҐРУНТ, ҐРУНТОЗНІМАЧ, ЕКСКАВАТОР, ЛОТОК, НАПРЯМНА ПОВЕРХНЯ, РОЗВАНТАЖЕННЯ.

ABSTRACT

Musiiko V.D., Koval A.B., Patsora D.I. Determination of the rational parameters for the construction of the tray discharge assembly of the bucketless rotary implements of the trenching excavators. . Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article considers the question of selection and justification of the construction parameters of the tray discharge assembly of the bucketless rotary implements of the trenching excavators based on the analysis of the rational trajectories of the soil that is being transported by the rotor from excavation to the place of its depletion at the excavation edge.

The Goal of the study: determine the rational trajectory of the soil movement from the bucketless rotary implement of the trenching excavator and the parameters of the construction elements of the tray discharge assembly.

Study object: bucketless rotary implement

Study method: – computational analysis

As the result of the completed analytical studies, we've obtained the mathematical model for the determination of the rational trajectories of the excavated soil movement from the implement to the trench parapet. We have determined the type of these trajectories that describe the required shape of the guiding surface (bottom) of the trays of the discharge assembly of the bucketless rotor.

The mathematical model has been developed to determine the resistive forces of the excavated soil movement along the surface of the discharge tray. The mathematical model allows to calculate the optimal shape and constructive parameters of the tray guiding surfaces and soil removers.

Using the developed mathematical models we have performed the calculations of the constructive parameters for the discharge assemblies of the trenching excavators ETP-137 and TMK-3.

KEYWORDS: BUCKETLESS ROTOR, SOIL, SOIL REMOVER, EXCAVATOR, TRAY, GUIDING SURFACE, DISCHARGE.

АВТОРИ:

Мусійко Володимир Данилович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: musvd@i.ua, тел.: +380501040262, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226а, orcid.org/0000-0001-9983-3296.

Коваль Андрій Борисович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: kandr@i.ua, тел.: +380500240894, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226, orcid.org/0000-0003-1295-8200.

Пацьора Данило Іванович, Національний транспортний університет, магістрант кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: dpatsora@gmail.com, тел.: +380996460618, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226, orcid.org/0000-0001-9515-3672.

AUTHORS:

Musiiko Volodymyr Danilovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of the transport construction machines engineering, e-mail: musvd@i.ua, tel.: +380501040262, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovich-Pavlenko str., 1, of. 226a, orcid.org/0000-0001-9983-3296.

Koval Andrii Borysovych., Ph.D. Engineering, Docent, National Transport University, Associate Professor of the Department of the transport construction machines engineering, e-mail: kandr@i.ua, tel.: +38050240894, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovich-Pavlenko str., 1, of. 226, orcid.org/0000-0003-1295-8200.

Patsora Danulo Ivanovych, National Transport University, Graduate Student of the Department of the transport construction machines engineering., e-mail: dpatsora@gmail.com, tel.: +380996460618, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovich-Pavlenko str., 1, of. 226, orcid.org/0000-0001-9515-3672.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Іткін О.Ф., доктор технічних наук, генеральний директор ПрАТ «Промислово-виробничий інститут зварювально-ізоляційних технологій при будівництві трубопроводів «Нафтогазбудізоляція», Київ, Україна.

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Itkin O.F., Doctor of Technical Sciences, General Director of «Neftegazstroyizoliatsiya» Industrial Production Institute of welding-insulation technologies to a piping building, Kyiv, Ukraine.

Sakhno V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of Automobiles, Kyiv, Ukraine.

ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ ПЛАСТИФІКАТОРІВ СЕРІЇ FLUXOIL ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА СУМІШЕЙ ХОЛОДНИХ БІТУМОМІНЕРАЛЬНИХ ДОРОЖНІХ

Невінговський В.Ф., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, nevinglovskiy@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0113-1822

Стьожка В.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, styozhka@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5039-9852

Шниг А.Ю., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, alena-87@ukr.net, orcid.org/0000-0002-6909-7088

Шнайдер М.І., ТОВ «ТОРГОВИЙ ДІМ АРОН», Бровари, Україна, office@aron.ua, orcid.org/0000-0001-7788-1158

EXPERIENCE IN USING FLUXOIL SERIES PLASTICIZERS FOR THE PRODUCTION OF COLD BITUMEN MINERAL ROAD MIXES

Nevinhlovskiy V.F., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, nevinglovskiy@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0113-1822

Stozhka V.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, styozhka@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5039-9852

Shpyh A.Yu., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, alena-87@ukr.net, orcid.org/0000-0002-6909-7088

Shnaider M.I., LLC «TRADE HOUSE ARON», Brovary, Ukraine, office@aron.ua, orcid.org/0000-0001-7788-1158

Найбільш розповсюдженими видами дефектів асфальтобетонних дорожніх покриттів є тріщини, вибоїни та колійність. Поява тріщин в асфальтобетонних дорожніх покриттях, з часом, під дією дощової та талої води, з урахуванням певної кількості циклів заморожування-відтавання в перехідні періоди року (осінь-зима та зима-весна), а також з урахуванням динамічних навантажень від дії коліс транспортних засобів, призводить до виникнення вибоїн.

Зимове утримання автомобільних доріг загального користування, міських вулиць та доріг є технологічно складнішим, у порівнянні з традиційними сезонними дорожньо-будівельними роботами. В першу чергу, це пов'язано із низькими температурами навколишнього середовища, при яких дорожні працівники повинні проводити відповідні роботи. У зв'язку із цим, під час зимового утримання, виникає технологічна потреба в застосуванні спеціальних дорожньо-будівельних матеріалів, таких як холодні асфальтобетонні та бітумомінеральні суміші, технологічний процес виробництва яких потребує особливої уваги, знань та виробничого досвіду.

Суміш холодна бітумомінеральна дорожня для цілорічного ремонту з ліквідації вибоїн покриття (СБМД (Р)), виготовляється з використанням БРД [1]. БРД – бітумне в'язуче для виготовлення холодної суміші бітумомінеральної дорожньої для цілорічного ремонту покриття [1]. БРД отримують шляхом зниження в'язкості бітуму нафтового дорожнього, застосовуючи спеціальний компонент (добавка чи концентрат), що надає холодній суміші потрібних технологічних властивостей (рухомість, клеюча здатність, водостійкість, протидія злежуваності при тривалому зберіганні), які дозволяють здійснювати цілорічний ремонт з ліквідації вибоїн покриття [1].

Найбільш поширеними на території України є два технологічних способи отримання БРД, а саме:

- застосування добавки (пластифікатора), що в якості готової рідини додається до БНД відповідної марки та надає йому необхідні технологічні характеристики;
- застосування концентрату, який потребує додаткового технологічного застосування при приготуванні БРД дизельного палива та/або легких органічних речовин, що в кінцевому результаті надають йому необхідні технологічні характеристики.

Результати цієї дослідної роботи пов'язані із застосуванням при виробництві СБМД (Р) добавок (пластифікаторів) FluxOil V та FluxOil S-1 виробництва італійської компанії ACTIVA S.r.l., фізико-хімічні характеристики яких, наведені в таблиці 1 [2, 3].

Таблиця 1 – Фізико-хімічні характеристики пластифікаторів серії FluxOil
Table 1 – Physicochemical characteristics of FluxOil series plasticizers

№	Найменування характеристики	FluxOil V	FluxOil S-1
1	Фізичний стан	Рідина	Рідина
2	Колір	Темно-коричневий	Темно-зелений
3	Запах	М'який, характерний	Характерний
4	Рівень pH	Відомостей немає	Відомостей немає
5	Кінематична в'язкість, мм ² /с при 20 °C	-	35
6	Кінематична в'язкість, мм ² /с при 40 °C	21 – 23	-
7	Відносна щільність, кг/м ³ при 20 °C	950	900
8	Точка кипіння, °C	> 250	> 220
9	Точка займання, °C	> 170	> 180
10	Точка застигання, °C	< -7	< -20

Пластифікатор FluxOil V виготовлений на основі метилового ефіру рослинного походження, а FluxOil S-1 – на основі високоякісних синтетичних компонентів з дуже низькою температурою замерзання [2, 3]. Обидва пластифікатори спеціально розроблені для виробництва холодних асфальтобетонних та бітумомінеральних сумішей, з метою забезпечення відповідних екологічних та економічних рішень. Однією із основних переваг цих добавок, є відсутність в їхньому складі летких органічних сполук та речовин, а також те, що вони є екологічно безпечними.

Питання виробництва сумішей холодних бітумомінеральних дорожніх (СБМД (Р)) з точки зору вимог чинних нормативних документів [1], є відносно простим завданням, так як у порівнянні з приготуванням холодних асфальтобетонних сумішей [4], до СБМД (Р) нормативні вимоги є дещо простішими. Враховуючи зміст [1], у таблицях 2 – 4 наведено основні вимогами до СБМД (Р) та БРД.

Таблиця 2 – Вимоги до зернового складу мінеральних складових холодної СБМД (Р)

Table 2 – Requirements for the grain composition of the mineral components of cold SBMD (R)

Вміст (у відсотках за масою) зерен мінеральних складових, менших даного розміру, мм							
10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
100-90	55-20	30-5	10-0	8-0	5-0	3-0	2-0

Таблиця 3 – Вимоги до фізико-технічних показників БРД для виготовлення СБМД (Р)

Table 3 – Requirements for the physical and technical indicators of BRD for the production of SBMD (R)

Назва показника	Значення для в'язучого
Умовна в'язкість за температури 60 °C, с	Від 20 до 70
Кінематична в'язкість за температури 60 °C, сСт	Від 560 до 2240
Зчеплюваність в'язучого (БРД) з поверхнею щебеню, балів, не менше	5 ^{*)}
*) Встановлюють для БРД та щебеню, що використовують при виробництві СБМД (Р). Примітка. Рекомендовано визначати показник «Кінематична в'язкість за температури 60 °C» для накопичення даних на основі показника «Умовна в'язкість за температури 60 °C».	

Таблиця 4 – Вимоги до фізико-технічних показників холодної СБМД (Р)

Table 4 – Requirements for physical and technical indicators of cold SBMD (R)

Назва показника	Значення
Злежуваність за кількістю ударів, не більше	Від 0 до 3
Клеюча здатність	«Витримує випробування» за відповідністю вимогам контрольних зразків

Усі випробування, що проводились під час цієї дослідницької роботи, здійснювались із дотриманням вимог та рекомендацій з боку виробника та постачальника пластифікаторів серії FluxOil, а також чинних нормативних документів [1, 5, 6, 7, 8, 9].

Суміші холодні бітумомінеральні дорожні виробляли на звичайних асфальтобетонних заводах (але при нижчих технологічних температурах), що випускають теплі та гарячі асфальтобетонні суміші. СБМД (Р) отримували шляхом змішування заповнювачів, бітуму марки БНД 70/100 та пластифікаторів серії FluxOil, що дозволяло забезпечувати холодним бітумомінеральним сумішам

ідеальний довгостроковий баланс між пластичністю та технологічністю, навіть при низьких температурах навколишнього середовища.

Основними перевагами СБМД (Р) над теплими та гарячими асфальтобетонними сумішами, є те, що суміші холодні бітумомінеральні дорожні можуть застосовуватись при температурі навколишнього середовища, а строк зберігання у фасованому вигляді (поліетиленові мішки / пакети тощо) та працездатність таких сумішей може становити не менше 12 місяців з дати виготовлення, в залежності від підібраної рецептури.

Під час досліджень встановлено, що правильно (вдало) підібрана рецептура приготування СБМД (Р), враховуючи відповідний відсоток дозування пластифікатора FluxOil, дозволяє одержати належним чином працездатні суміші, технологічність яких не залежить від погодних умов і дає можливість уникати низьку працездатність взимку при низьких температурах, а влітку за спекотних температур – «липкої» суміші.

З боку виробника та постачальника пластифікаторів серії FluxOil, було рекомендовано два способи технологічного приготування (виробництва) сумішей холодних бітумомінеральних дорожніх, а саме:

- додавання пластифікатора безпосередньо в змішувальну установку асфальтобетонного заводу (рис. 1 а), рис. 2);
- додавання пластифікатора безпосередньо в бітум нафтовий дорожній, з метою його попереднього розрідження перед подачею в змішувальну установку асфальтобетонного заводу (рис. 1 б), рис. 3).

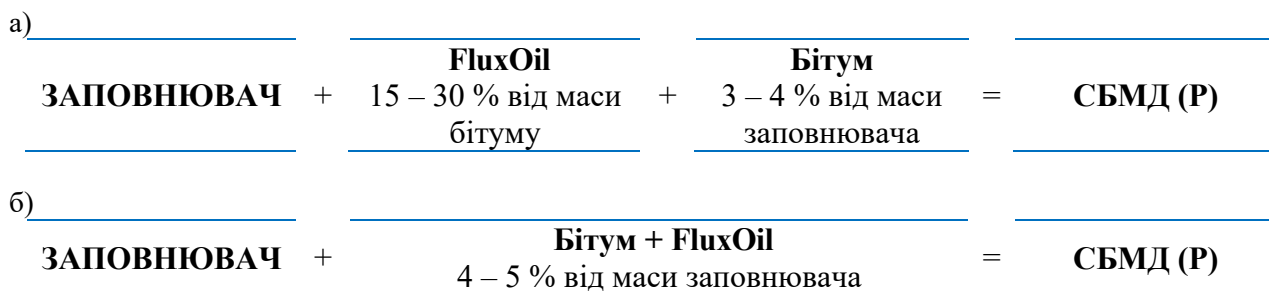


Рисунок 1 – Алгоритм приготування СБМД (Р) із застосуванням пластифікаторів серії FluxOil:

а) додавання пластифікатора безпосередньо в змішувальну установку; б) додавання пластифікатора безпосередньо в бітум нафтовий дорожній

Figure 1 – Algorithm for preparing SBMD (P) using FluxOil series plasticizers: a) adding the plasticizer directly to the mixing unit; b) addition of plasticizer directly to petroleum road bitumen

Встановлено, що дозування FluxOil необхідно змінювати в залежності від гранулометричної кривої використовуваних агрегатів (заповнювачів), погодних умов застосування (влітку чи взимку) та марки бітуму нафтового дорожнього. Наприклад, для марки бітуму БНД 70/100, дозування пластифікаторів коливається від 15 % до 30 % від його маси. Також, під час досліджень встановлено, що чим більшою є доза пластифікатора FluxOil, тим довшим є строк зберігання суміші. При цьому, СБМД (Р) при нижчих температурах навколишнього середовища (від 0 °С до -10 °С) є більш «рухливішою» (пластичною) та такою, що не потребує додаткового примусового нагрівання, як це буває на практиці.

Враховуючи набутий практичний досвід застосування пластифікаторів FluxOil, для того щоб отримати якісні холодні бітумомінеральні суміші, не менш важливим є фактор підбору бітуму, з урахуванням його фізико-технічних характеристик, особливо показника проникності голки (П₂₅). Чим більше значення показника проникності голки використовуваного бітуму, тим нижчою є доза FluxOil, і навпаки.

При необхідності, з метою забезпечення відповідного показника зчеплюваності бітумного в'язучого (FluxOil + бітум) з поверхнею кам'яних матеріалів (заповнювача), рекомендовано додатково використовувати адгезійні добавки, що дозволять забезпечити цей показник.

На прикладі країни Італії [8, 9], чимало виробників «холодного асфальту» використовують заповнювачі розміром в діапазоні 3 – 6 мм та / або в діапазоні 4 – 8 мм. Деякі виробники вважають доцільним додавати «пісок» (відсів) з розміром зерен 0 – 4 мм, в межах 10 – 20 % від загальної інертної маси, що дозволяє зменшити стікання в'язучого з кам'яного матеріалу та забезпечити кращу стабільність холодним сумішам.

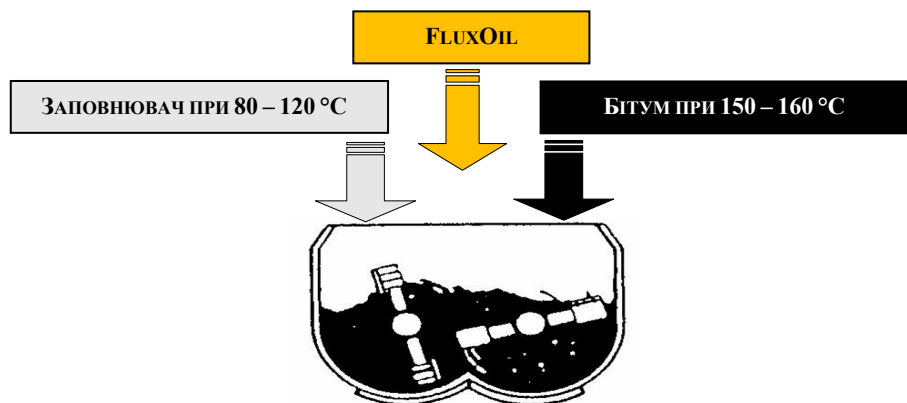


Рисунок 2 – Схематичне зображення технології приготування СБМД (Р) при дозуванні пластифікатора FluxOil безпосередньо в змішувальну установку асфальтобетонного заводу
Figure 2 – Schematic representation of the SBMD (R) preparation technology when dosing the FluxOil plasticizer directly into the mixing plant of the asphalt plant

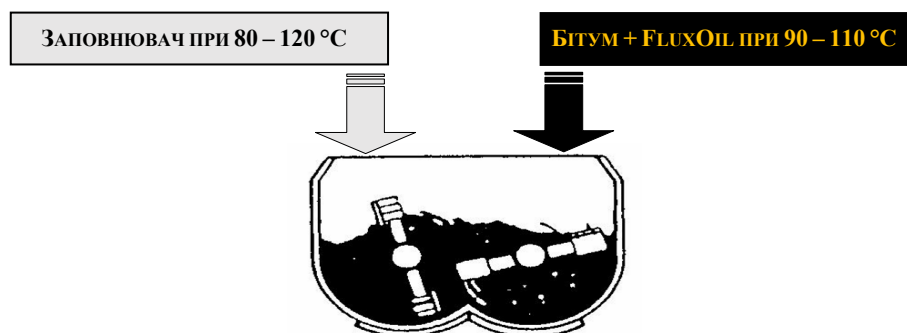


Рисунок 3 – Схематичне зображення технології приготування СБМД (Р) при дозуванні пластифікатора FluxOil безпосередньо в бітум нафтовий дорожній, з метою його попереднього розрідження перед подачею в змішувальну установку асфальтобетонного заводу
Figure 3 – Schematic representation of the SBMD (R) preparation technology when dosing the FluxOil plasticizer directly into petroleum road bitumen, in order to pre-liquefy it before feeding it to the mixing plant of an asphalt concrete plant

Рекомендований діапазон температури нагрівання та подачі кам'яних матеріалів (заповнювачів) становить від 80 °C до 120 °C. У випадку використання кам'яних матеріалів в сухому стані, їх достатньо нагріти до 80 – 100 °C, але як показує практика, частіше всього заповнювачі поступають в сушильний барабан з певним відсотком вологи. В такому разі, температура в межах 110 – 120 °C є найбільш практичною, так як за таких температур з поверхні заповнювачів випаровується волога, а також мінімізується в масі матеріалу кількість пилу, за рахунок його примусового відбору в технологічній лінії асфальтобетонного заводу.

При виробництві сумішей холодних бітумомінеральних дорожніх, за технологією дозування пластифікатора FluxOil безпосередньо в змішувальну установку асфальтобетонного заводу, рекомендовано протягом 5 – 10 секунд змішувати кам'яні матеріали з необхідною кількістю FluxOil (V або S-1), після чого ввести бітум, продовжуючи змішування ще протягом 5 – 15 секунд, поки не буде отримано однорідну суміш (додатково ще 5 – 15 секунд). Алгоритм часового проміжку виробництва СБМД (Р) наведено на рисунку 4.

У випадку відсутності виробничої можливості дозування рідких добавок безпосередньо в асфальтозмішувальну установку, пластифікатори FluxOil можна додавати в бітум із послідовним перемішуванням та доведенням його до однорідного стану, після чого в'язуче (FluxOil + бітум) відповідним чином подається у виробничу лінію.

Рекомендована температура випуску холодних бітумомінеральних сумішей, що виготовлені із застосуванням пластифікаторів FluxOil, становить в межах від 90 °C до 110 °C.

... секунди	5 – 10 секунд	5 – 15 секунд	5 – 15 секунд
Дозування заповнювача	Після дозування FluxOil	Після дозування бітуму	Кінцева фаза змішування
----- Час змішування без бітуму -----		----- Час змішування з бітумом -----	

Рисунок 4 – Алгоритм часового проміжку виробництва СБМД (Р) при дозуванні пластифікатора FluxOil безпосередньо в змішувальну установку асфальтобетонного заводу
Figure 4 – Algorithm of the time interval of the production of SBMD (R) when dosing the FluxOil plasticizer directly into the mixing plant of the asphalt plant

Після виготовлення суміш охолоджують до температури навколишнього середовища, після чого вона подається до пакувального цеху. Готовий продукт, як правило, упаковують по 25 кг у поліетиленові мішки та поміщають на піддоні. Пакувальні лінії можуть бути ручними, напівавтоматичними або повністю автоматичними. Як альтернатива, до упаковки, холодна суміш може зберігатися в складах навалом під накриттям (брезент тощо).

Враховуючи те, що на кінцеву якість СБМД (Р) може впливати цілий ряд факторів (чинників), підбір рецептури обов'язково повинен супроводжуватися лабораторними випробуваннями та окремими емпіричними процедурами, які в кінцевому результаті задовольнятимуть нормативні вимоги, що висуваються до них, а також потребу (кількісні та якісні характеристики, строк зберігання тощо) виробника та кінцевого споживача.

У результаті ряду проведених лабораторних та виробничих досліджень, суміші холодні бітумомінеральні дорожні, що були вироблені із застосуванням пластифікаторів FluxOil у відповідності до [1, 8, 9], забезпечували наявність наступних якісних та технічних характеристик:

- «працездатність» (пластичність). СБМД (Р) повинні залишатися «працездатними» і легко піддаватися робочому процесу – «контакту з лопатою» протягом тривалого періоду часу. Легкоукладальність (пластичність) повинна бути забезпечена навіть при низьких зимових температурах;

- відсутність злежуваності. Заповнювачі повинні бути повністю покриті в'язким (FluxOil + бітум), і залишатися такими навіть після того, як складована суміш піддається різним температурним умовам;

- висока зчеплюваність. Ремонтний матеріал, в якості холодних бітумомінеральних сумішей, повинен забезпечувати достатній показник зчеплюваності із поверхнею «заповнюваного отвору» (вибоїни тощо), і залишатися там навіть у присутності води.

У період виробничих та практичних апробацій та випробувань, СБМД (Р), що були вироблені із застосуванням пластифікаторів серії FluxOil, були влаштовані в якості сумішей холодних бітумомінеральних дорожніх для цілорічного ремонту з ліквідації вибоїн покриття автомобільних доріг загального користування, міських вулиць та доріг, в наступних регіонах та містах України: Вінницька область, Волинська область, Житомирська область, Закарпатська область, м. Київ та Київська область, Кіровоградська область, м. Тернопіль та Тернопільська область, Дніпропетровська область, Хмельницька область. Приклади застосування СБМД (Р), що були вироблені із застосуванням пластифікаторів серії FluxOil наведені на рисунку 5.

а)



б)



в)



г)



Рисунок 5 – Приклади застосування СБМД (Р), що були вироблені із застосуванням пластифікаторів серії FluxOil: а) процес підготовки БРД на АБЗ (Київська обл., 2019р.); б) процес виробництва СБМД (Р) на АБЗ (Закарпатська обл., 2020р.); в) охолодження СБМД (Р) до температури навколишнього середовища перед її пакуванням (фасуванням) (Дніпропетровська область, 2020р.); г) процес ущільнення СБМД (Р) віброплитою (Тернопільська обл., 2021р.)

Figure 5 – Examples of the use of SBMD (P), which were produced with the use of plasticizers FluxOil series: a) the process of preparing BRD at ABZ (Kyiv region, 2019); b) the production process of SBMD (R) at ABZ (Transcarpathian region, 2020); c) cooling of SBMD (R) to ambient temperature before its packaging (packaging) (Dnipropetrovsk region, 2020); d) the process of compacting SBMD (R) with a vibrating plate (Ternopil Region, 2021)

Під час аналізу практичного застосування пластифікаторів серії FluxOil для виробництва сумішей холодних бітумінеральних дорожніх, встановлено ряд технологічних принципів та підходів, що суттєво впливають на технологію їхнього виробництва, їхню якість та технологічність під час застосування при різних температурах навколишнього середовища, а також на їхню придатність, в залежності від часу зберігання.

Результати статті можуть бути використані з метою співставлення на рівні з іншими технологічними підходами до виробництва сумішей холодних бітумінеральних дорожніх, з комплексним урахуванням таких аспектів (факторів) як: технологічність, екологічність, безпечність, якість, собівартість та строк застосування (придатності).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ Б В.2.7-305:2015. Суміші бітумінеральні дорожні. Загальні технічні умови. Введ. 2016-07-01. – К, 2016. – 48 с.
2. <https://aron.ua/fluxoil-v/>
3. <https://aron.ua/fluxoil-s-1/>
4. ДСТУ Б В.2.7-119:2011. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. Введ. 2012-10-01. – К, 2012. – 55 с.
5. ДСТУ Б В.2.7-306:2015. Суміші бітумінеральні дорожні. Методи випробувань. Введ. 2016-07-01. – К, 2016. – 40 с.
6. SAFETY DATA SHEET. FluxOil V. – It. – 2020-03-18 – 4 с. – ACTIVA S.r.l.
7. SAFETY DATA SHEET. FluxOil S-1. – It. – 2021-02-15 – 4 с. – ACTIVA S.r.l.
8. FluxOil V. Добавка / пластифікатор для виробництва холодних асфальтобетонних та бітумінеральних сумішей. Технічний опис. – Б. – 2020-03. – 4 с. – ТОВ «ТОРГОВИЙ ДІМ АРОН».
9. FluxOil S-1. Добавка / пластифікатор для виробництва холодних асфальтобетонних та бітумінеральних сумішей. Технічний опис. – Б. – 2020-11. – 4 с. – ТОВ «ТОРГОВИЙ ДІМ АРОН».

REFERENCES

1. DSTU B V.2.7-305:2015. Bituminous mixture for roads building. General specifications. Introduction 2016-07-01. – К, 2016. – 48 p.
2. <https://aron.ua/fluxoil-v/>
3. <https://aron.ua/fluxoil-s-1/>

4. DSTU B V.2.7-119:2011. Asphaltic concrete mixtures road and aerodromes asphaltic concrete. Specifications. Introduction 2012-10-01. – К, 2012. – 55 p.
5. DSTU B V.2.7-306:2015. Road bituminous mixes. Test methods. Introduction 2016-07-01. – К, 2016. – 40 p.
6. SAFETY DATA SHEET. FluxOil V. – It. – 2020-03-18 – 4 p. – ACTIVA S.r.l.
7. SAFETY DATA SHEET. FluxOil S-1. – It. – 2021-02-15 – 4 p. – ACTIVA S.r.l.
8. FluxOil V. Additive / plasticizer for the production of cold asphalt concrete and bituminous mixtures. Technical description. – B. – 2020-03. – 4 p. – LLC «TRADE HOUSE ARON».
9. FluxOil S-1. Additive / plasticizer for the production of cold asphalt concrete and bituminous mixtures. Technical description. – B. – 2020-11. – 4 p. – LLC «TRADE HOUSE ARON».

РЕФЕРАТ

Невінгловський В.Ф. Досвід застосування пластифікаторів серії FluxOil для виробництва сумішей холодних бітумомінеральних дорожніх / В.Ф. Невінгловський, В.В. Стьожка, А.Ю. Шпиг, М.І. Шнайдер // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

У статті наведені технологічні принципи та підходи щодо практичного застосування пластифікаторів серії FluxOil для виробництва сумішей холодних бітумомінеральних дорожніх, з урахуванням трирічного виробничого досвіду під час зимового утримання автомобільних доріг загального користування, міських вулиць та доріг.

Об'єкт дослідження – суміші холодні бітумомінеральні дорожні.

Мета роботи – встановити вплив застосування пластифікаторів серії FluxOil на якість та технологічність сумішей холодних бітумомінеральних дорожніх, що вироблені на їх основі.

Метод дослідження – статистичний аналіз практичного застосування.

Найбільш розповсюдженими видами дефектів асфальтобетонних дорожніх покриттів є тріщини, вибоїни та колійність. Поява тріщин на асфальтобетонних дорожніх покриттях, з часом, під дією дощової та талої води, з урахуванням певної кількості циклів заморожування-відтавання в перехідні періоди року (осінь-зима та зима-весна), а також з урахуванням динамічних навантажень від дії коліс транспортних засобів, призводить до виникнення вибоїн.

Зимове утримання автомобільних доріг загального користування, міських вулиць та доріг є технологічно складнішим, у порівнянні з традиційними сезонними дорожньо-будівельними роботами. В першу чергу, це пов'язано із низькими температурами навколишнього середовища. У зв'язку із цим, під час зимового утримання, виникає технологічна потреба в застосуванні спеціальних дорожньо-будівельних матеріалів, таких як холодні асфальтобетонні та бітумомінеральні суміші, технологічний процес виробництва яких потребує особливої уваги, знань та виробничого досвіду.

Під час аналізу практичного застосування пластифікаторів серії FluxOil для виробництва сумішей холодних бітумомінеральних дорожніх, встановлено ряд технологічних принципів та підходів, що суттєво впливають на технологію виробництва сумішей холодних бітумомінеральних дорожніх, їхню якість, технологічність під час застосування при різних температурах навколишнього середовища, а також на їхню придатність в залежності від часу зберігання.

Результати статті можуть бути використані з метою співставлення на рівні з іншими технологічними підходами до виробництва сумішей холодних бітумомінеральних дорожніх, з комплексним урахуванням таких аспектів (факторів) як: технологічність, екологічність, безпечність, якість, собівартість та строк застосування (придатності).

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – пошук оптимальної технології виробництва сумішей холодних бітумомінеральних дорожніх для цілорічного ремонту з ліквідації вибоїн дорожніх покриттів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВИБОІНА, ЯМКОВИЙ РЕМОНТ, СУМІШ ХОЛОДНА БІТУМОМІНЕРАЛЬНА ДОРОЖНЯ, ПЛАСТИФІКАТОР, РУХОМІСТЬ, ПЛАСТИЧНІСТЬ, ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ, ЗЛЕЖУВАНІСТЬ.

ABSTRACT

Nevinhlovskiy V.F., Stozhka V.V., Shpyh A.Yu, Shnaider M.I. Experience in using FluxOil series plasticizers for the production of cold bitumen mineral road mixes. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article presents technological principles and approaches to the practical application of FluxOil series plasticizers for the production of cold bituminous road mixes, taking into account three years of production experience during the winter maintenance of public highways, city streets and roads.

The object of research is cold bituminous road mixes.

The purpose of the work is to establish the effect of the use of FluxOil series plasticizers on the quality and manufacturability of cold bituminous road mixes produced on their basis.

The research method is a statistical analysis of practical application.

The most common types of defects in asphalt concrete road surfaces are cracks, potholes and rutting. The appearance of cracks on road surfaces, over time, under the influence of rain and melt water, taking into account a certain number of freeze-thaw cycles in the transitional periods of the year (autumn-winter and winter-spring), as well as taking into account dynamic loads from the action of vehicle wheels, leads to the emergence of potholes.

Winter maintenance of public highways, city streets and roads is technologically more difficult, compared to traditional seasonal road construction works. First of all, this is due to low ambient temperatures. In this regard, during winter maintenance, there is a technological need for the use of special road construction materials, such as cold asphalt concrete and bituminous mixes, the technological process of which requires special attention, knowledge and production experience.

During the analysis of the practical application of FluxOil series plasticizers for the production of cold bituminous road mixes, a number of technological principles and approaches were established that significantly affect the production technology of cold bituminous road mixes, their quality, manufacturability when used at different ambient temperatures, as well as their suitability depending on the storage time.

The results of the article can be used for the purpose of comparison on a par with other technological approaches to the production of cold bituminous road mixes, with comprehensive consideration of such aspects (factors) as: manufacturability, environmental friendliness, safety, quality, cost and term of use (suitability).

Prognostic assumptions regarding the development of the research object – the search for the optimal technology for the production of cold bituminous road mixes for year-round repairs to eliminate potholes in road surfaces.

KEY WORDS: POTHOLE, POTHOLE REPAIR, COLD BITUMEN MINERAL ROAD MIXES, PLASTICIZER, MOBILITY, PLASTICITY, TECHNOLOGY, CONGEALABILITY.

АВТОРИ:

Невінгловський Вадим Федорович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: nevinglovskiy@ukr.net, тел. +380995464486, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 206, 218, <https://orcid.org/0000-0003-0113-1822>.

Стьожка Віталій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: styozhka@ukr.net, тел. +380977933036, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 206, 218, <https://orcid.org/0000-0002-5039-9852>.

Шпиг Альона Юріївна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного будівництва та управління майном, e-mail: alena-87@ukr.net, тел. +380988123982, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 325, <https://orcid.org/0000-0002-6909-7088>.

Шнайдер Михайло Ігорович, ТОВ «ТОРГОВИЙ ДІМ АРОН», директор, e-mail: office@aron.ua, тел. +380934307969, Україна, 07400, Київська обл., м. Бровари, вул. Гагаріна, 21-А., прим. 308, <https://orcid.org/0000-0001-7788-1158>.

AUTHOR:

Nevinhlovskiy Vadym F., Ph.D., National Transport University, associate professor of the department of transport construction and property management, e-mail: nevinglovskiy@ukr.net, tel. +380995464486,

Ukraine, 01010, Kyiv, Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka str. 1, of. 206, 218, <https://orcid.org/0000-0003-0113-1822>.

Stozhka Vitalii V., Ph.D., associate professor, National Transport University, associate professor of the department of transport construction and property management, e-mail: styozhka@ukr.net, tel. +380977933036, Ukraine, 01010, Kyiv, Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka str. 1, of. 206, 218, <https://orcid.org/0000-0002-5039-9852>.

Shpyh Alona.Yu., PhD, associate professor, National Transport University, associate professor department of transport construction and property management, e-mail: alena-87@ukr.net, tel. +380988123982, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka str. 1, of. 325, <https://orcid.org/0000-0002-6909-7088>.

Shnaider Mykhailo I., LLC «TRADE HOUSE ARON», director, e-mail: office@aron.ua, tel. +380934307969, Ukraine, 07400, Kyiv region, Brovary city, Gagarina str. 21-A., r. 308, <https://orcid.org/0000-0001-7788-1158>.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

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

Каськів В.І., кандидат технічних наук, доцент, ДП «ДерждорНДІ», заступник директора з наукової роботи, Київ, Україна.

REVIEWER:

Mozgovyi V.V., Ph.D., Technics, (Dr.), professor, National Transport University, Head of the department of road construction materials and chemistry, Kyiv, Ukraine.

Kaskiv V.I., Ph.D., Technics, associate professor, DerzhdorNDI SE, Deputy director on scientific work, Kyiv, Ukraine.

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ МАСОВИХ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН З ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ГАЗАМИ ТА ВИТРАТИ ПАЛИВА АВТОМОБІЛЯ З ДИЗЕЛЕМ НА МАТЕМАТИЧНІЙ МОДЕЛІ

Павловський М.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, maks.pavlovskiy@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0933-7326

RESULTS OF THE CALCULATION OF MASS EMISSIONS OF HARMFUL SUBSTANCES WITH EXHAUST GAS AND THE FUEL CONSUMPTION OF A DIESEL VEHICLE WITH THE USE OF A MATHEMATICAL MODEL

Pavlovskiy M., Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, maks.pavlovskiy@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0933-7326

Постановка завдання. Основними показниками для оцінювання викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами (ВГ) автомобіля з дизелем відповідно до діючого вітчизняного та міжнародних стандартів (Правила №83, 40, 47, 101 ЄЕК ООН), є масові викиди (г/км) оксиду вуглецю CO , оксидів азоту NO_x , суми оксидів азоту та вуглеводнів $C_mH_n + NO_x$ та частинок.

Викиди шкідливих речовин (ШР) з відпрацьованими газами, як правило, визначають експериментально на моделюючому роликовому стенді за методикою Правил №83 ЄЕК ООН. Таку інформацію можна також отримати розрахунково-експериментальним методом, розробленим на кафедрі «Двигуни та теплотехніка» Національного транспортного університету [1].

Мета статті – на основі отриманих коефіцієнтів поліноміальних залежностей витрати палива, повітря та концентрацій ШР у відпрацьованих газах двигуна для штатного та сумішевих палив розрахувати масові викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами та витрати палива при русі автомобіля за Європейським міським та заміським їздовими циклами (відповідно до Правил №83 ЄЕК ООН) за допомогою математичної моделі.

Виклад основного матеріалу. Користуючись розрахунково-експериментальним методом визначення масових викидів шкідливих речовин з ВГ в режимах їздових циклів експериментально на гальмівному стенді визначались енергетичні, паливо-економічні та екологічні показники роботи двигуна. Отриманні результати дослідження двигуна на гальмівному стенді при живленні штатним дизельним та сумішевими біодизельними паливами описані емпіричними поліноміальними залежностями A_i параметра від крутного моменту M_k та частоти обертання колінчастого валу двигуна n_o .

При обробці характеристик $A_i = f(M_k, n_o)$ отриманих при проведенні моторних випробувань дизеля VAG ASV 1.9Tdi на гальмівному стенді, концентрації шкідливих речовин A_i визначали безпосередньо у відпрацьованих газах двигуна. Метод безпосереднього аналізу відпрацьованих газів C_i (CO , C_mH_n , NO_x , N) є менш об'єктивним при оцінюванні токсичності двигуна автомобіля, ніж в розбавлених повітрях ВГ (передбачений Правилами №83 ЄЕК ООН), а норми викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами для кожного із методів різні [2], тобто їх не можна порівнювати. Несумірність масових викидів шкідливих речовин із ВГ дизеля, отриманих при визначенні концентрацій шкідливих речовин $C_i = f(M_k, n_o)$ в розбавлених та нерозбавлених відпрацьованих газах викликано: більш високою похибкою вимірювання концентрацій шкідливих речовин через меншу точність приладів при визначенні показників токсичності в нерозбавлених відпрацьованих газах, а при визначенні вуглеводнів $C_{C_mH_n}$ ще й різною методикою їх вимірювання (інфрачервоним або полум'яно-іонізаційним). Тому, розрахунковий метод оцінювання на математичній моделі параметрів за задалегідь визначеними їздовими циклами, які як найширше характеризують його режими руху в умовах експлуатації, дає змогу кількісно оцінити паливно-економічні та лише якісно – екологічні показники автомобіля, через несумірність методик їх визначення та норм викидів.

На проміжному етапі до остаточного введення Правил №83 ЄЕК ООН випробування автомобілів, проводили як за методом відбору проб, передбачених Правилами №15 ЄЕК ООН (відбір та аналіз нерозбавлених ВГ), так і за методикою Правил №83 (відбір та аналіз розбавлених ВГ), причому норми викидів оксиду вуглецю CO в середньому встановлювали на 20% більше, а сума вуглеводнів C_mH_n та оксидів азоту NO_x на 30% менше при визначенні їх в нерозбавлених, ніж в розбавлених ВГ.

Масові викиди ШР з відпрацьованими газами в перехідних режимах базуються на методиці миттєвого визначення частоти обертання колінчатого валу n_d , крутного моменту M_k , витрати палива G_n та повітря $G_{пов}$, які, як показали дослідження [3], близькі до відповідних показників, що описуються квазістатичними характеристиками.

Миттєві значення частоти обертання колінчатого валу n_d , крутного моменту M_k в перехідних процесах визначають за системою диференціальних рівнянь тягового балансу колісних транспортних засобів, алгебраїчних рівнянь, що описують паливний насос високого тиску та інше [4].

Розрахунок масових викидів ШР виконаний за методикою запропонованою в роботі [5].

В табл. 1 наведено результати розрахунку [6,7] на математичній моделі витрати палива в міському та заміському циклах (г/цикл, г/км, МДж/цикл, МДж/км). З результатів розрахунку видно, що витрата трикомпонентного сумішевого палива збільшується на величину дещо меншу, ніж зменшується теплота його згорання. Це пов'язано із більш високим ефективним коефіцієнтом корисної дії двигуна η_e при живленні трикомпонентним біодизельним паливом.

Масові викиди ШР з відпрацьованими газами двигуна при імітації руху автомобіля в режимах їздових циклів за роботи на штатному та трикомпонентному біодизельному паливі наведені в табл. 2.

Проаналізувавши результати розрахунку витрати палива при русі автомобіля Škoda Octavia 1.9Tdi обладнаного двигуном VAG ASV 1.9Tdi за роботи на штатному паливі встановлено, що витрата палива отримана в результаті розрахунку на математичній моделі практично співпадають із заводськими даними Škoda Auto a.s. (табл. 1).

Таблиця 1 – Витрата палива при імітації руху автомобіля Škoda Octavia 1.9Tdi за їздовими циклами

Table 1 – Fuel consumption when simulating the movement of the Škoda Octavia 1.9Tdi car by driving cycles

Паливо	Витрата палива					
	$G_{пал}$, г/цикл			$G_{пал}$, г/км		
	Міський цикл	Заміський цикл	Змішаний Цикл	Міський цикл	Заміський цикл	Змішаний цикл
Штатне ДП*	59,61	243,24	481,68	58,85	34,97	43,76
ДП + 10 % МЕРО**	59,80	244,59	483,76	59,03	35,17	43,95
ДП + 20 % МЕРО**	60,01	245,61	485,65	59,24	35,32	44,12
Норми заводу виробника	55,49	236,68	458,64	54,78	34,03	41,67
Різниця	6,9 %	2,8 %	4,8 %	6,9 %	2,8 %	4,8 %

*ДП – дизельне паливо

**МЕРО – метиловий ефір ріпакової олії

Витрата палива $G_n = f(M_k, n_d)$ розрахована на математичній моделі, що відтворює рух автомобіля в умовах міського руху за Європейським їздовим циклом на штатному паливі, становить $G_n = 58,85$ г/км, а фактична витрата палива на 1 км в міському циклі за даними заводу-виробника – $G_{пов} = 54,78$ г/км, що свідчить про адекватність поліноміальної залежності, яка описує $G_n = f(M_k, n_d)$. Різниця розрахункових та нормативних даних становить 4,8%.

Витрата палива в тепловому еквіваленті МДж/цикл та МДж/км (табл. 4.14) на виконання змішаного Європейського їздового циклу чи подолання 1 км шляху зменшується на 0,67 та 1,34% за роботи на трикомпонентному біодизельному паливі відповідно з 10 та 20% добавкою МЕРО у сумішевому паливі в порівнянні з штатним дизельним паливом.

Різниця розрахункових даних та заводу-виробника за роботи двигуна на штатному паливі не перевищує 6,9% для міського та 2,8% для заміського циклів, що свідчить про адекватність математичної моделі.

Аналіз розрахунку масових викидів ШР із відпрацьованими газами в умовах руху автомобіля в режимах Європейського їздового циклу свідчить (табл. 3), що при використанні 10- та 20 %-го трикомпонентного біодизельного палива (10- та 20% об'ємний вміст МЕРО у сумішевому паливі)

відбувається зниження масових викидів ШП із відпрацьованими газами оксидів вуглецю CO – 11,6% та 16,7% відповідно, вуглеводнів C_mH_n – 8,2% та 17,6%, оксидів азоту NO_x – 7,3% та 10,3%, частинок – 7,8% та 12,2%.

Таблиця 2 – Витрата палива при імітації руху автомобіля Škoda Octavia 1.9Tdi за їздовими циклами

Table 2 – Fuel consumption when simulating the movement of the Škoda Octavia 1.9Tdi car by driving cycles

Паливо	Міський цикл		Заміський цикл		Змішаний Цикл		Міський цикл		Заміський цикл		Змішаний цикл	
	МДж/цикл л	Різниця, %	МДж/цикл л	Різниця, %	МДж/цикл л	Різниця, %	МДж/цикл л	Різниця, %	МДж/цикл л	Різниця, %	МДж/цикл л	Різниця, %
Штатне ДП	2,54	–	10,34	–	20,49	–	2,50	–	1,487	–	1,86	–
ДП + 10 % МЕРО	2,52	-0,8	10,28	-0,6	20,35	-0,7	2,48	-0,8	1,479	-0,6	1,85	-0,7
ДП + 20 % МЕРО	2,5	-1,5	10,21	-1,2	20,21	-1,3	2,47	-1,5	1,470	-1,2	1,84	-1,3

Таблиця 3 – Масові викиди шкідливих речовин із відпрацьованими газами

Table 3 – Mass emissions of harmful substances with exhaust gases

Паливо	Оксид вуглецю CO		Вуглеводні C_mH_n		Оксиди азоту NO_x		Частинки		Масові викиди $G_{y_{CO}}$	
	г/цикл	змiна, %	г/цикл	змiна, %	г/цикл	змiна, %	г/цикл	змiна, %	умовн. г/цикл	змiна, %
Штатне ДП	0,5504	–	0,1616	–	0,6976	–	0,0425	–	38,23	–
ДП + 10 % МЕРО	0,4864	-11,6	0,1483	-8,2	0,6468	-7,3	0,0392	-7,8	35,38	-7,45
ДП + 20 % МЕРО	0,4583	-16,7	0,1332	-17,6	0,6255	-10,3	0,0373	-12,2	34,05	-10,93

Масові викиди $G_{y_{CO}}$ зменшуються на 7,45% та 10,93% за роботи на трикомпонентному біодизельному паливі (основні фізико-хімічні властивості яких ідентичні фізико-хімічним властивостям штатного дизельного палива) відповідно з 10 та 20% часткою МЕРО у суміші в порівнянні з штатним дизельним паливом.

Таким чином, забезпечення ідентичності основних фізико-хімічних властивостей сумішевих біодизельних палив до фізико-хімічних властивостей штатного дизельного палива дозволяє покращити паливно-економічні та енергетичні показники дизеля і зменшити масові викиди шкідливих речовин із ВГ [8].

Висновки.

Отримані коефіцієнти поліноміальних залежностей витрати палива, повітря та концентрацій ШП у відпрацьованих газах двигуна для штатного та сумішевих палив внесено до математичної руху автомобіля за Європейським міським та заміським їздовими циклами (відповідно до Правил №83 СЕК ООН).

Розрахунок на математичній моделі витрати палива при русі автомобіля Škoda Octavia 1.9Tdi обладнаного двигуном VAG ASV 1.9Tdi за модифікованим Європейським їздовим циклом за роботи на штатному паливі становить 481,68 г/цикл, а за нормативними даними заводу-виробника – 458,64

г/цикл. Різниця розрахункових та нормативних даних витрати палива становить 4,8%, що свідчить про адекватність математичної моделі.

Аналіз розрахунку масових викидів ШР з відпрацьованими газами при русі автомобіля в режимах модифікованого Європейського їздового циклу свідчить про те, що при використанні 10- та 20%-го трикомпонентного біодизельного палива відбувається зменшення масових викидів ШР із відпрацьованими газами оксидів вуглецю CO – 11,6% та 16,7% відповідно, вуглеводнів C_mH_n – 8,2% та 17,6%, оксидів азоту NO_x – 7,3% та 10,3%, частинок – 7,8% та 12,2% відповідно.

Витрата палива на подолання 1 км шляху в порівнянні з штатним дизельним паливом в тепловому еквіваленті МДж/км зменшується на 0,67% та 1,34% за роботи на трикомпонентному біодизельному паливі відповідно з 10% та 20% часткою МЕРО у сумішевому паливі.

За роботи двигуна на трикомпонентному біодизельному паливі з 10 та 20% часткою МЕРО у суміші, масові викиди G_{yco} зменшуються на 7,45% та 10,93% в порівнянні з штатним дизельним паливом.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов и расхода топлива двигателями автомобилей путём оптимизации эксплуатационных факторов: Дисс. д-ра техн. наук: 05.04.02, 05.22.10 – Киев, 1985. – 538 с.

2. 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.

3. Говорун А.Г., Павловський М.В., Куций П.В. Про деякі особливості використання біодизельного палива в автомобільних дизелях з турбонаддувом // Автошляховик України Вип. 2(214). – березень-квітень 2010. – С. 18 – 20.

4. Говорун А.Г., Корпач А.О., Павловський М.В. Уточнена математична модель руху автомобіля з дизелем обладнаним газотурбінним наддувом та електронним регулятором частоти обертання // Вісник Національного транспортного університету: В 2-х частинах: Ч.1. –К.:НТУ, 2010. – Випуск 21. – С. 113-118.

5. Мержиєвська Л.П. Покращення паливної економічності і зменшення шкідливих викидів автомобілів раціональним регулюванням бензинових двигунів: Дис. канд. техн. наук: 05.22.10. – К.:УТУ. – 1998 – 247 с.

6. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 41342 Україна. Науковий твір «Математична модель розрахунку екологічних, енергетичних показників та паливної економічності автомобіля з дизелем із турбонаддувом та електронним регулятором частоти в режимах руху Європейським їздовим циклом за роботи на штатному та біодизельному паливах» / Ю.Ф.Гутаревич, А.Г.Говорун, А.О.Корпач, М.В.Павловський, З.І.Краснокутська (Україна). – № 41559; заявл. 13.10.2011; зареєстр. 12.12.2011.

7. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 41341 Україна. Науковий твір «Результати розрахунку на математичній моделі екологічних показників та паливної економічності автомобіля з дизелем із турбонаддувом та електронним регулятором частоти в режимах руху Європейським їздовим циклом за роботи на штатному та біодизельному паливах» / Ю.Ф.Гутаревич, А.Г.Говорун, А.О.Корпач, М.В.Павловський, З.І.Краснокутська (Україна). – № 41558; заявл. 13.10.2011; зареєстр. 12.12.2011.

8. Корпач А.О., Павловський М.В. Визначення впливу сумішевих біодизельних палив на економічні, енергетичні та екологічні показники дизеля // Systemy i środki transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Politechnika rzeszowska, 2010 – с. 119-122.

REFERENCES

1. Gutarevich Yu. F. (1985) Snizhenie vrednyh vibrosov i rashoda topliva dvigatelyami avtomobiley putem optymyzatsiyi ekspluatatsyonnykh faktorov [Reducing harmful emissions and fuel consumption of car engines by optimizing operating factors]. *Doctor's thesis*. Kiev: KADI [in Russian]

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

3. Hovorun A.G., Pavlovskyi M.V., Kutsyi P.V. (2010) Pro deiaki osoblyvosti vykorystannia biodyzelnoho palyva v avtomobilnykh dyzeliakh z turbonadduvom [About some features of the use of biodiesel fuel in automotive diesel engines with turbocharging] *Avtoshliakhovyk Ukrainy*, no. 2(214). pp. 18-20. [in Ukrainian]

4. Hovorun A.G., Korpach A.O., Pavlovskiy M.V. (2010) Utochnena matematychna model rukhu avtomobilia z dyzelem obladnanyim hazoturbinnym nadduvom ta elektronnym rehulatorom chastoty obertannia [A refined mathematical model of the movement of a car with a diesel engine equipped with a gas turbine pressurization and an electronic speed controller]. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu* [Bulletin of National Transport University], vol. 1, issue 23, pp. 113-118. [in Ukrainian]

5. Merzhyievska L.P. (1998) Pokrashchennia palyvnoi ekonomichnosti i zmenshennia shkidlyvykh vykydiv avtomobiliv ratsionalnym rehuliuivanniam benzynovykh dvyhuniv [Improving fuel efficiency and reducing harmful emissions of cars by rationally regulating gasoline engines]. *Candidate's thesis*. Kyiv: UTU [in Ukrainian]

6. Gutarevich Yu. F., Hovorun A.G., Korpach A.O., Pavlovskiy M.V., Krasnokutska Z.I. (2011) *Matematychna model rozrakhunku ekolohichnykh, enerhetychnykh pokaznykiv ta palyvnoi ekonomichnosti avtomobilia z dyzelem iz turbonadduvom ta elektronnym rehulatorom chastoty v rezhymakh rukhu Yevropeiskym yizdovym tsyklom za roboty na shtatnomu ta biodyzelnomu palyvakh* [Mathematical model for calculating the environmental, energy performance and fuel efficiency of a car with a turbocharged diesel engine and electronic frequency control in driving modes of the European driving cycle using standard and biodiesel fuels]. Certificate of registration of copyright for the work UA№ 41559. [in Ukrainian]

7. Gutarevich Yu. F., Hovorun A.G., Korpach A.O., Pavlovskiy M.V., Krasnokutska Z.I. (2011) *Rezultaty rozrakhunku na matematychnii modeli ekolohichnykh pokaznykiv ta palyvnoi ekonomichnosti avtomobilia z dyzelem iz turbonadduvom ta elektronnym rehulatorom chastoty v rezhymakh rukhu Yevropeiskym yizdovym tsyklom za roboty na shtatnomu ta biodyzelnomu palyvakh* [The results of the calculation using a mathematical model of environmental performance and fuel efficiency of a car with a turbocharged diesel engine and electronic frequency control in the driving modes of the European driving cycle using regular and biodiesel fuels] Certificate of registration of copyright for the work UA№ 41558. [in Ukrainian]

8. Korpach A.O., Pavlovskiy M.V. (2010) *Vyznachennia vplyvu sumishevykh biodyzelnykh palyv na ekonomichni, enerhetychni ta ekolohichni pokaznyky dyzelia* [Determination of the influence of mixed biodiesel fuels on the economic, energy and environmental performance of a diesel engine]. *Systemy i shrodky transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia*. Politechnika rzeszowska., pp. 119-122. [in Ukrainian]

РЕФЕРАТ

Павловський М.В. Результати розрахунку масових викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами та витрати палива автомобіля з дизелем на математичній моделі / М.В. Павловський, // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

В статті розглянуто напрям поліпшення екологічних показників автомобілів з сучасними дизелями, що перебувають в експлуатації, системним поетапним переходом з живлення дизелів штатним паливом на живлення альтернативними видами палив.

Об'єкт досліджень – вплив сумішевих біодизельних палив на паливно-економічні, екологічні та енергетичні показники автомобіля з дизелем.

Метою досліджень є розширення паливної бази автомобільного транспорту при використанні альтернативних видів палива.

Методи дослідження – експериментально-розрахункові.

Поліпшення екологічних показників автомобілів з сучасними дизелями, обладнаних електронною системою управління, регульованим газотурбінним наддувом, системою рециркуляції відпрацьованих газів та електронною системою регулювання частоти обертання колінчастого валу можливе забезпеченням виконання вимог нормативних документів системним поетапним переходом з живлення дизелів штатним паливом на живлення альтернативними видами палив, а саме добавок метилового ефіру ріпакової олії до штатного дизельного палива. Формування такого переходу повинно відбуватися на підставі наукових досліджень та наявного досвіду щодо використання альтернативних палив.

Оптимізація фізико-хімічних властивостей сумішевих біодизельних палив є одним із ефективних шляхів зниження токсичності відпрацьованих газів та поліпшення паливної економічності. Це досягається як забезпеченням необхідних фізико-хімічних властивостей сумішевих біодизельних палив, так і звуженням їх меж зміни, тобто адаптацією цих палив до дизелів, що перебувають в експлуатації. Таким чином, оптимізація фізико-хімічних властивостей сумішевих біодизельних палив дає можливість покращити ефективність його використання в сучасних дизелях, а також зменшити викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами.

Результати статті можуть бути використанні як рекомендації при підготовці та застосуванні сумішевих біодизельних палив для автомобільного транспорту.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДИЗЕЛЬ, АЛЬТЕРНАТИВНІ ПАЛИВА, БІОДИЗЕЛЬНІ ПАЛИВА, МЕТИЛОВИЙ ЕФІР РІПАКОВОЇ ОЛІЇ, ПАЛИВНА ЕКОНОМІЧНІСТЬ, ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ.

ABSTRACT

Pavlovskiy M.V. Results of the calculation of mass emissions of harmful substances with exhaust gas and the fuel consumption of a diesel vehicle with the use of a mathematical model. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The tendency of improving the environmental performance of cars with modern diesel engines in use, systemic gradual transition from regular supply of diesel fuel to power alternative fuel types are examined in the article.

The object of research – the impact of mixed biodiesel fuels for fuel-economic, environmental and energy performance car with a diesel engine.

The purpose of research is to expand the fuel base of motor transport using alternative fuels.

Research methods are experimental-calculated.

Improving the environmental performance of cars with modern diesel engines equipped with an electronic control system, controlled gas turbine boost, an exhaust gas recirculation system and an electronic crankshaft speed control system, it is possible to ensure that the requirements of regulatory documents are met by a systemic phased transition from diesel power supply namely rapeseed oil methyl ester additives to regular diesel fuel. The formation of such a transition should take place on the basis of scientific research and experience in the use of alternative fuels.

Optimization of the physical and chemical properties of mixed biodiesel fuels is one of the effective ways to reduce exhaust emissions and improve fuel economy. This is achieved by providing both the necessary physical and chemical properties of mixed biodiesel fuels, and narrowing their boundaries change, i.e. adaptation of fuels to diesel engines in use. Therefore, optimization of physical and chemical properties of mixed biodiesel fuels makes it possible to improve the efficiency of its use in modern diesel engines and reduce emissions of harmful substances from exhaust gases.

The results of the article can be used as guidelines in the preparation and usage of mixed biodiesel fuels for road transport.

KEY WORDS: DIESEL, ALTERNATIVE FUEL, BIODIESEL, RAPESEED OIL METHYL ESTERS, FUEL ECONOMY, ENVIRONMENTAL PERFORMANCE.

АВТОРИ:

Павловський Максим Вікторович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів і автосервісу, e-mail: maks.pavlovskiy@gmail.com, тел. +38 067 548 29 90, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленко 1, к.111. orcid.org/0000-0002-0933-7326

AUTHORS:

Pavlovskiy Maksym V., Ph.D. in Technical Science, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, e-mail: maks.pavlovskiy@gmail.com, tel. +38 067 548 29 90, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka str. 1, k.111. orcid.org/0000-0002-0933-7326

РЕЦЕНЗЕНТИ:

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

Клименко О. А., доктор технічних наук, доцент, заступник директора з наукової роботи ДП «ДержавтотрансНДІпроект», дійсний член Транспортної академії України, Київ, Україна.

REVUEWER:

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

Klymenko O.A., PhD, Engineering (Dr.), Associate Professor, Deputy Director for Scientific Work of DerzhavtotransNDIproekt, Full Member of the Transport Academy of Ukraine

ВИКОРИСТАННЯ ДОБАВКИ ВОДНЕВМІСНОГО ГАЗУ В ДВИГУНАХ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА ЗРІДЖЕНОМУ НАФТОВОМУ ГАЗІ

Панін М.І., Національний транспортний університет, Київ, Україна, mikolapanin@gmail.com, orcid.org/ 0000-0003-4857-4583

Самойленко І.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, samoilenko.iv@gmail.com, orcid.org/ 0000-0003-1413-1338

USE OF THE ADDITIVE OF HYDROGEN-CONTAINING GAS IN ENGINES OPERATING ON LIQUEFIED PETROLEUM GAS

Panin M. I., National Transport University, Kyiv, Ukraine, mikolapanin@gmail.com, orcid.org/ 0000-0003-4857-4583

Samoilenko I.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, samoilenko.iv@gmail.com, orcid.org/ 0000-0003-1413-1338

1. Вступ

При спалюванні викопних палив виділяються шкідливі забруднюючі речовини, які мають негативний вплив як на здоров'я людей, так і на навколишнє середовище. Глобальне потепління є одним із наслідків спалювання традиційних палив. Ця проблема з особливою увагою досліджується науковому спільноті. Багато досліджень вказують на надмірне скупчення вихлопних газів в атмосфері, які і можуть привести до глобального потепління. Основними джерелами вихлопних газів є галузь машинобудування та транспортні засоби.

Зростання цін на палива нафтового походження, підвищення рівня обізнаності про екологічні проблеми, занепокоєння щодо енергетичної безпеки, жорсткіші норми щодо викидів забруднюючих речовин двигуном та його споживання – все це спонукає до знаходження альтернативних джерел енергії, які в майбутньому зможуть замінити традиційні. Проводяться дослідження, в рамках яких вчені намагаються без значних конструкційних змін адаптувати традиційні двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) для роботи на альтернативних паливах.

Як альтернативне паливо для ДВЗ з іскровим запалюванням можна використовувати зріджений нафтовий газ (ЗНГ), який має менший вміст вуглецю, ніж бензин. Використовуючи ЗНГ у двигуні з іскровим запалюванням, утворюється порівняно мала кількість твердих часток, СО і помірна кількість викидів C_mH_n . Однак, в порівнянні з бензином, спостерігається помітне зменшення потужності двигуна при роботі на зрідженому нафтовому газі.

В цій статті розглянуті дослідження, в яких описується використання добавки водневмісного газу (H_2/O_2) для поліпшення показників роботи двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) з іскровим запалюванням, який працює на зрідженому нафтовому газі.

Мета роботи. Аналіз літературних джерел щодо використання добавки водневмісного газу для поліпшення показників роботи ДВЗ з іскровим запалюванням, який працює на зрідженому нафтовому газі.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження було проведено шляхом вивчення і аналізу закордонних літературних джерел, що присвячені використанню добавки водневмісного газу для поліпшення показників роботи ДВЗ з іскровим запалюванням, який працює на зрідженому нафтовому газі.

2. Виклад основного матеріалу

Зріджений нафтовий газ – це суміш, що складається з легкоконденсуючих при стисненні газоподібних вуглеводнів. Їх основними компонентами є пропан і бутан. Для того, щоб автомобіль працював на газовому паливі, необхідно виконати його переобладнання, встановивши газобалонне обладнання (ГБО). Останнім часом багато водіїв переобладнують свої транспортні засоби для роботи на ЗНГ. І для цього є причини. Згідно багатьох досліджень, викиди забруднюючих речовин від

транспортних засобів, що працюють на ЗНГ, нижчі в порівнянні з роботою на бензині. Наприклад, в роботі [1] проведено порівняння викидів забруднюючих речовин від бензину та зрідженого нафтового газу. Дослідження проводилися на автомобілі з двигуном OPEL ECOTEC, об'єм двигуна становив 1800 куб. Автомобіль був переобладнаний для роботи як на бензині, так і на ЗНГ. Двигун працював на бензині та автоматично переключався на ЗНГ після 25 секунд роботи, температура охолоджуючої рідини в двигуні становила не менше 40°C. Паливо двигуна змінювали за допомогою перемикача. Результати показали зменшення викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами при використанні ЗНГ в порівнянні з бензином, а саме:

- У міському циклі викиди CO, C_mH_n , NO_x і CO_2 зменшилися до 30%, 30%, 41% і 10% відповідно.
- За містом викиди CO, C_mH_n , NO_x і CO_2 зменшилися до 10%, 51%, 77% і 11% відповідно.

Варто зазначити, що на відміну від бензинових двигунів, які характеризуються значним рівнем викидів шкідливих речовин під час прогріву, рівень викидів із ЗНГ залишається майже без змін незалежно від його теплового стану. Випаровування ЗНГ під час розширення у разі виходу з форсунки в камері згоряння двигуна не змиває масло зі стінок циліндрів і не розбавляє його під час розігріву двигуна. До головних переваг застосування ЗНГ в якості моторного палива належить і те, що ЗНГ зберігається на борту ТЗ під невеликим тиском (до 1,6 МПа) і має достатньо низьку вартість в порівнянні з бензином.

Все перераховане робить переобладнання транспортних засобів на ЗНГ вигідним як з екологічної, так і з економічної точки зору, однак спостерігається зниження максимальної потужності двигуна та незначне погіршення тягово-швидкісних показників. Щоб поліпшити зазначені показники, необхідно впроваджувати додаткові заходи. До таких відносять використання добавки, яка має в своєму складі водень.

За останні кілька років було проведено багато досліджень водню H_2 в якості альтернативного заміника. Енергоємність водню перевищує нафтові палива в 2.5...3 рази. Водень у суміші з повітрям спалахує у широкому діапазоні до коефіцієнту надміру повітря рівному 10. При згорянні водню практично не утворюються C_mH_n , CO та CO_2 , але при деяких складах водневоповітряної суміші можуть утворюватися оксиди азоту. Разом з тим, використання водню обмежене певними факторами, основним з яких є безпека зберігання. У зв'язку з цим постійно ведеться пошук способів замінити водень на дешевший газ, технологія виробництва якого простіша і легко адаптується для масового виробництва.

Безпечніше використовувати водневмісний газ H_2/O_2 як добавку до повітряного заряду. Такий газ отримують в результаті електролізу водних розчинів лугів. Існує багато наукових досліджень, які присвячені поліпшенню характеристик ДВЗ, які працюють на бензині або дизельному паливі, за допомогою використання водню або водневмісних сполук [2-5]. Але в межах даної роботи особливу увагу буде виділено саме використанню добавки водневмісного газу для поліпшення показників роботи ДВЗ з іскровим запалюванням, який працює на зрідженому нафтовому газі.

В роботі [6] наведені результати досліджень по використанню добавки водневмісного газу для покращення характеристик ЗНГ. Встановлено, що температуру самозаймання та температуру в кінці згоряння ЗНГ можна знизити за допомогою навіть невеликої кількості H_2/O_2 . Температури згоряння об'ємної частки ЗНГ на початку та в кінці згоряння знизяться до 40 °C та 37 °C відповідно, якщо співвідношення H_2/O_2 /ЗНГ буде рівне 0.05. Щоб початкова та кінцева температури знизились на 130 °C та 140 °C, співвідношення H_2/O_2 /ЗНГ повинно бути рівне 2.5. Встановлено, що добавка H_2/O_2 допомагає зменшити концентрацію CO в широкому діапазоні температур.

Дослідження впливу добавки водневмісного газу H_2/O_2 на показники двигуна з іскровим запалюванням, що працює на бензині і на зрідженому нафтовому газі, проведено в роботі [7]. Випробування проведено при різних швидкісних режимах холостого ходу. Встановлено, що добавка H_2/O_2 призводить до зниження витрати бензину і ЗНГ та зменшення викидів шкідливих речовин.

Проводилися дослідження впливу зміни експлуатаційних характеристик автомобіля на інтенсивність утворення ним викидів шкідливих речовин [8]. Для експерименту використовували двигун, який працював на бензині, ЗНГ та суміші ЗНГ- H_2/O_2 . Результати експерименту показали, що завдяки суміші ЗНГ- H_2/O_2 вдалось зменшити викиди CO на 21% та 48.1%, в порівнянні з роботою на ЗНГ та бензині відповідно. Викиди CO_2 при роботі на ЗНГ- H_2/O_2 зменшились в середньому на 9% в порівнянні з роботою на ЗНГ. Окрім того, завдяки суміші ЗНГ- H_2/O_2 концентрація незгорілих

вуглеводнів, в порівнянні з роботою на ЗНГ, зменшилась на 21.8%. Однак викидів NO_x при роботі на суміші ЗНГ- H_2/O_2 було на 16.1% більше, ніж при ЗНГ.

Дослідження впливу добавки H_2/O_2 на роботу одноциліндрового двигуна 150сс, який живиться бензином та зрідженим нафтовим газом, проведено в роботі [9]. В обох випадках добавка H_2/O_2 призвела до зменшення витрати палива та зменшення викидів шкідливих речовин. Встановлено, що завдяки добавці водневмісного газу витрата палива знижується, в порівнянні з роботою на бензині та ЗНГ, на 9.6% та 15.7% відповідно.

Передчасне запалювання паливо-повітряної суміші здатне спричинити детонацію в ДВЗ, підвищити його шумність та зменшити потужність. І щоб зменшити вірогідність появи таких негативних наслідків, в роботі [10] використовували зріджений нафтовий газ з добавкою водневмісного газу. В результаті додавання H_2/O_2 встановлено зменшення витрати палива на 20% в порівнянні з роботою на звичайному ЗНГ. Спостерігалось зменшення викидів таких шкідливих речовин, як CO та C_mH_n , а також збільшення потужності двигуна на 5.7%.

В роботі [11] проводився аналіз альтернативних палив, які утворюють невеликі концентрації викидів шкідливих речовин. Для експерименту використали одноциліндровий двигун 150сс в різних навантажувальних режимах. Встановлено, що обидві суміші ЗНГ- H_2/O_2 та бензин- H_2/O_2 призводять до зменшення витрати палива та викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами.

В роботі [12] досліджували вплив суміші ЗНГ- H_2/O_2 на роботу двигуна з іскровим запалюванням. Результати показали, що добавка газу ННО підвищила термічний ККД двигуна на 13 % і зменшила витрату палива на 11 %. Газ H_2/O_2 знизив вміст CO на 9 % і C_mH_n на 21 % . Викиди NO_x збільшилися на 6.5 %.

Далі більш детально розглянуто дослідження, де в якості палива для двигуна використовували ЗНГ з добавкою водневмісного газу до повітряного заряду. На рис. 1 показана експериментальна установка, яку використовували в роботі [13], щоб дослідити вплив ЗНГ та добавки водневмісного газу до повітряного заряду.

До 4-тактного, одноциліндрового двигуна 219 сс був приєднаний динамометр DYNOMITE. Для згорання в тестовому двигуні використано три палива з різними властивостями, а саме бензин, ЗНГ та комбінація ЗНГ- H_2/O_2 .

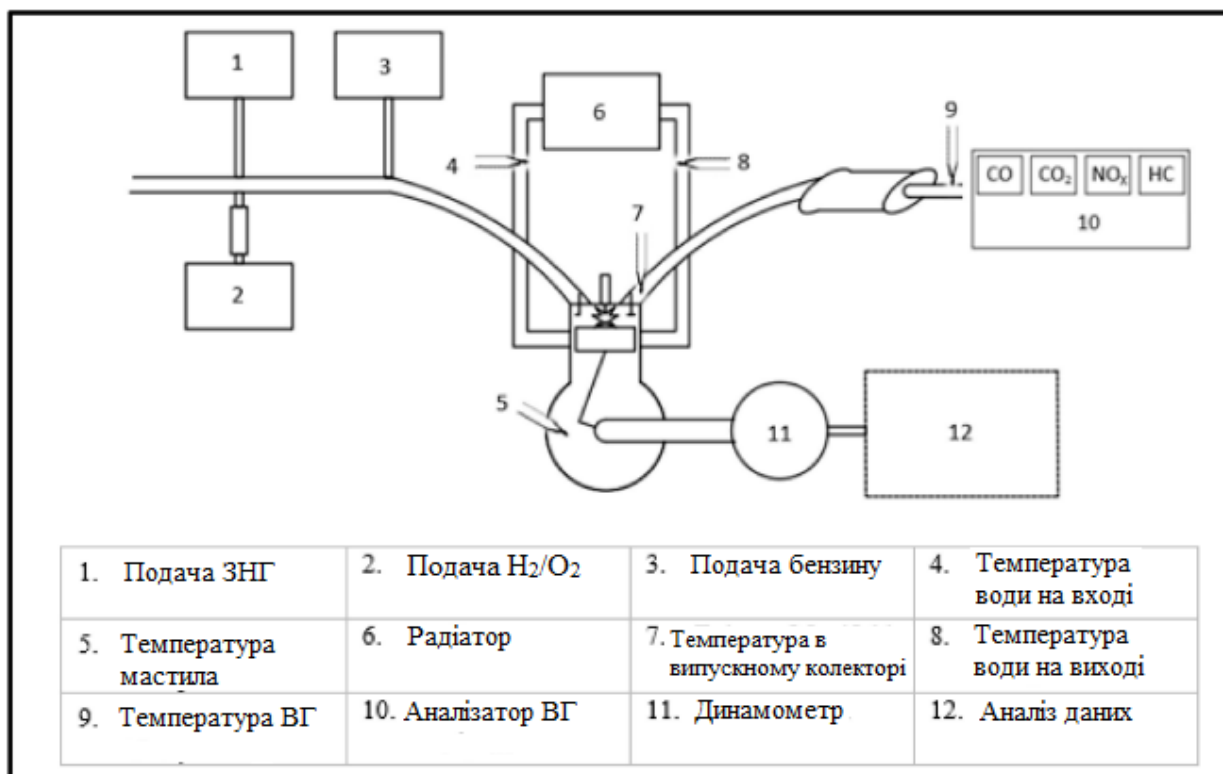


Рисунок 1 – Експериментальна установка [13]

Figure 1 – Schematic of experimental set-up [13]

Вчені використовували різні методи, щоб визначити витрату палива. За допомогою вимірювального циліндру об'ємом 1000 мл вдалось визначити витрату бензину. Цифрова машина для вимірювання ваги допомогла зафіксувати споживання зрідженого газу, а газовий ротаметр визначив споживання H_2/O_2 у стандартних кубічних футах на годину (scfh). Крім того, H_2/O_2 безперервно подавався до випробувального двигуна зі швидкістю потоку 10 scfh (4.72 л/хв) для суміші LPG- H_2/O_2 .

В табл. 1 наведені властивості палив, які вчені використовували в роботі.

Таблиця 1 – Властивості палив, які використовувалися в дослідженні [13]

Table 1 – Test fuels properties a employed in study [13]

Назва параметру	Бензин	ЗНГ	H_2/O_2
Фізичний стан	рідина	газ	газ
Октанове число за дослідним методом	97	103	Більше 130
Теплота згоряння, МДж/кг	46	46.1	120
Співвідношення повітря-паливо	14.7	17.2	34
Густина при 15.48°С, кг/л	0.73	0.00189	8.27×10^{-5}

Враховуючи можливий ризик і небезпеку використання H_2/O_2 , вчені вжили відповідні запобіжні заходи. Витяжні та впускні канали експериментальної лабораторії забезпечували достатню вентиляцію, щоб запобігти концентрації H_2/O_2 в одній точці. Крім того, в лабораторії був встановлений водневий сигналізатор з метою своєчасного попередження про будь-який витік H_2/O_2 . Крім того, для запобігання будь-якому зворотному потоку H_2/O_2 , який може стати джерелом шкоди, використовувався пластиковий міні-запірний клапан Viton 0.250 із здатністю зворотного тиску понад 0.3 МПа. Блок генерації H_2/O_2 , який використовувався, складався з пластин з нержавіючої сталі (316L) і електролітичної солі КОН в концентрації 6 г/л.

На рис. 2 наведено зміни питомої витрати палива, використовуючи бензин, ЗНГ та ЗНГ+ H_2/O_2 .

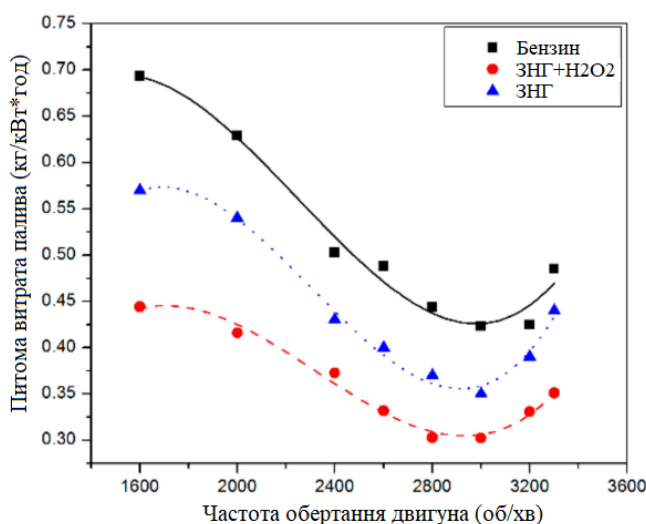


Рисунок 2 – Зміна питомої витрати палива в залежності від типу палива [13]

Figure 2 – Comparisons of specific fuel consumption and engine speed for gasoline, LPG and LPG-H₂O₂ blend [13]

Спостерігається поліпшення паливної економічності при використанні добавки водню до ЗНГ, якщо порівнювати з роботу двигуна на звичайному ЗНГ. Це вказує на більш ефективну експлуатацію

двигуна. В порівнянні з бензином та зрідженим нафтовим газом, питома витрата палива при роботі на ЗНГ + H_2/O_2 менша на 42% та 17% відповідно. Далі на рис. 3 показано, як змінюються викиди забруднюючих речовин в залежності від типу палива.

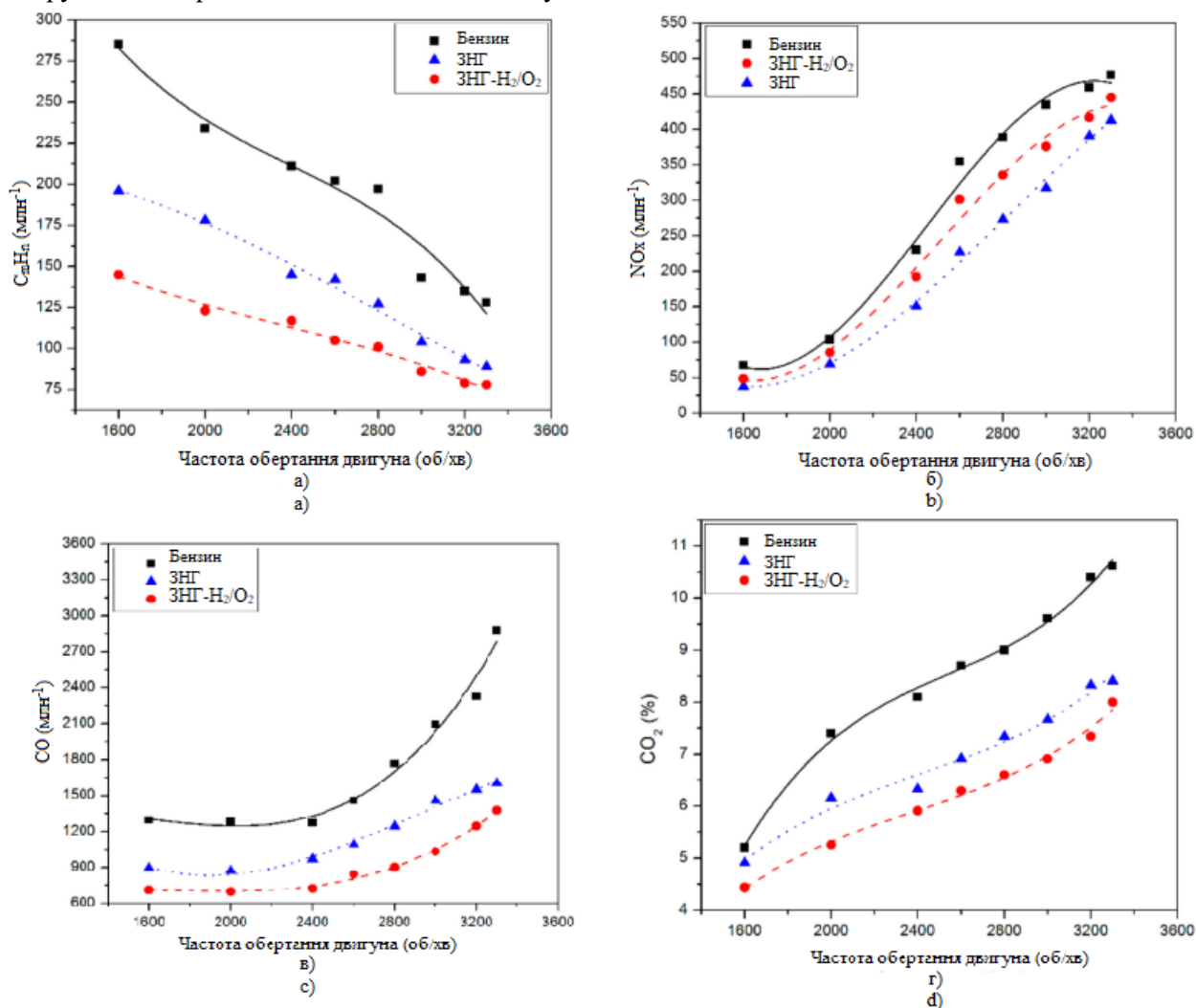


Рисунок 3 (а-г) – Зміна C_mH_n , NO_x , CO та CO_2 в залежності від типу палива[13]
Figure 3 (a-d) – Comparison of C_mH_n , NO_x , CO and CO_2 for gasoline, LPG and LPG-HHO [13]

Окис вуглецю – нестійка хімічна сполука, легко вступає в реакцію з киснем, у результаті якої утворюється двоокис вуглецю CO_2 . Незгорілі вуглеводні утворюються при запізненні займання робочої суміші в двигуні або при знижених температурах в камері згоряння. Стало відомо, що порівнянні з бензином та ЗНГ викиди CO при роботі на суміші ЗНГ- H_2/O_2 зменшились на 21% і 48.1% відповідно. При використанні H_2/O_2 викиди CO_2 та вуглеводнів C_mH_n зменшилися на 9% та 21.8% відповідно, якщо порівнювати зі зрідженим нафтовим газом. Однак при використанні суміші ЗНГ- H_2/O_2 викидів NO_x стало на 16.1% більше, ніж при ЗНГ. Викиди NO_x збільшились в результаті утворення високої температури в камері згоряння.

Висновки. Розглянуто відомі на даний момент дослідження щодо використання добавки водневмісного газу для поліпшення показників роботи ДВЗ з іскровим запалюванням, який працює на зрідженому нафтовому газі. Встановлено, що добавка водневмісного газу має позитивний вплив на потужність двигуна при роботі на ЗНГ, але даний аспект потребує додаткових досліджень у майбутньому. При використанні ЗНГ з добавкою водневмісного газу поліпшуються екологічні показники ДВЗ. Концентрація C_mH_n , NO_x , CO та CO_2 дещо зменшуються в порівнянні з бензином. Не дивлячись на достатні переваги використання ЗНГ з добавкою водневмісного газу до повітряного заряду перед бензином, поки досконало не розглянута економічна доцільність використання установки для генерування H_2/O_2 .

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. T. Tasic, P. Pogorevc, and T. Brajlilih, "Gasoline and Exhaust Emission Comparison," *Adv. Prod. Eng. Manag.*, vol. 6, no. 2, pp. 87–94, 2011.
2. Ganesh Kerkal, Krishna Pawale, Amol Dhumal, "Diesel Engine with Hydrogen in Dual Fuel Mode: A Review" *IJRASET journal*, ISSN 2321-9653 Vol.05, Issue 5, , May-2017, Pages: 1306-1311.
3. Lokanath M, Eswar balachandar G, Ramanjaneyulu. B, M. Venkata Subbaiah, A. H. Kiran Teja, "Performance of diesel engine by adding secondary fuel as HHO" *JMCMS journal*, ISSN 2454-7190 Vol.15, No. 9, , September-2020, Pages: 142-153.
4. Prasad Kumar Putha, "Performance of I.C Engines using HHO GAS" *IJSETR journal*, ISSN 2319-8885 Vol.04, Issue.16, , June-2015, Pages:2994-2998.
5. Dhananjay Babariya, Jay Oza, Bhavin Hirani, Gaurang Akbari "An Experimental Analysis Of S.I Engine Performance With HHO As A Fuel" *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology* eISSN: 2319-1163 pISSN: 2321-7308 Volume: 04 Issue: 04 ,Apr-2015.
6. . Muhammad Saad Khan, Z. Bin Hassan, and A. Iqbal, "Influence Of Hydrogen Peroxide on Liquefied Petroleum Gas (LPG) Performance," in *National Conference on Postgraduate Research (NCON-PGR)* 2009, 2009, no. October, pp. 107–113.
7. Characteristics of engine at various speed conditions by mixing of hho with gasoline and lpg / Rajasekaran T., Duraiswamy K., Bharathiraja M. and Poovaragavan S. // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* VOL. 10, NO. 1, JANUARY 2015 pp. 46 – 51.
8. Usman, M.; Farooq, M.; Naqvi, M.; Saleem, M.W.; Hussain, J.; Naqvi, S.R.; Jahangir, S.; Usama, H.M.J.; Idrees, S.; Anukam, A. Use of Gasoline, LPG and LPG-HHO Blend in SI Engine: A Comparative Performance for Emission Control and Sustainable Environment. *Processes* 2020, 8, 74.
9. Rajasekaran T., Duraiswamy K., Bharathiraja M., Poovaragavan S. Characteristics of engine at various speed conditions by mixing of HHO with gasoline and LPG. *Journal of Engineering and Applied Sciences* 2015; 10 (1): 46-51.
10. V. J. Ananth Vino and Ap, "HHO assisted LPG Engine," *Int. J. Comput. Trends Technol.*, vol. 3, p. 6, 2012.
11. T. Rajasekaran, K. Duraiswamy, M. Bharathiraja, and S. Poovaragavan, "Characteristics of engine at various conditions by mixing of HHO with gasoline and LPG," *J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 1, pp. 46-51, 2015.
12. Çakmak, A., Girisen, A.R. and Ozcan, H., "Effects of hydroxy gas addition on the performance and emission characteristics of liquefied petroleum gas-powered lean-operated spark-ignition engine", *SAE International Journal of Fuels and Lubricants*, Vol. 14, No. 1, (2021), 41-54.
13. Usman, M.; Farooq, M.; Naqvi, M.; Saleem, M.W.; Hussain, J.; Naqvi, S.R.; Jahangir, S.; Jazim Usama H.M.; Idrees, S.; Anukam, A. Use of Gasoline, LPG and LPG-HHO Blend in SI Engine: A Comparative Performance for Emission Control and Sustainable Environment. *Processes* 2020, 74, 15.

REFERENCES

1. T. Tasic, P. Pogorevc, and T. Brajlilih, "Gasoline and Exhaust Emission Comparison," *Adv. Prod. Eng. Manag.*, vol. 6, no. 2, pp. 87–94, 2011.
2. Ganesh Kerkal, Krishna Pawale, Amol Dhumal, "Diesel Engine with Hydrogen in Dual Fuel Mode: A Review" *IJRASET journal*, ISSN 2321-9653 Vol.05, Issue 5, , May-2017, Pages: 1306-1311.
3. Lokanath M, Eswar balachandar G, Ramanjaneyulu. B, M. Venkata Subbaiah, A. H. Kiran Teja, "Performance of diesel engine by adding secondary fuel as HHO" *JMCMS journal*, ISSN 2454-7190 Vol.15, No. 9, , September-2020, Pages: 142-153.
4. Prasad Kumar Putha, "Performance of I.C Engines using HHO GAS" *IJSETR journal*, ISSN 2319-8885 Vol.04, Issue.16, , June-2015, Pages:2994-2998.
5. Dhananjay Babariya, Jay Oza, Bhavin Hirani, Gaurang Akbari "An Experimental Analysis Of S.I Engine Performance With HHO As A Fuel" *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology* eISSN: 2319-1163 pISSN: 2321-7308 Volume: 04 Issue: 04 ,Apr-2015.
6. . Muhammad Saad Khan, Z. Bin Hassan, and A. Iqbal, "Influence Of Hydrogen Peroxide on Liquefied Petroleum Gas (LPG) Performance," in *National Conference on Postgraduate Research (NCON-PGR)* 2009, 2009, no. October, pp. 107–113.

7. Characteristics of engine at various speed conditions by mixing of hho with gasoline and lpg / Rajasekaran T., Duraiswamy K., Bharathiraja M. and Poovaragavan S. // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences VOL. 10, NO. 1, JANUARY 2015 pp. 46 – 51.
8. Usman, M.; Farooq, M.; Naqvi, M.; Saleem, M.W.; Hussain, J.; Naqvi, S.R.; Jahangir, S.; Usama, H.M.J.; Idrees, S.; Anukam, A. Use of Gasoline, LPG and LPG-HHO Blend in SI Engine: A Comparative Performance for Emission Control and Sustainable Environment. Processes 2020, 8, 74.
9. Rajasekaran T., Duraiswamy K., Bharathiraja M., Poovaragavan S. Characteristics of engine at various speed conditions by mixing of HHO with gasoline and LPG. Journal of Engineering and Applied Sciences 2015; 10 (1): 46-51.
10. V. J. Ananth Vino and Ap, "HHO assisted LPG Engine," Int. J. Comput. Trends Technol., vol. 3, p. 6, 2012.
11. T. Rajasekaran, K. Duraiswamy, M. Bharathiraja, and S. Poovaragavan, "Characteristics of engine at various conditions by mixing of HHO with gasoline and LPG," J. Eng. Appl. Sci., vol. 10, no. 1, pp. 46-51, 2015.
12. Çakmak, A., Girisen, A.R. and Ozcan, H., "Effects of hydroxy gas addition on the performance and emission characteristics of liquefied petroleum gas-powered lean-operated spark-ignition engine", SAE International Journal of Fuels and Lubricants, Vol. 14, No. 1, (2021), 41-54.
13. Usman, M.; Farooq, M.; Naqvi, M.; Saleem, M.W.; Hussain, J.; Naqvi, S.R.; Jahangir, S.; Jazim Usama H.M.; Idrees, S.; Anukam, A. Use of Gasoline, LPG and LPG-HHO Blend in SI Engine: A Comparative Performance for Emission Control and Sustainable Environment. Processes 2020, 74, 15.

РЕФЕРАТ

Панін М.І. Використання добавки водневмісного газу в двигунах, що працюють на зрідженому нафтовому газі / М.І. Панін, І.В. Самойленко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Останнім часом спостерігається значне підвищення цін на палива нафтового походження, зокрема на бензин. Цей негативний фактор став причиною пошуку методів зменшення витрати палива двигуном автомобіля. Крім того, після спалювання традиційних палив виділяються шкідливі забруднюючі речовини. Саме тому проводяться дослідження, в рамках яких вчені намагаються без значних конструкційних змін адаптувати традиційні двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) для роботи на альтернативних паливах. Як альтернативне паливо для ДВЗ з іскровим запалюванням можна використовувати зріджений нафтовий газ (ЗНГ). Згідно багатьох досліджень, викиди забруднюючих речовин від транспортних засобів, що працюють на ЗНГ, нижчі в порівнянні з роботою на бензині. Однак, в порівнянні з бензином, спостерігається помітне зменшення потужності двигуна при роботі на зрідженому нафтовому газі. В цій статті розглянуті дослідження, в яких описується використання добавки водневмісного газу (H_2/O_2) для поліпшення показників роботи двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) з іскровим запалюванням, який працює на зрідженому нафтовому газі. На даний час встановлено, що при використанні ЗНГ з добавкою водневмісного газу поліпшуються екологічні показники ДВЗ. Концентрація C_mH_n , NO_x та CO_2 дещо зменшуються в порівнянні з бензином. Встановлено, що добавка водневмісного газу має позитивний вплив на потужність двигуна при роботі на ЗНГ, але даний аспект потребує додаткових досліджень у майбутньому. Не дивлячись на достатні переваги від використання ЗНГ з добавкою водневмісного газу до повітряного заряду перед бензином, поки досконало не розглянута економічна доцільність використання установки для генерування H_2/O_2 .

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗРІДЖЕНИЙ НАФТОВИЙ ГАЗ, ВОДНЕВМІСНИЙ ГАЗ, ДВИГУН З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ

ABSTRACT

Panin M.I., Samoilenko I. V. Use of the additive of hydrogen-containing gas in engines operating on liquefied petroleum gas. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

Recently, there has been a significant increase in the prices of petroleum-based fuels, particularly gasoline. This negative factor becomes a cause of the search for methods of reducing fuel consumption by the engine. After the combustion of traditional fuels, furthermore, harmful pollutants are released. That was

the cause of the attempts to adapt traditional internal combustion engines (ICE) to work on alternative fuels without significant design changes. Liquefied petroleum gas (LPG) can be used as an alternative fuel for spark ignition engines. Researches show that pollutant emissions from vehicles running on LPG are lower in comparison to gasoline. However, there is a marked decrease in engine power while operating on liquefied petroleum gas. This article considers studies about the use of a hydrogen-containing gas (H_2/O_2) addition to improve the performance of a spark ignition internal combustion engines (ICE) running on liquefied petroleum gas. It is shown that the environmental performance of internal combustion engines improves when using LPG with the addition of hydrogen-containing gas is used. Emission levels of C_mH_n , NO_x and CO_2 are reduced slightly in comparison to gasoline. It is shown that the hydrogen-containing gas addition has a positive effect on engine power when operating on LPG, but this aspect requires more research in the future. Despite the sufficient advantages of using LPG with the addition of hydrogen-containing gas to the air charge over the gasoline, the economic feasibility of using a H_2/O_2 generation plant has not been fully considered.

KEY WORDS: LIQUEFIED PETROLEUM GAS, HYDROGEN CONTAINING GAS, SPARK IGNITION ENGINE.

АВТОР:

Панін Микола Ігорович, аспірант кафедри “Двигуни і теплотехніка”, e-mail: mikolapanin@gmail.com, тел. +380666824697, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 303а.

Самойленко Іван Вікторович, асистент кафедри “Екології та безпеки життєдіяльності”, e-mail: samoilenko.iv@gmail.com, тел. +380442885100, Україна, 01010, м. Київ, вул. Суворова 1, к. 312.

AUTHOR:

Panin Mykola Igorovich, PhD student of department of "Engines and Heating", e-mail: mikolapanin@gmail.com, tel. +380666824697, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 303a.

Samoilenko Ivan Viktorovich, assistant of department of "Ecology and Environmental Protection Technologies", e-mail: samoilenko.iv@gmail.com, tel. +380442885100, Ukraine, 01010, Kyiv, Suvorova str. 1, of. 312.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілі, Київ, Україна.

Клименко О.А., кандидат технічних наук, доцент, ДП “ДержавтотрансНДІпроект”, Київ, Україна.

REVIEWER:

Sakhno V.P., PhD, Engineering (Dr.), professor, National Transport University, head department of automobiles, Kyiv, Ukraine.

Klymenko O.A., candidate of technical science, associate professor, SE "DergavtotransNDIproect", Kyiv, Ukraine.

ДО ВИЗНАЧЕННЯ ПОПЕРЕЧНОЇ СТІЙКОСТІ АВТОМОБІЛЯ-ЦИСТЕРНИ

Попелиш Д.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна, popelish@ukr.net, orcid.org/0000-0001-9506-6421

TO DETERMINATION OF TRANSVERSE STABILITY OF A TANK CAR

Popelysh D.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine, popelish@ukr.net, orcid.org/0000-0001-9506-6421

Постановка проблеми.

Особливістю транспортних засобів для перевезення рідин є можливість переміщення транспортованого вантажу щодо резервуару цистерни. Іншою їх особливістю є високе розташування центру маси над дорогою [1]. Коливання рідкого вантажу всередині резервуару призводять до істотного зниження поздовжньої та поперечної стійкості та керованості і збільшують навантаження на конструкцію цистерни [2]. Найбільше впливають на керованість та стійкість автоцистерн такі фактори, як геометрія резервуара, висота центру мас, рівень завантаження, поперечне та поздовжнє зміщення центру мас вантажу під час руху кривою, гальмування, маневрах зміни смуги руху, а також властивості динамічної взаємодії рідини з конструкцією [3]. Вплив переміщення рідини на динаміку транспортного засобу істотно зростає зі збільшенням маси транспортного засобу та його розмірів. Унаслідок аварій, що відбуваються при експлуатації рухомого складу, що перевозить рідкі вантажі, завдається значної шкоди навколишньому середовищу і здоров'ю людей. Тому проблема забезпечення безпеки руху транспортних засобів, що перевозять рідини, потребує свого вирішення. У зв'язку з цим розробляються заходи щодо зниження впливу коливань рідини всередині резервуарів на динаміку транспортного засобу. Перший спосіб передбачає установку внутрішніх перегородок. Другий полягає у зміні форми резервуару цистерни. Третій варіант заснований на введенні в підвіску базового шасі або в кріплення цистерн до рами автомобіля спеціальних елементів з метою зміни жорсткості [4]. Усі наведені заходи можуть бути розглянуті на зміні форми резервуару. Залежно від методу виконання цистерна може мати постійний або змінний переріз. Найпоширеніші форми поперечних розрізів автоцистерн: коло, еліпс або прямокутник із закругленими кутами. При цьому форма поперечного розрізу автоцистерни впливає на наступні характеристики: корисний обсяг, габаритні розміри, стійкість автоцистерни загалом. Тому вибір оптимального перерізу цистерни за умови забезпечення стійкості руху є актуальною задачею.

Аналіз останніх публікацій.

Як відомо [5], розрахунки поперечної стійкості проти перекидання автомобілів цистерн здійснюють при повному заповненні цистерн. Для врахування зниження поперечної стійкості автомобіля при переміщенні та динамічних ударах рідини у разі часткового заповнення цистерни допустимий коефіцієнт поперечної стійкості збільшують на 20 % [6, 7]. Проте, у цих роботах не сказано, про який саме рівень заповнення цистерни йдеться. Діючі на цистерни, заповнені на 80 % і на 20 %, сили матимуть різні моменти щодо, наприклад, центру мас, через різні положення центрів маси рідини в цистерні. Тому особливий інтерес являє саме рух автоцистерни, заповненої рідиною в повному обсязі, і саме для такого заповнення визначення показників поперечної стійкості.

Метою роботи є порівняльний аналіз показників поперечної стійкості за різної форми кузова автомобіля-цистерни.

Результати дослідження

Стійкість руху належить до властивостей автомобіля, що не мають строгої визначеності в термінології, вимогах, показниках і методах оцінки [6, 7]. На практиці використовують експериментальні характеристики, що визначають стійкість автомобіля при русі, а в теорії – прямі і непрямі показники і їхні залежності, з яких можна виділити найбільш вживані:

1. Граничний (критичний) кут бічного крену автомобіля за умови перекидання і ковзання.
2. Гранична (критична) швидкість сталого криволінійного руху автомобіля за умови перекидання і ковзання.

3. Критична швидкість стійкого прямолінійного руху.

Усі ці показники широко використовуються в теорії стійкості автомобіля.

Граничний кут бічного крену по перекиданню $\beta_{\max}$, що визначається на стенді-платформі, характеризує стійкість автомобіля при русі косою і замінює небезпечний натурний експеримент.

Найпростіша схема для визначення граничного кута косоугру за умови перекидання без урахування деформації ресор і шин записується у вигляді [6, 7]:

$$\operatorname{tg} \beta_g = \frac{B}{2h_g}, \quad (1)$$

де B – колія передніх (задніх) коліс автомобіля;

h_g – висота центра мас.

Координата центра мас автомобіля по висоті визначиться як

$$h_g = \frac{h_{ga} \times G_a + G_{гб} \times h_{гб}}{G_a + G_{гб}}, \quad (2)$$

де G_a , $G_{гб}$ – відповідно сила тяжіння від власної маси автомобіля і рідини, що заповнює цистерну;

h_{ga} , $h_{гб}$ – координата центра мас по висоті автомобіля та рідини в цистерні автомобіля.

При урахуванні крену підресореної маси автомобіля через деформацію ресор граничний кут косоугру за умови перекидання визначиться як

$$\operatorname{tg} \beta_{kr} = \frac{\Delta_p}{2B_p} \quad (3)$$

де Δ_p – деформація ресор одного борту;

B_p – ресорна база.

Деформацію ресор одного борту визначаємо з умови рівноваги моменту щодо осі крену підресореної маси G' від поперечної складової сили тяжіння і пари сил, що виникає при додатковій деформації ресор (впливом моменту від нормальної складової знехтуємо) [7]:

$$G' \times g \times h_{kp} \times \sin \beta = C_p \times K_p \times B_p \times \Delta_p, \quad (4)$$

звідки

$$\Delta_p = \frac{G' \times g \times h_{kp} \times \sin \beta}{C_p \times K_p \times B_p}, \quad (5)$$

де h_{kp} – плече повороту підресореної маси на ресорах;

C_p – жорсткість ресор одного борту;

K_p – коефіцієнт, що враховує збільшення жорсткості ресор при їх скручуванні в поперечному напрямку, $K_p = 1,05-1,25$.

З урахуванням вищенаведених виразів формула для визначення граничного кута косоугру по перекиданню з урахуванням крену підресореної маси на ресорах записана у вигляді [7]:

$$\operatorname{tg} \beta_{MAX} = \frac{0,5B}{h_g} - \frac{h_{kp}^2}{h_g} \times \frac{G' g \sin \beta}{0,5K_p C_p B_p^2} = \frac{0,5B}{h_g} - \frac{h_{kp}}{h_g} \times \frac{\Delta_p}{0,5B_p}. \quad (6)$$

Нахил кузова на кут $\beta_{ш}$ через радіальну деформацію шин також зменшує плече відновлювального моменту на величину $\Delta_{ш}$.

Кут крену підресореної маси автомобіля за рахунок деформації шин знаходиться за виразом

$$\operatorname{tg} \beta_{ch} = \frac{\Delta_{ch}}{2B_{ch}} \quad (7)$$

де

$$\Delta_{ch} = \frac{G' g \sin \beta h_{ch}}{C_{ch} B} = \frac{0,85(G_a + G_R) \times g \times (h_g - r_d) \times \sin \beta}{C_{ch} \times B},$$

де C_{ch} – радіальна жорсткість шин одного борту;

$0,85(G_a + G_R)$ – підресорена маса автомобіля;

r_d – динамічний радіус колеса;

h_{ch} – плече центра мас щодо осі коліс.

Спільний розв'язок виразів (6) і (7) дає формулу для визначення граничного кута косогуру за умови перекидання з урахуванням радіальної деформації шин [7]:

$$\operatorname{tg} \beta_{MAX} = \frac{0,5B}{h_g} - \frac{h_{ch}^2}{h_g} \times \frac{G' g \sin \beta}{0,5C_{ch} B^2} \quad (8)$$

Бічна деформація шин Δ_b зменшує плече відновлювального моменту на величину

$$\Delta_b = \frac{G_a g \sin \beta}{C_{шб}} \quad (9)$$

де $C_{шб}$ – загальна бічна жорсткість шин автомобіля, $C_{шб} = n_{ш} \times c_{шб}$;

$n_{ш}$ – кількість шин автомобіля;

$c_{шб}$ – бічна жорсткість однієї шини.

Граничний кут косогуру за умови перекидання з урахуванням бічної жорсткості шин

$$\operatorname{tg} \beta_{MAX} = \frac{0,5B}{h_g} - \frac{G_a g \sin \beta}{h_g C_{шб}} \quad (10)$$

Після визначення окремих складових найбільший кут косогуру з урахуванням впливу жорсткості ресор і шин записується у вигляді [7]:

$$\operatorname{tg} \beta_{MAX} = \frac{0,5B}{h_g} - \frac{g \sin \beta}{h_g} \times \left(\frac{h_{kp}^2 G'}{0,5K_P C_P B_P^2} + \frac{h_{ch}^2 G'}{0,5C_{ш} B^2} + \frac{G_a}{C_{шб}} \right) \quad (11)$$

Оскільки формула (11) містить у правій частині $\sin \beta$, для спрощення розрахунку граничного кута позначимо перший член правої частини формули А, а другий член – $B \sin \beta$, тобто

$$\operatorname{tg} \beta = A - B \sin \beta.$$

Замінивши $\operatorname{tg} \beta$ відношенням $\sin \beta / \cos \beta$, після перетворення одержимо вираз

$$\sin \beta = A \cos \beta / (1 + B \cos \beta), \quad (12)$$

який розв'язуємо методом послідовних наближень.

За наведеною методикою проведені розрахунки граничного кута косогуру для автомобіля-цистерни КраЗ-5401Н2 об'ємом 8000 л з поперечним перерізом у формі еліпса, кола, валізи. Довжина цистерни 4 м, діаметр кола цистерни – 1,7 м, площа поперечного перерізу – 2,0 м². У разі еліпса за розміру більшої півосі 1,0 м розмір меншої півосі складе 0,76 м, у разі валізи за довжини основи 2 м висота цистерни складе 1,15 м. Як випливає з результатів розрахунку, найбільший кут косогуру для автомобіля-цистерни у формі кола й еліпса майже однаковий і майже на 12 % менший порівняно з автомобілем-цистерною у формі валізи. Тому необхідно визначити, як вплинуть параметри цистерни на стійкість автомобіля-цистерни.

У ДСТУ UN/ECE R 111-00: 2002 „Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження автоцистерн категорій N і O стосовно їх стійкості проти перекидання” [8] наведена методика визначення показників поперечної стійкості повністю заповнених цистерн за умови відсутності переміщення рідини при випробуваннях, тобто цистерна з рідиною розглядається як тверде тіло. За цих умов дана методика може бути поширена й на інші вантажні та пасажирські автомобілі.

У роботі [8] поперечна стійкість розраховується шляхом моделювання випробувань транспортного засобу в усталеному коловому русі (при незмінному радіусі повороту, сталій швидкості, а відповідно і сталому поперечному прискоренні). При такому розрахунку враховуються такі основні фактори, що впливають на поперечну стійкість, як висота центра мас, ширина колії, а також усі фактори, що обумовлюють поперечне переміщення центра мас (бічна жорсткість шин, бічна жорсткість підвіски тощо).

У розрахунках повинні виконуватися наступні технічні вимоги:

- центр крену осі розташовується на поверхні дороги;
- конструкція транспортного засобу вважається жорсткою;
- транспортний засіб є симетричним відносно поздовжньої осі;
- деформація шини і підвіски є лінійною;
- поперечна деформація підвіски і шин не враховується.

Розрахунок показників поперечної стійкості автомобіля за методикою [8] здійснюється у такій послідовності. Спочатку розраховуються бокова жорсткість і кут крену автомобіля при підйомі колеса кожної осі:

- бокова жорсткість осі

$$C_{DRI} = \frac{F_{Rvi} \times T_{Ni}^2}{2}; \quad (13)$$

- еквівалентна бокова жорсткість підвіски на рівні поверхні дороги

$$C_{DGMi} = C_{DRI} \times \left(\frac{H_N}{H_N - m} \right)^2 \quad (14)$$

- комбінована бокова жорсткість для визначення поперечного зміщення центра мас

$$C_{DRESi} = \frac{C_{DGMi} \times C_{DRI}}{C_{DGMi} + C_{DRI}}; \quad (15)$$

- розрахунковий кут крену автомобіля при підйомі колеса

$$\theta_i = \frac{A_i \times T_{Ni}}{2 \times C_{DRESi}}. \quad (16)$$

У записаних виразах для автомобіля-цистерни КрАЗ-5401Н2 прийнято:

T_{Ni} – номінальна ширина колії, $T_{Ni}=1,838$ м;

F_{Rvi} – радіальна жорсткість шини (здвоєних шин); $F_{Rvi}=3000$ – передня вісь; 5400 – задня вісь;

C_{DGMi} – еквівалентна бокова жорсткість підвіски на рівні поверхні дороги, кНм/рад;

H_N – координата центра мас підресореної маси по висоті; 1,580 (коло); 1,560 (еліпс); 1,530 (валіза);

m – відстань від осі крену до поверхні дороги; $m=0,6$ м;

A_i – навантаження на вісь автомобіля; $A_1=7000$ кг; $A_2=11000$ кг;

h_{kp} – плече крену підресореної маси; $h_{kp}=0,88$ (коло); 0,86 (еліпс); 0,83 (валіза).

Для визначення еквівалентної бокової жорсткості підвіски на рівні поверхні дороги C_{DGMi} необхідно знати саму бокову жорсткість C_{DRI} підвіски передньої та задньої осі. Проте в роботі [20] методика визначення названої жорсткості відсутня.

Для визначення бокової жорсткості підвіски скористаємося методикою, що наведена у роботі [8]. Деформація підвіски одного борту визначається за умови рівності моменту підресореної маси G' відносно осі крену від бічної складової сили тяжіння і пари сил, що виникає при додатковій деформації підвіски

$$G' \times g \times \sin \beta \times h_{kr} = \Delta_P \times C_P \times B_P, \quad (17)$$

звідки деформація підвіски визначиться як

$$\Delta_P = \frac{G' \times g \times h_{kp} \times \sin \beta}{C_P \times B_P \times K_P}, \quad (18)$$

де β – найбільший кут косогору з урахуванням впливу жорсткості ресор і шин.

За визначеною деформацією підвіски визначається кут крену підресореної маси над передньою і задньою підвіскою

$$\operatorname{tg} \beta_{kp} = \frac{2 \times \Delta_P}{B_P}, \quad (19)$$

а потім і бокова жорсткість підвіски

$$C_{DRI} = \frac{G' \times g \times \sin \beta}{2 \times \beta_{kp}}. \quad (20)$$

Після визначення бокової жорсткості визначається еквівалентна бокова жорсткість і кут крену передньої і задньої підвісок.

Після розрахунку комбінованої бокової жорсткості і розрахункового кута крену для кожної осі розраховуються загальні показники для всього автомобіля у такій послідовності.

Визначаються:

- сила тяжіння від повної маси автомобіля;
- сила тяжіння від підресорної маси автомобіля;
- ефективна ширина колії;
- загальна бокова жорсткість підвіски.

Після цього відбирається вісь автомобіля з мінімальним значенням θ_i , що відповідає підйому першого колеса. Для того щоб відрізнити цю вісь від інших, застосовуються такі позначення:

A_M – осьове навантаження осі з мінімальним кутом θ ;

U_M – сила тяжіння від невідвісоленої маси з мінімальним кутом θ ;

T_M – колія осі з мінімальним кутом θ ;

C_{DRESM} – бокова жорсткість осі з мінімальним кутом θ .

Ці параметри дозволяють провести розрахунок поперечної стійкості автомобіля. Для цього визначаються:

- коефіцієнт корисної маси самої жорсткої осі автомобіля F_E :

$$F_E = \frac{C_{DRESM}}{C_{DREST}}; \quad (21)$$

- поперечне прискорення при підйомі першого колеса q_M :

$$q_M = \frac{A_M \times T_M}{2 \times \left[(F_E \times A_T \times H_G) + \frac{((A_T - U_T) \times F_E \times H_N)^2}{C_{DRESM} - (A_T \times F_E \times H_N)} \right]} \quad (22)$$

- максимальне теоретичне поперечне прискорення при перекиданні автомобіля q_T :

$$q_T = \frac{A_T \times T_T}{2 \times \left[(A_T \times H_G) + \frac{((A_T - U_T) \times H_N)^2}{C_{DREST} - (A_T \times H_N)} \right]} \quad (23)$$

Лінійна інтерполяція між поперечним прискоренням при підйомі першого колеса і максимальним теоретичним прискоренням дозволяє отримати оціночний показник поперечного прискорення при перекиданні q_c :

$$q_c = q_T - (q_T - q_M) \times \frac{A_M}{A_T} \quad (24)$$

Стійкість до перекидання транспортного засобу повинна бути такою, щоб автомобіль не пройшов через точку перекидання при досягненні поперечного прискорення, що дорівнює 4 м/с^2 . При цьому стійкість автомобіля при сталому коловому русі забезпечується.

Проведеними розрахунками показників стійкості автомобіля-цистерни КрАЗ-5401Н2 за різної форми цистерни встановлено, що форма кузова автомобіля-цистерни майже не впливає на показники поперечної стійкості. Разом з тим, наявність рідини в ємності автоцистерни призводить до зменшення її моменту інерції щодо вертикальної осі порівняно з вантажопасажирським транспортом, що має

рівні масові та розмірні параметри [9]. У роботі [10] розглянуто вплив рідкого вантажу на стійкість автоцистерни проти перекидання і занесення. Показано, що в результаті дії поперечної складової сили інерції центр мас рідкого вантажу зміщується щодо ємності і умовою поперечної стійкості автоцистерни проти перекидання буде рівняння:

$$S_y \cos \beta h_a - G_a \sin \beta h_a - G_a \cos \beta \frac{B}{2} + G_k h_\psi \sin \psi \cos \beta + G_r y_b \cos \beta + \\ + S_y \sin \beta \frac{B}{2} + S_y \sin \beta h_\psi \sin \psi + S_y \sin \beta y_b \frac{G_r}{G_a} = 0, \quad (25)$$

де h_a – висота центру мас автомобіля;

B – колія;

ψ_h – плече крену кузова;

ψ – кут крену кузова;

β – кут поперечного нахилу полотна дороги;

y_b – зміщення центру мас автоцистерни у поперечному напрямку через переміщення рідкого вантажу;

G_a – сила тяжіння від повної маси автомобіля;

G_r – сила тяжіння від вантажу;

S_y – бічна сила

G_k – складова сили тяжіння паралельна опорній поверхні.

Зміщення центру мас автоцистерни у поперечному напрямку через переміщення рідкого вантажу y_b щодо ємності представлено у вигляді

$$y_b \frac{G_r}{G_a}. \quad (26)$$

Величина y_b визначена як:

– при заповненні цистерни

$$h < h_0 - \frac{b}{2} \operatorname{tg} \left(\left(\frac{R \omega^2 + b \frac{d\omega}{dt}}{g} + \psi - \beta \right) \right) \\ y_b = \frac{b^2 \operatorname{tg} \left(\left(\frac{R \omega^2 + b \frac{d\omega}{dt}}{g} + \psi - \beta \right) \right) \cos(\psi - \beta)}{12h} \quad (27)$$

– при заповненні цистерни

$$h > h_0 - \frac{b}{2} \operatorname{tg} \left(\left(\frac{R \omega^2 + b \frac{d\omega}{dt}}{g} + \psi - \beta \right) \right) \\ y_b = \frac{(3b(h_0 - h) - 2(h_0 - h)) \sqrt{\frac{(h_0 - h)2b}{\operatorname{tg} \left(\left(\frac{R \omega^2 + b \frac{d\omega}{dt}}{g} + \psi - \beta \right) \right) \cos(\psi - \beta)}}}{6h}, \quad (28)$$

де h і h_0 – глибина заповнення і висота цистерни.

Гранично допустимий поперечний ухил дороги на повороті автоцистерни при заданій величині поперечної сили S_y визначено як

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{S_y h_a - G_a \frac{B}{2} + G_k h_\psi \sin \psi + G_r y_b}{S_y \left(\frac{B}{2} - h_\psi \sin \psi - y_b \frac{G_r}{G_a} \right) + G_a h_a}, \quad (29)$$

При заданих значеннях кута β , швидкості v , прискорень $\frac{dv}{dt}$ і $\frac{d\theta}{dt}$ гранично допустимий радіус повороту визначено як

$$R = \frac{m_a v^2 + \left(b - \frac{m_r}{b_a} y_l\right) m_a \frac{dv}{dt}}{G_a \operatorname{tg} \beta h_a + G_a \frac{B}{2} - G_k h_\psi \psi - G_r y_b} - \frac{m_a \left(b - \frac{m_r}{m_a} y_l\right) v \frac{d\theta}{dt}}{L} \quad (30)$$

$$\frac{h_a - \operatorname{tg} \beta \frac{B}{2} + \operatorname{tg} \beta h_\psi \psi + \operatorname{tg} \beta y_b}{G_a}$$

З використанням залежностей (28-30) були проведені розрахунки граничного радіусу повороту автомобіля КраЗ-5401Н2 за різної форми цистерни від швидкості руху і заповнення цистерни (рисунк 1).

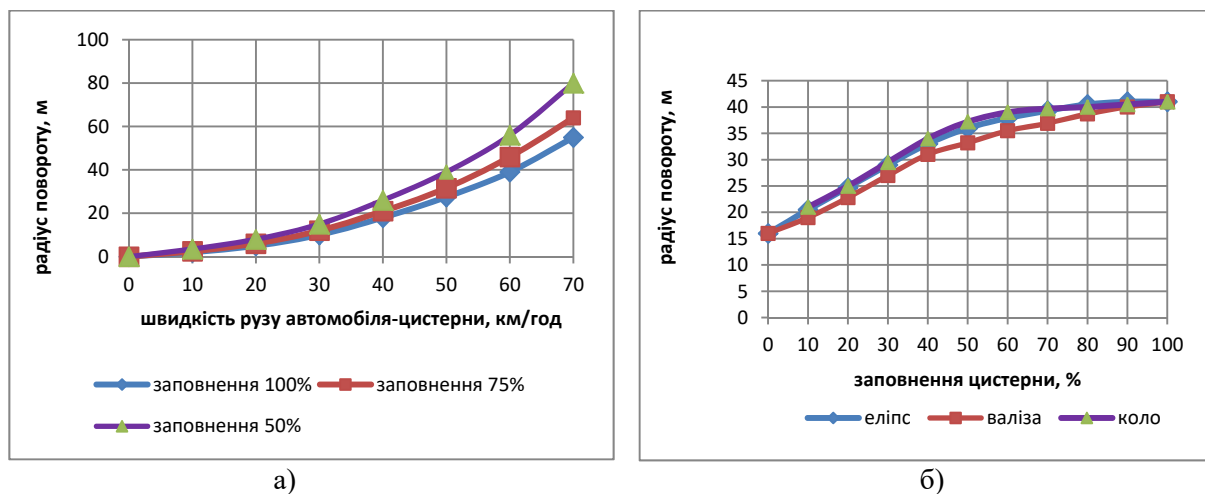


Рисунок 1 – Залежність гранично допустимого радіусу повороту автоцистерни по перекиданню від швидкості руху (а) і форми цистерни (б)
Figure 1 – Dependence of the maximum allowable radius of rotation of the tanker on overturning from the speed of movement (a) and the shape of the tank (b)

Так, граничний радіус повороту автоцистерни по перекиданню залежить від швидкості руху і заповнення цистерни, рисунку 1а. Аналіз графіків показує, що по мірі зменшення заповнення цистерни стійкість автоцистерни погіршується. Зі збільшенням швидкості руху відбувається збільшення зміщення центру мас рідини в ємності та погіршення поперечної стійкості автоцистерни. Причому різниця між гранично допустимими радіусами повністю заповненої цистерни і заповненої на половину збільшується зі збільшенням швидкості руху і за швидкості 70 км/год досягає 30 %. У меншому ступені на граничний радіус повороту впливає форма поперечного перерізу цистерни, рисунку 1б. Найбільше відхилення радіусу повороту від форми поперечного перерізу цистерни за швидкості 50 км/год має місце за заповнення цистерни на рівні 50 % і складає тільки 7,8 %.

Висновки.

1. Встановлено, що для автомобіля-цистерни у формі кола і еліпса при повному її заповненні найбільший кут кособогу практично однаковий і майже на 12 % менший порівняно з автомобілем-цистерною у формі валізи за рахунок зменшення висоти центру мас саме цистерни.

2. Автоцистерна з частковим заповненням ємності рідким вантажем під час руху на повороті має гіршу поперечну стійкість проти перекидання порівняно з повним заповненням. Так, по мірі зменшення заповнення цистерни стійкість автоцистерни погіршується. Зі збільшенням швидкості руху відбувається збільшення зміщення центру мас рідини в ємності та погіршення поперечної стійкості автоцистерни. Причому різниця між гранично допустимими радіусами повністю заповненої цистерни і заповненої на половину збільшується зі збільшенням швидкості руху і за швидкості 70 км/год досягає 30 %.

3. Показано, що форма поперечного перерізу цистерни при частковому її заповненні у меншій мірі впливає на величину граничного радіусу повороту. Найбільше відхилення радіусу повороту від форми поперечного перерізу цистерни за швидкості 50 км/год має місце за заповнення цистерни на рівні 50 % і складає тільки 7,8 %.

4. При виборі форми поперечного перерізу цистерни слід орієнтуватися на інші показники, зокрема міцність цистерни і технологію її виготовлення.

Подальший розвиток.

Поперечна стійкість повністю заповненої цистерни не в повній мірі відображає стійкість її руху. Вплив переміщення рідини на динаміку транспортного засобу істотно зростає зі збільшенням маси транспортного засобу та його розмірів. Поряд з конструктивними заходами по зменшенню переміщення вантажу в цистерні потребує свого вирішення і задача розробки аналітичних методів для розрахунку параметрів стійкості цистерни з урахуванням переміщення вантажу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Агабабян, Ю.Н. Положение центра масс пожарного автомобиля / Ю.Н. Агабабян // Повышение эффективности автотранспортных средств. – М., 1982. – С. 115-119.

2. Ranganathan, R. Influence of liquid load shift on the dynamic response of articulated tank vehicles / R. Ranganathan, S. Rakheja, S. Sankar // Vehicle System Dynamics. – 1990. – Vol. 19, No 4. – Pp. 177-200.

3. Высоцкий М.С., Плещачевский Ю.М., Шимановский А.О., Кузнецова М.Г. Обеспечение безопасности движения автоцистерн на основе оптимизации конструкции кузова // Механика машин, механизмов и материалов. – 2012. – № 3(20)- 4(21). – С. 142-148.

4. Завод спецтехники Техкомплект #власневиробництво / Режим доступу: <https://thk.kiev.ua>. – Назва з екрану.

5. Власов Ю.Л., Морозов Н.А., Гаврилов А.А. Динамическая модель равномерного движения автоцистерны без перегородок с частичным заполнением // Вестник ОГУ. – №9 (158)/сентябрь 2013. – С.227-231.

6. В.П. Сахно, Г.Б. Безбородова, М.М. Маяк, С.М. Шарай Автомобілі: Тягово-швидкісні властивості та паливна економічність / Навч. посібник. – К: 2003, 153 с.

7. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.

8. ДСТУ UN/ECE R 111-00: 2002 „Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження автоцистерн категорій N і O стосовно їх стійкості проти перекидання”. – К.: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики. – 2002. – 32 с.

9. Кулаковский Б.Л. Исследование поведения модели цистерны цилиндрической формы с жидкостью при вращении вокруг вертикальной оси / Б.Л. Кулаковский, П.Н. Конон // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. науч. тр. / НИИ ПБ и ЧС. – 2008. – № 1 (23). – С. 96-104.

10. Кулаковский Б.Л., Максимов П.В. Устойчивость автоцистерны против заноса при движении по кругу с поперечным уклоном // Вестник Командно-инженерного института. – 2010. – № 2 (12). – С. 26-33.

REFERENCES

1. Agagbabian J.N. Pologenie tcentra mass pojarnogo avtomobilja [The position of the center of mass of a fire truck] / Yu.N. Aghababyan. – Povushenie effektivnosti avtotransportnykh sredstv. – M., 1982. – P. 115-119. [in Russian].

2. Ranganathan, R. Influence of liquid load shift on the dynamic response of articulated tank vehicles / R. Ranganathan, S. Rakheja, S. Sankar // Vehicle System Dynamics. – 1990. – Vol. 19, No 4. – Pp. 177-200.

3. Vysotsky M.S., Pleschachevsky Ja.,M., Tchimanovsky A.O., Kyznetcova M.G. Obespechenie bezopasnosti dvigienia avtocistern na osnove optimizacii konstrukcii kyzova [Ensuring the traffic safety of tankers based on the optimization of the body structure]. – Mechanica machin, mekhanizmov I materialov. – 2012. – № 3(20)- 4(21). – P.142-148 [in Russian].

4. Aerial platforms and specialty vehicles manufacturing / Available at:<https://thk.kiev.ua>. /AVFD / article /view.

5. Vlasov Ja.,L., Morozov N.A., Gavrilov A.A. Dinamicheskaja model ravnomernogo dvigienia avtocistern bez peregorodok s chastichum zapolneniem [Dynamic model of the uniform movement of a tank truck without partitions with partial filling]. – Vestnic OGY. – №9 (158)/September 2013. – P.227-231. [in Russian].

6. V.P. Sakhno, G.B. Bezborodova, M.M. Maiak, S.M. Sharai. Automobile: Tiagovo-shvydkisny vlastyvosty ta paluvna ekonomichnist [navchalny posibnik] / [Traction-speed properties and fuel efficiency] / Textbook. manual. – K: 2003, 153 p. [in Ukrainian].

7. Litvinov A.S., Farobin Ja., E. Avtomobile. Teoria eksplyatatsionnykh svoistv [Automobile. Theory of operational properties]. – M.: Mashinostroenie, 1989. – 240 p. [in Russian].

8. DSTU UN/ECE R 111-00: 2002 „Eduni technichni prupusu shodo ofitsiinogo zatverdgenia avtocistern kategorii N i O stosovno ich stiicosty proty perekudannia”. [“Single technical specifications for official approval of tank trucks of categories N and O on the basis of their resistance against overturning”]. – K.: Dergavny komitet Ukrainy s putan technichnogo regylyvannia ta spoguvchuvai polituku. – 2002. – 32 p. [in Ukrainian].

9. Kylakovsky B.L. Issledovanie povedeniya modely tcisterny chilindrichesky formu s gidcosty pri vrachenii vokrug verticalny osi [Investigation of the behavior of a model of a cylindrical tank with liquid during rotation around a vertical axis] / B.L. Kylakovsky, P.N.Konon// Tchezvuchainy sityacii: predypregdenie i likvidacii: sb. naych. tr. / NII PB I ChS. – 2008. – № 1 (23). – P. 96-104. [in Russian].

10. Kylakovsky B.L. Maksimov P.V. Ystoichivost avtotcistern protiv zanosa pri dvigenii po krygy s poperechnym yklonom [Stability of a tank truck against skidding when moving in a circle with a transverse slope] // Vestnik Komandno-ingenerenogo instituta – 2010. – № 2 (12). – С. 26-33. [in Russian].

РЕФЕРАТ

Попелиш Д.М. До визначення поперечної стійкості автомобіля-цистерни / Д.М.Попелиш // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

У статті визначені показники поперечної стійкості автомобіля-цистерни у формі кола, еліпса та валізи і проаналізовані фактори, що на неї впливають.

Об’єкт дослідження – показники поперечної стійкості автомобіля-цистерни у формі кола, еліпса та валізи.

Мета роботи – порівняльний аналіз показників поперечної стійкості за різної форми кузова автомобіля-цистерни.

Методи дослідження – аналітичний, порівняльний.

Розрахунки поперечної стійкості проти перекидання автомобілів-цистерн здійснюють при повному заповненні цистерн. Для врахування зниження поперечної стійкості автомобіля при переміщенні та динамічних ударах рідини у разі часткового заповнення цистерни допустимий коефіцієнт поперечної стійкості збільшують на 20 %. Для такого заповнення визначені показники поперечної стійкості для автомобіля-цистерни КрАЗ-5401Н2 об’ємом 8000 л з поперечним перерізом у формі еліпса, кола, валізи. За результатами розрахунків встановлено, що найбільший кут косогуру для автомобіля-цистерни у формі кола і еліпса майже однаковий і на 12 % менший порівняно з автомобілем-цистерною у формі валізи. Тому у подальшому було розглянуто вплив параметрів цистерни на поперечну стійкість автомобіля-цистерни відповідно до ДСТУ UN/ECE R 111-00: 2002. За методикою, наведеною у цьому ДСТУ, встановлено, що форма кузова майже не впливає на показники поперечної стійкості автомобіля-цистерни порівняно з вантажопасажирським транспортом. Показано, що в результаті дії поперечної складової сили інерції центр мас рідкого вантажу зміщується, що призводить до зміни показників поперечної стійкості. Зі збільшенням швидкості руху відбувається збільшення зміщення центру мас рідини в ємності та погіршення поперечної стійкості автоцистерни, причому різниця між гранично допустимими радіусами повороту повністю заповненої цистерни і заповненої наполовину збільшується і за швидкості 70 км/год досягає 30 %. Разом із тим, форма поперечного перерізу цистерни при частковому її заповненні у меншій мірі впливає на величину граничного радіусу повороту. Найбільше відхилення радіусу повороту від форми поперечного перерізу цистерни за швидкості 50 км/год має місце за заповнення цистерни на рівні 50 % і складає тільки 7,8 %.

При виборі форми поперечного перерізу цистерни слід орієнтуватися на інші показники, зокрема міцність цистерни і технологію її виготовлення.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОМОБІЛЬ, ЦИСТЕРНА, КОЛО, ЕЛІПС, ВАЛІЗА, РІДКИЙ ВАНТАЖ, СТІЙКІСТЬ, РАДІУС ПОВОРОТУ, ШВИДКІСТЬ.

ABSTRACT

Popelysh D.M. To determine the lateral stability of the tank car. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article defines the indicators of lateral stability of a tank truck in the form of a circle, ellipse and suitcase and analyzes the factors that affect it.

The object of the study - the indicators of the lateral stability of the tank truck in the form of a circle, ellipse and suitcase.

The purpose of the work is a comparative analysis of the indicators of lateral stability for different body shapes of the tank car.

Research methods - analytical, comparative.

Calculations of transverse resistance against overturning of tank cars are carried out at full filling of tanks. To take into account the decrease in the lateral stability of the car when moving and dynamic shocks of the liquid in the case of partial filling of the tank, the permissible coefficient of lateral stability is increased by 20%. For such filling the indicators of transverse stability for the tank car KrAZ-5401H2 with a volume of 8000 l with a cross section in the form of an ellipse, a circle, a suitcase are determined. According to the results of calculations, it was found that the largest angle of the slope for a tank car in the shape of a circle and an ellipse is almost the same and 12% smaller compared to a tank truck in the shape of a suitcase. Therefore, the influence of tank parameters on the lateral stability of the tank car in accordance with DSTU UN / ECE R 111-00: 2002 was further considered. tanks in comparison with freight and passenger transport. It is shown that as a result of the action of the transverse component of the force of inertia, the center of mass of the liquid load is shifted, which leads to a change in the indicators of transverse stability. With increasing speed there is an increase in the displacement of the center of mass of the liquid in the tank and the deterioration of the transverse stability of the tank truck. Moreover, the difference between the maximum allowable radii of rotation of a fully filled tank and filled to half increases and at a speed of 70 km / h reaches 30%. However, the shape of the cross section of the tank when it is partially filled to a lesser extent affects the value of the limiting radius of rotation. The largest deviation of the turning radius from the shape of the cross section of the tank at a speed of 50 km / h occurs when filling the tank at the level of 50% and is only 7.8%. When choosing the shape of the cross section of the tank should focus on other indicators, in particular the strength of the tank and the technology of its manufacture.

KEY WORDS: CAR, TANK, CIRCUIT, ELLIPSE, SUITCASE, LIQUID CARGO, STABILITY, TURN RADIUS, SPEED.

АВТОРИ:

Попелиш Денис Михайлович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри автомобілів, e-mail: popelish@ukr.net, тел.: +380677921408, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 301, orcid.org/0000-0001-9506-6421.

AUTHORS:

Popelysh Denys M., National Transport University, postgraduate student of the Department of Automobiles, e-mail: popelish@ukr.net, tel. +380677921408, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovych-Pavlenko str. 1, of. 301, orcid.org/0000-0001-9506-6421.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гутаревич Юрій Феодосійович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри двигунів і теплотехніки.

Макаров Володимир Андрійович, доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту.

REVIEWERS:

Gutarevich Yuriy Feodosiyovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of Engines and Heat Engineering.

Makarov Volodymyr Andriyovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vinnytsia National Technical University, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management.

ЗАХОДИ МІНІМІЗАЦІЇ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОТРАНСПОРТУ

Порфіренко В.І., кандидат економічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, porfirenko@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0329-6217

Кудін Є.Р., Національний транспортний університет, Київ, Україна, zheniya2003@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6740-8789

MEASURES TO MINIMIZE ENVIRONMENTAL POLLUTION DURING VEHICLE OPERATION

Porfirenko V.I., Ph.D, National Transport University, Kyiv, Ukraine, porfirenko@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0329-6217

Kudin Y.R., National Transport University, Kyiv, Ukraine, zheniya2003@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6740-8789

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Стан навколишнього середовища в Україні має тенденцію до погіршення кожного року. Зміна клімату, погіршення якості повітря, води, ґрунту стають глобальними проблемами для України.

Автотранспорт є вагомим джерелом забруднення довкілля. В даний час на частку автомобільного транспорту припадає більше половини всіх шкідливих викидів у навколишнє середовище, які є головним джерелом забруднення атмосфери, особливо у великих містах. У середньому при пробігу 15 тис. км за рік, кожен автомобіль спалює 2 т палива і близько 26 – 30 т повітря, у тому числі 4,5 т кисню, що в 50 разів більше потреб людини. При цьому автомобіль викидає в атмосферу: чадного газу – 700 кг/рік, діоксиду азоту – 40 кг/рік, незгорілих вуглеводнів – 230 кг/рік і твердих речовин – 2 – 5 кг/рік.

Автомобільний транспорт забруднює атмосферу трьома способами: емісією шкідливих речовин з відпрацьованими газами, проривом газів у картер двигуна й емісією шкідливих речовин у результаті випару палива в паливних баках, інжекторах, карбюраторах, а також у результаті витоків палива. Головним з них є перший спосіб, на частку якого приходить близько 2/3 шкідливих викидів автомобілів в атмосферу.

Основними нетоксичними компонентами відпрацьованих газів автотранспортних засобів є азот, кисень, пари води і вуглекислий газ. Усього нараховується близько 200 шкідливих (забруднюючих) речовин, багато яких небезпечні для здоров'я людини. До токсичних компонентів відносяться: оксиди вуглецю, оксиди азоту, альдегіди, вуглеводні, сірчистий газ, сажа, бензопірен та ін.

Для прикладу візьмемо столицю України – місто Київ. У міжнародній доповіді про якість повітря за 2020 рік Київ посів 39 місце серед світових столиць за забрудненістю повітря дрібними частинками. Також за даними порталу IQAir, протягом цього та минулого року столиця України неодноразово потрапляла у першу десятку рейтингу міст світу з найбільш забрудненою атмосферою. Ось кілька фактів, які треба знати про якість повітря у Києві[1]:

1. Якість атмосферного повітря залежить від двох основних джерел забруднення: пересувних і стаціонарних. Забруднення атмосферного повітря міста Києва до 85% спровоковано викидами від пересувних джерел – транспорту. 15% становлять забруднення від стаціонарних джерел, зокрема промислового комплексу міста.

2. Лише 4% забруднення від пересувних джерел припадає на авіа-, залізничний та водний транспорт. Решта – на автомобільний транспорт. Близько 70% від загальної кількості викидів автотранспортних засобів здійснюють приватні авто. У Києві офіційно зареєстровано 1,2 мільйони автомобілів. За прогнозами, кількість приватних авто в столиці збільшиться на 60% до 2025 року.

3. Викиди від автомобілів особливо небезпечні тому, що здійснюються в безпосередній близькості від пішохідних зон. Найбільша кількість токсичних речовин виділяється під час пуску й зупинки двигуна, а також під час його роботи в холостому режимі. Тобто максимальна концентрація

токсичних речовин у містах спостерігається на перехрестях та біля світлофорів. Близько 50% викидів в межах міста припадає на траси з малою швидкістю руху і менше 25% – на швидкісні траси.

4. До основних забрудників повітря відносять тверді частинки пилу (PM10 і PM2.5), двоокис азоту (NO₂), двоокис сірки (SO₂), вуглеводні (C_nH_m), альдегіди (RCHO), оксид вуглецю (CO), важкі метали (арсен, кадмій, нікель, ртуть), формальдегід (CH₂O), недиференційовані частинки та бензопірен (C₂₀H₁₂).

5. Державна система контролю якості повітря була сформована у 70-х роках. У Києві працюють 16 державних стаціонарних постів, які здійснюють моніторинг якості повітря. Проби беруться 3–4 рази на добу, але система не може інформувати населення в режимі реального часу.

6. За даними МОЗ, у 2020 році 78% передчасних смертей від інфаркту та інсульту в Україні спровоковані забрудненням повітря. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, Україна посідає 15-те місце у світі та п'яте в Європі за рівнем смертності від забрудненого повітря.

7. 90% стаціонарних джерел забруднення — підприємства енергетичної галузі (ТЕЦ-5, ТЕЦ-6, ПАТ "Київгаз", КП "Київтеплоенерго", завод "Енергія" тощо). Щороку вони продукують понад 25 тисяч тонн забруднюючих речовин та до 5 мільйонів тонн діоксиду вуглецю.

8. Пікові погіршення стану повітря ми зазвичай спостерігаємо через погодні умови. Висока вологість, відсутність вітру, температурна інверсія (підвищення температури повітря з висотою) сприяють тому, що забруднюювальні речовини не розсіюються в атмосферному повітрі. Також на статистику якості повітря впливають надзвичайні явища – лісові пожежі або пилові бурі.

9. Наприкінці 2020 року на вулиці Вербицького, що на Харківському масиві, та на Харківському шосе, було встановлено 2 автоматизовані станції, які показують якість повітря в реальному часі та на онлайн-мапі. Загалом в Києві планували встановити до 70 таких станцій.

10. В більшості країн для інформування громадськості про рівень забруднення використовується стандарт AQI – air quality index (індекс якості повітря). Розрізняють кілька рівнів забруднення. Найменший, "зелений" рівень – "хороший" від 0 до 50 AQI (забруднення відсутнє або ж становить незначний ризик для здоров'я). Найвищий, "темно-бордовий" – "важкий" до 500 AQI (небезпечний навіть для здорових людей). У місті Київ на цей час встановлено 409 станцій моніторингу стану атмосферного повітря, з них 125 працює. На рис. 1 показаний середній індекс якості повітря у місті Київ за останніми даними[2].

Середній індекс якості повітря у місті Київ

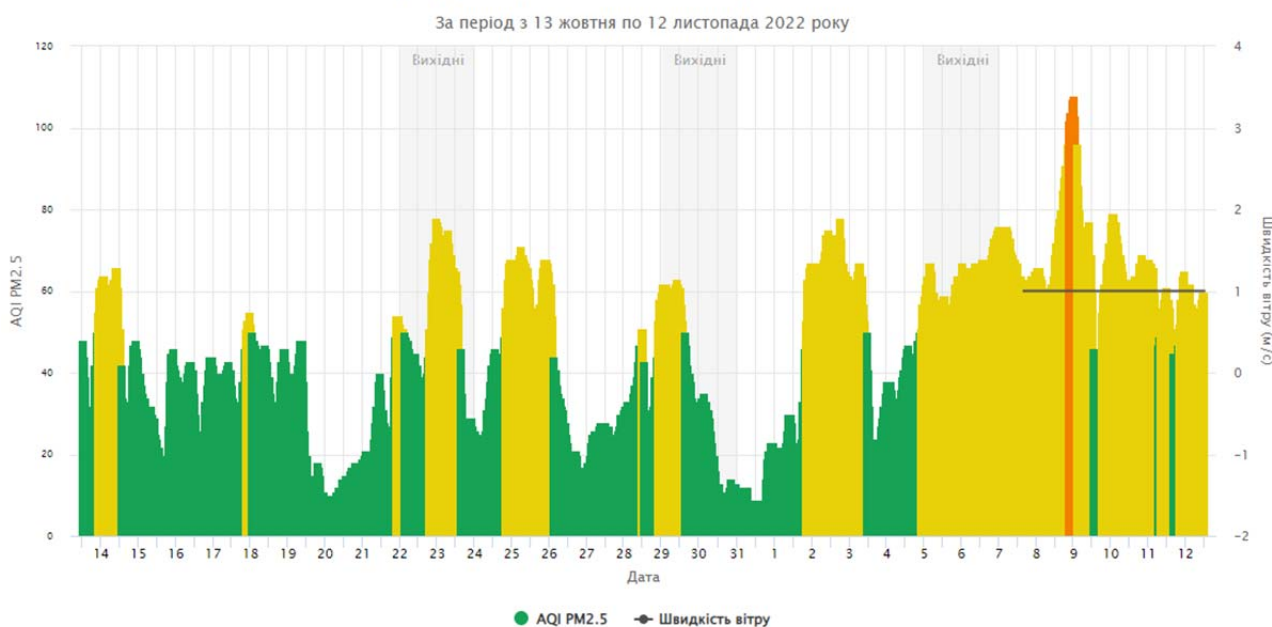


Рисунок 1 – Середній індекс якості повітря AQI – air quality index, у місті Київ

Figure 1 – Average air quality index AQI – air quality index, in the city of Kyiv

В ролі основних забруднювачів ґрунтів виступають метали та їхні сполуки. Масовий небезпечний характер носить забруднення ґрунтів свинцем. З'єднання свинцю використовують як добавку до бензину, тому автотранспорт є серйозним джерелом свинцевого забруднення[3].

Автотранспорт також спричиняє негативний вплив акустичним (шумовим) забрудненням на центральних магістралях. Результати акустичних вимірів та соціологічні дослідження свідчать, що

головним джерелом акустичного забруднення у місті є автотранспорт. Приблизно кожний другий житель міста страждає від створюваного ним шуму.

Водночас джерелом значного шуму є відкриті ділянки метрополітену і міські трамваї. Шкідливий вплив не тільки на населення, а й на споруди спричиняє вібрації уздовж ліній метрополітену. На сьогодні спостерігається тенденція до розширення площ акустичного дискомфорту на забудованих територіях. Недосконалість законодавчо-нормативної бази, відсутність економічних важелів регулювання допустимих рівнів звуку, є причиною зростання акустичного забруднення міста.

Рівні акустичного забруднення у місті можуть справляти негативний вплив на здоров'я і самопочуття населення, у тому числі збільшувати кількість серцево-судинних захворювань.

Акустична оцінка, проведена санепідслужбою та фахівцями Інституту гігієни і медичної екології Академії медичних наук України, засвідчила, що в зоні впливу загальноміських магістральних вулиць еквівалентні рівні шуму лише на відстані 50 м від проїжджої частини вулиці відповідають гігієнічним нормативам, районних – 30 м, вулицях міського значення – 25 м[4].

Крім прямого негативного впливу на людину викиди від автотранспорту наносять і непрямі шкоди. Так, підвищення концентрації кінцевого продукту горіння автомоторного палива – діоксиду вуглецю, призводить до глобального підвищення температури атмосфери та є причиною утворення так званого парникового ефекту. Багато експертів цим пояснюють значну кількість природних катаклізмів, які відбуваються останнім часом. Ще однією з гострих проблем є з'єднання сірки та оксидів азоту, котрі викидаються в атмосферу з відпрацьованими газами двигунів автомобілів. Вони піддаються хімічним перетворенням, формуючи різні кислоти і солі. Через певний період ці речовини повертаються на землю у вигляді «кислотних дощів».

Основними причинами підвищеного забруднення атмосферного повітря від автомобілів також є незадовільна якість палива та низькі техніко-експлуатаційні показники парку автотранспортних засобів[5].

Двигун внутрішнього згорання (ДВЗ) – це тип двигуна, теплової машини, в якій хімічна енергія палива (зазвичай застосовується рідке або газоподібне вуглеводневе паливо), що згорає в робочій зоні, перетворюється в механічну роботу. Незважаючи на те, що двигун внутрішнього згорання є недосконалим типом теплових машин (сильний шум, токсичні викиди, малий ресурс), завдяки своїй автономності (необхідне паливо містить набагато більше енергії, ніж найкращі електричні акумулятори) ДВЗ стали дуже популярними. Основним недоліком двигуна внутрішнього згорання є те, що він виробляє високу потужність тільки у вузькому діапазоні оборотів. Тому його невід'ємними атрибутами є трансмісія і стартер. Лише в окремих випадках (наприклад, в літаках) можна обійтися без складної трансмісії. Крім цього двигуну внутрішнього згорання потрібні паливна система (для подачі паливної суміші) і вихлопна система (для відведення вихлопних газів)[6].

Двигун внутрішнього згорання в автомобілях – це найголовніша складова. Якби ДВЗ не був винайдений, тоді б галузь автомобілебудування, швидше за все, зупинилася б на колесі і не розвинулася далі до сучасних масштабів. Двигун зробив справжню революцію.

У 1815 році про те, що таке ДВЗ і як його можна використовувати, задумався Готтліб Даймлер. Він не просто створив ефективний двигун, а налагодив виробництво прототипу сучасного агрегату з вертикальним розташуванням циліндрів і карбюраторним впорском. Він створив те, що сьогодні називають прототипом сучасного газового двигуна – пристрій з вертикально розташованими циліндрами і карбюратором. Для цих цілей Даймлер спільно зі своїм другом Вільгельмом Майбахом (Wilhelm Maybach) придбали майстерню біля міста Штутгарт. Двигун створювався для того, щоб він міг рухати екіпаж, тому вимоги до нього були досить значними. Двигун внутрішнього згорання повинен був бути компактним, володіти достатньою потужністю і не вимагати газогенератора. "Reitwagen" – так назвали перший двоколісний транспортний засіб винахідники. Рік по тому на світ з'явився і перший прототип 4-х колісного авто. Майбах розробив ефективний карбюратор, який забезпечував ефективне випаровування палива. У той же час угорець Банкі запатентував пристрій карбюратора з жиклером. На відміну від попередників, у новому карбюраторі пропонувалося не випаровувати, а розпорошувати паливо, яке випаровувалося безпосередньо в циліндрі двигуна. Так само карбюратор дозував паливо і повітря і рівномірно змішував їх у потрібній пропорції[7].

Це перший на той момент компактний механізм, який потім сприяв розвитку автомобілебудування.

Основна особливість будь-якого механізму внутрішнього згорання в тому, що паливна суміш підпалюється безпосередньо в робочій камері, а не в якихось зовнішніх носіях. У процесі роботи двигуна виділяється хімічна і теплова енергія, яка перетворюється на механічну[6].

Робочий цикл – це суворі послідовності робочих процесів (тактів), які періодично повторюються у всіх циліндрах двигуна внутрішнього згоряння. Кожен такт відбувається протягом одного ходу поршня.

Двигуни внутрішнього згоряння бувають 4-тактними і 2-тактними. В 4-тактному моторі один робочий цикл здійснюється за чотири ходи поршня, в 2-тактному – за два. У сучасних автомобілях використовується 4-тактний двигун. Що стосується 2-тактних, то вони, як правило, встановлюються на мотоциклах, мопедах, моторних човнах і т. п.

Робочий цикл 4-тактного двигуна внутрішнього згоряння включає в себе наступні такти:

- впуск;
- стиск;
- робочий хід;
- випуск.

Для спалювання палива в теплових машинах витрачається велика кількість кисню. Згоряння палива майже ніколи не буває повним, тому відбувається забруднення повітря золою, пилками, сажею та іншими шкідливими елементами. Енергетичні установки викидають в атмосферу щорічно 230-290 млн м³ золи і 60 млн м³ оксиду сірки, 400 млн т оксиду вуглецю, 250 млн т хлору, фтору, свинцю, ртуті та інших шкідливих речовин[7].

У нашій країні проблема охорони навколишнього середовища має загальнодержавне значення. У містах, де концентрація транспортних засобів максимальна, транспорт переважно є одним з основних джерел забруднення. Таким чином, зменшення шкідливих викидів рухомим складом автомобільного транспорту є актуальною національною економічною і соціальною проблемою. Отже, питання раціонального використання автотранспорту та шляхи зменшення його шкідливого впливу на навколишнє середовище та людину, залишаються відкритими.

Існують такі шляхи вирішення проблеми забруднення докілля: технологічні, організаційно-експлуатаційні, соціально-економічні[8].

1) Технологічні заходи:

На всіх машинах, вироблених в Україні і тих, що ввозяться з-за кордону, діють обмеження щодо вмісту шкідливих речовин в автомобільних вихлопах. Тільки суворе дотримання параметрів дозволить транспортному засобу отримати сертифікат у акредитованих представників. Кінцева мета стандартизації – зробити автомобілі максимально безпечними для людини і навколишнього середовища за рахунок зниження викидів в атмосферу.

Європейські екологічні стандарти встановлюють суворе обмеження на допустиму кількість викиду різних забруднюючих атмосферу речовин. Кожен новий «Euro» – стандарт ще сильніше посилює ці обмеження, знижуючи інтенсивність забруднення навколишнього середовища. Європейським екологічним стандартом регулюється викид наступних речовин:

- вуглекислий газ;
- вуглеводень;
- оксид азоту;
- тверді частки.

Стандарт «Euro 5» був прийнятий в ЄС у 2008 році. Однак поширювався він тоді тільки на вантажну техніку. Діяти для легкового транспорту він почав через рік. «Євро-5» не тільки знову посилює вимоги, але і передбачає вилучення з обороту всього палива, яке не відповідає новим стандартам, до кінця 2015 року. Новий стандарт також став враховувати пробіг автомобіля, вбудовані системи скорочення викидів шкідливих речовин, і можливість переобладнання двигуна під нові вимоги. Для відповідності стандарту Євро-5, присутність фільтра сажі у вихлопній системі дизельного автомобіля стає обов'язковим.

Сучасний стандарт «Euro 6» був введений у вересні 2014 року і обов'язковий для автомобілів, випущених з вересня 2015 р. У ньому викиди шкідливих речовин скорочуються на 67% в порівнянні з «Euro 5». Досягти цього можна тільки із застосуванням спеціальних засобів в системі вихлопу автомобіля. Він не надає особливого впливу на бензинові двигуни, але дуже серйозно посилює вимоги до дизельних. Допустима кількість шкідливих речовин скоротилася в середньому в 3 рази.

На сьогодні стандарту Євро-6 можуть відповідати здебільше гібридні автомобілі, такі як, наприклад Toyota Prius, у якому одночасно і бензиновий, і електричний двигуни, що значно допомагає знизити викиди шкідливих речовин в атмосферу.

Екологічні стандарти «Euro 7», що набирають чинності у 2025 році, зроблять електрокари більш вигідними, ніж бензинові авто, впевнені аналітики другого за величиною автовиробника світу[9].

Підсилення жорсткості екологічних умов експлуатації автомобілів за останні тридцять років наглядно видно із таблиці динаміки граничних норм викидів бензинових та дизельних автомобілів за стандартами «Euro» (табл. 1).

Таблиця 1 – Граничні норми викидів бензинових та дизельних автомобілів за стандартами «Euro»

Table 1 – Emission limits of gasoline and diesel cars according to "Euro" standards

	Рік впровадження	CO (оксид вуглероду), г/км	HC-NO _x (гідрокарбонати на оксиди азоту), г/км	HC (гідрокарбонати), г/км	NO _x (оксиди азоту), г/км	PM (сажа), г/км
Бензинові автомобілі						
Euro 1	1992	2,72	0,97	-	-	-
Euro 2	1996	2,2	0,5	-	-	-
Euro 3	2000	2,3	-	0,20	0,15	-
Euro 4	2005	1,0	-	0,1	0,08	-
Euro 5	2008	1,0	-	0,1	0,06	0,05
Euro 6	2013	1,0	-	0,1	0,06	0,05
Дизельні автомобілі						
Euro 1	1992	2,72	0,97	-	-	0,14
Euro 2	1996	1,0	0,7	-	-	0,08
Euro 3	2000	0,64	-	0,56	0,5	0,05
Euro 4	2005	0,5	-	0,3	0,25	0,025
Euro 5	2008	0,5	-	0,23	0,18	0,005
Euro 6	2013	0,5	-	0,17	0,08	0,005

Тенденції, спрямованість та тренди щодо змін вимог стандартів Euro наглядно продемонстровані на рис.2 та рис.3. На ньому чітко показані вищенаведені дані з табл.1. Рис.2 відображає граничні норми викидів, які були встановлені для бензинових автомобілів, такі ж самі норми вказані для дизельних автомобілів на рис.3.

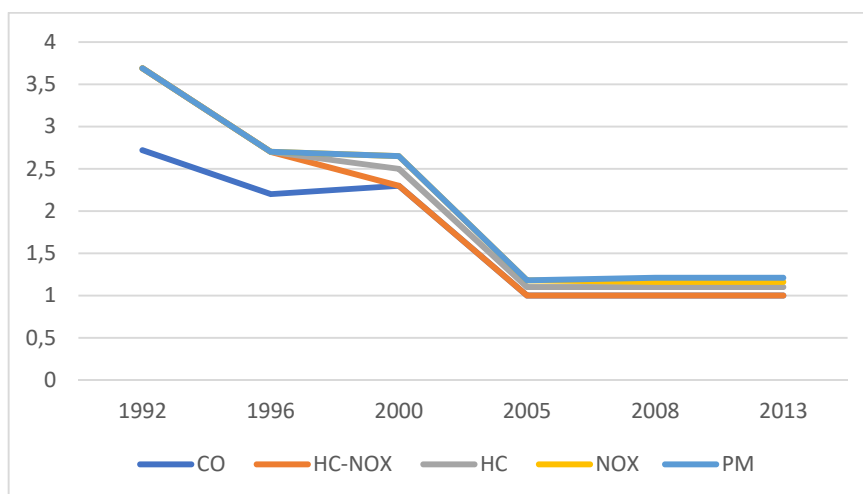


Рисунок 2 – Динаміка змін показників граничних норм викидів бензинових автомобілів згідно стандартів «Euro – 1, 2, 3, 4, 5, 6»
Figure 2 – Dynamics of changes in the maximum emission standards of gasoline cars according to the standards "Euro - 1, 2, 3, 4, 5, 6"

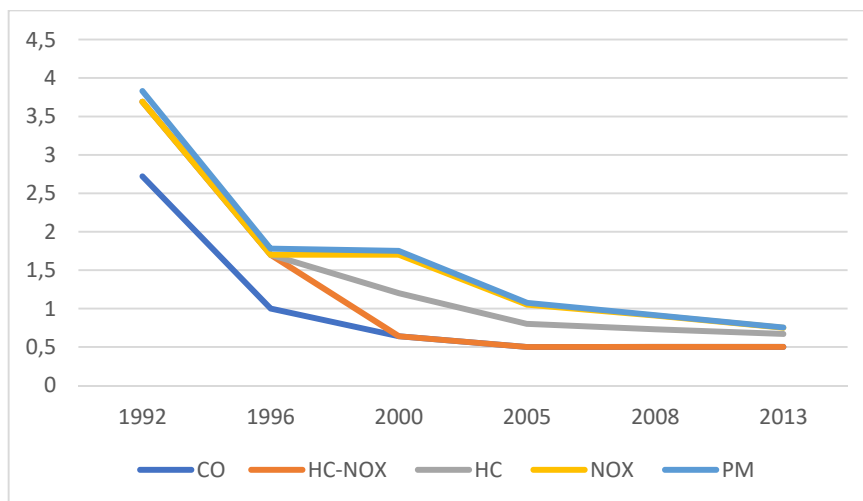


Рисунок 3 – Динаміка змін показників граничних норм викидів дизельних автомобілів згідно стандартів «Euro – 1, 2, 3, 4, 5, 6»

Figure 3 – Dynamics of changes in indicators of the maximum emission standards of diesel cars according to the standards "Euro - 1, 2, 3, 4, 5, 6"

Отже, головна ціль технічних заходів – це використання на автотранспорті спеціальних моторних мастил, присадок до них та палива, модифікаторів кінематичних вузлів автомобілів, впровадження каталітичних перетворювачів палива та ін., що призведе до зменшення витрат пального, зменшення викидів забруднюючих речовин та збільшення моторесурсів двигунів.

2) Організаційно-експлуатаційні заходи:

Незважаючи на незалежність цілей ресурсного та екологічного аспектів проблеми, генеральна мета їх є спільною. Вона полягає у створенні екологічно безпечних, ресурсозберігаючих, маловідходних та безвідходних виробництв і територіально-виробничих комплексів різного рівня (промвузол, місто, район тощо), де відходи одних виробництв повністю чи частково будуть сировиною для інших, тобто каскадної схеми виробництва.

Розв'язання проблеми відходів має розглядатися з позицій так званого промислового метаболізму, згідно з яким економіка, структура виробництва і споживання, а також якість життя є єдиною системою і відповідно єдиною соціально-економічною проблемою.

Оскільки проблема відходів стосується різних суб'єктів соціально-економічної діяльності (виробництв, пов'язаних з утворенням відходів, розробників технологій їх утилізації, місцевих органів виконавчої влади та органів екологічної безпеки на місцях, де утворюються та/або зберігаються відходи), то цілком очевидно, що вирішення завдань цих суб'єктів потребує створення єдиної науково-методичної, законодавчої та організаційно-правової основи. Тому метою методико-організаційного аспекту є:

- встановлення в містах ліміту швидкості автомобільного транспорту 60 км/год, за якої кількість вихлопних газів найменша;
- перехід на використання автомобілів, що живляться електроенергією, на безвикидову електричну тягу;
- врахування реальних пасажиропотоків та їх нестаціонарностей при формуванні структури пасажирського рухомого складу і випуску його на лінію;
- проектування об'їзних шляхів для транзитного транспорту;
- створення дорожніх розв'язок на двох чи трьох рівнях з метою зменшення кількості зупинок перед світлофорами, коли різко зростає викид газів;
- оснащення нових автомобілів ефективними системами і пристроями зниження викидів (каталітична нейтралізація, автомати запуску і прогрівання, системи уловлювання пари пального);
- розробка комплексу технологій, методик та технічних засобів для оцінки екологічної безпеки автомобілів під час їх експлуатації;
- розробка комплексу технологій і технічних засобів для оцінки та захисту довкілля від забруднення у виробничих зонах автопідприємств;
- збільшення парку автомобілів і автобусів, які працюють на газоподібному пальному;
- розроблення концептуальних і програмно-цільових засад проблеми відходів;

- створення науково-методичного забезпечення еколого-економічних оцінок вторинного ресурсокористування, механізму економічного стимулювання та нормативної бази;
 - розроблення інформаційно-аналітичного апарату підтримки ресурсних та екологічних завдань;
 - створення комплексу адміністративних, правових, організаційних та екологічних заходів щодо стимулювання утилізації та знешкодження відходів.
- Досягнення цілей ресурсного аспекту передбачає:
- визначення обсягів і темпів утворення та дислокації відходів;
 - визначення складу та властивостей відходів;
 - аналіз умов і закономірностей використання первинної і вторинної сировини, стану сировинного ринку, економічну оцінку доцільності утилізації відходів;
 - обґрунтування концепції пріоритетних напрямів і масштабів розвитку вторинного ресурсокористування, цільових програм;
 - проблемно-орієнтовану класифікацію відходів за ресурсними ознаками;
 - розроблення нових і вдосконалення діючих технологій та виробничих схем утилізації відходів;
 - забезпечення селективного складування відходів за їх властивостями та консервацію ресурсоінних відходів (створення техногенних родовищ);
 - розроблення конкретних рекомендацій і обґрунтувань щодо утилізації відходів, проектування технологічних ланцюгів комплексної переробки сировини.

Для досягнення цілей екологічного аспекту потрібно вирішити такі завдання:

- визначити токсичність відходів і вивчити механізм та наслідки їх впливу на екосистему;
- класифікувати відходи за їх екологічною небезпечністю;
- розробити вимоги складування та зберігання відходів за категоріями токсичності;
- дати обґрунтування економічним заходам для знешкодження та захоронення відходів, зменшення їх токсичності та загальної кількості;
- розробити методи, засоби та технології знешкодження токсичних відходів;
- створити регіональні полігони для знешкодження токсичних відходів[10].

3) Соціально-економічні заходи:

Економіці України притаманна висока питома вага ресурсомістких та енергоємних технологій, впровадження та нарощування яких здійснювалося найбільш дешевим способом без будівництва відповідних очисних споруд. Це було можливим за відсутності ефективно діючих правових, адміністративних та економічних механізмів природокористування та без врахування вимог екологічної безпеки.

В Україні й досі не існують економічні стимули впровадження екологічно безпечних технологій. Низьким залишається рівень застосування інноваційних, ресурсозберігаючих та природоохоронних технологій, включаючи і технології переробки, утилізації та знищення відходів[11].

В Європі тема захисту довкілля і «зеленого» енергетичного переходу стала вже ключовим орієнтиром для розвитку. Натомість Україна, схоже, лише починає мислити цими категоріями, адже за станом екології продовжує бити усі антирекорди.

Україна займає 5 місце в Європі за показником смертності на 100 тис. осіб від забрудненості повітря. Країна також зайняла 8-е в Європі і 43-є місце у світі серед країн із найбільш забрудненим повітрям у 2020 р.

Три українських міста входять до ТОП-25 найбільш забруднених міст Європи – це Дніпро, Київ та Одеса. До того ж серед світових столиць Київ – на 39 місці за забрудненістю повітря дрібними частинками.

Макроекономічні втрати від забруднення довкілля автотранспортом в Україні оцінюють в еквіваленті 2,5 млрд євро щороку. Така ситуація спричинена, зокрема, великою кількістю викидів від автотранспортних засобів, адже, середній вік парку легкових автомобілів в Україні – 22,7 роки. Це у два рази більше, ніж в ЄС (11,5 років).

За даними Кадастру викидів парникових газів України 2019 р., 12% парникових газів в Україні виробляються транспортом. Однак така ситуація вкрай нерівномірна по регіонам. Зокрема, у Києві близько 90% викидів спричинені саме транспортом.

Екологічна ситуація в Україні невтішна, тому весь транспортний сектор і його підгалузі мають проявити більше ініціативи, щоб хоча б наблизитись до досягнень ЄС у цій сфері, а головне – зробити чисте повітря знову нормою, а не розкішшю[12].

Для вирішення проблеми також необхідно впровадити соціально-економічні шляхи вирішення, а саме:

- жорсткий контроль за якістю пального, що постачається і реалізується автозаправними станціями, його відповідністю державним стандартам;
- екологізація міського громадського транспорту, розширення зелених площ та створення велосипедних доріжок;
- розробити систему екологічно спрямованого ціноутворення щодо користування міським пасажирським транспортом, яка передбачає для автовласників безумовну вигідність користування ним, замість використання особистих легкових автомобілів для робочих поїздок в місті;
- розробити комплекс соціальних заходів щодо підвищення рівня екологічної грамотності населення та відповідної мотивації;
- всебічно пропагандувати екологічні стандарти Євросоюзу з метою переходу на них в Україні;
- залучати громадськість, зокрема молодь, до вирішення такого роду екологічних проблем, тощо[6].

Отже, впровадження сучасних соціально-економічних стандартів використання автомобілів сприяє зменшенню викидів шкідливих речовин у повітря та виступає каталізатором стрімкого розвитку технологій автомобілебудування. У подальшому країни Європейського союзу планують взагалі відмовитися від автомобілів з дизельними двигунами, віддавши перевагу електричним автомобілям. Вже сьогодні швидкими темпами розвивається інфраструктура електричних заправок та профільних сервісів. Цей досвід необхідно переймати і Україні, адже за електричним транспортом майбутнє.

Висновок. Основними причинами забруднення атмосфери є використання технологій, велика частина яких не відповідає сучасним екологічним вимогам, невиконання у встановлені терміни атмосферозахисних заходів щодо зниження шкідливих викидів, низький рівень експлуатації пилогазоочисних споруд. Терміни експлуатації технологічного устаткування, у першу чергу у чорній і кольоровій, хімічній та вугільній промисловостях, значно перевищують встановлений норматив, що є наслідком повільного впровадження нових маловідходних технологій. Кризова екологічна ситуація, що існує зараз в Україні, об'єктивно є результатом загальної несприятливої соціально-економічної політики природокористування в країні, що склалася в попередні роки. У сучасних умовах стало очевидним, що проблеми навколишнього середовища й економічного розвитку не можуть розглядатися відокремлено. Потрібним є також врахування того факту, що забруднення повітря, викиди в атмосферу тепла і токсичних речовин носять трансграничний характер, і заподіюють значний збиток навколишньому середовищу не тільки однієї, а й багатьох країн. Інтенсивне забруднення повітря, проблеми зменшення озонового шару, утворення кислотних опадів, запобігання зміні клімату потребують негайного вирішення. Означені питання викликають найбільше занепокоєння, саме тому їм повинна приділятися ретельна увага на регіональному, державному та міжнародному рівнях.

Вирішення екологічних проблем тільки в одній галузі народного господарства – в транспортному секторі країни, дасть можливість не тільки значно знизити напругу техногенного навантаження на довкілля, сприяти збереженню унікальних природних та історико-культурних ландшафтів, а й суттєво зменшити рівень захворюваності населення.

Шкідливий вплив на атмосферу автомобільних викидів традиційних авто з двигунами, працюючими на бензині, дизпаливі та газу, заважає існувати людству. Треба переходити на використання автомобілів, що живляться електроенергією, на безвикидову електричну тягу (вже є й водневі серійні автомобілі, але створити масову мережу заправок водневих двигунів наразі складно і дорого, це задача майбутнього). Масове використання електроавтомобілів та переведення пасажирських автоперевезень на електробусний рухомий склад дозволить значно зменшити екологічне забруднення навколишнього середовища та знизити «парниковий ефект». Доповнити позитивний екологічний ефект електричної тяги має інноваційна модульна система застосування автобусних електротягачів та різноманітних за пасажиромісткістю електропричепів при виконанні маршрутних перевезень в містах-мегаполісах. Модульний принцип формування електробусних маршрутів дозволить оптимізувати загальні витрати на перевезення та врахувати маючу місце сезонну, тижневу та добову нестаціонарність пасажиропотоків

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Обережно: повітря! 12 фактів про те, чим дихають мешканці Києва. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://interfax.com.ua/news/blog/760604.html>

2. Рівень забруднення атмосферного повітря у місті Київ. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.saveecobot.com/maps/kyiv>
3. Вплив автотранспорту на навколишнє середовище в Україні. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/05/41.pdf>
4. Екологічні проблеми транспортної галузі: погляд громадськості. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://ecoleague.net/pro-vel/misiia-vel/vystupy-publikatsii/2011/item/68-ekolohichni-problemy-transportnoi-haluzi-pohliad-hromadskosti>
5. Організація управління в екобезпеці з метою зменшення впливу від роботи транспорту на довкілля та людину. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/ecology/ecology2021/paper/viewFile/13630/11572>
6. Що таке ДВЗ в автомобілі? Електронний ресурс. Режим доступу: <https://gazette.com.ua/transport/shcho-take-dvz-v-avtomobili.html>
7. Двигун внутрішнього згорання. Електронний ресурс. Режим доступу: <http://www.npblog.com.ua/index.php/tehnika/dvigun-vnutrishnogo-zgorannja.html>
8. Гутаревич Ю.Ф. Екологія та автомобільний транспорт : навч. посібн. / Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун, А.О. Корпач, Л.П. Мержієвська. – Вид. 2-ге, [перероб. та доп.]. – К. : Вид-во "Арістей", 2008. – 296 с
9. Впровадження екологічних стандартів EURO. Електронний ресурс. Режим доступу: https://af.khadi.kharkov.ua/fileadmin/F-AUTOMOBILE/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%BB%D1%96%D0%B2/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%96_%D0%BF%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96_%D1%81%D1%82%D1%83%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%96%D0%B2/2018/%D0%BA%D0%B0%D1%84_%D1%82%D0%B5%D1%81%D0%B0/TESA_Zuzko.pdf
10. Постанова Верховної ради України про “Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки”. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://ips.ligazakon.net/document/F980188?an=528>
11. Екологічна безпека технологічних процесів. Електронний ресурс. Режим доступу: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41512/1/Ekologichna_bezpeka.pdf
12. Викиди від транспорту і як з ними боротися. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://fra.org.ua/uk/an/publikatsii/analitika/vikidi-vid-transportu-i-iak-z-nimi-borotisia>
13. Порфіренко В.І., Дехтяренко Д.П., Гребельник М.М., Хобта М.О. Транспорт мегаполісів: сучасний стан, проблеми, реінжиніринг та екологічне вдосконалення. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Економічні науки». Науково-технічний збірник. К. : НТУ, 2022. Вип. 2 (52). С.224-233. [https:// DOI: 10.33744/2308-6645-2022-2-52-224-233](https://doi.org/10.33744/2308-6645-2022-2-52-224-233).
14. Порфіренко В.І. Перспективи розвитку та ефективного застосування електричних автобусів при виконанні пасажирських перевезень. – 36.: Соціально-компетентне управління корпораціями в умовах поведінкової економіки: – Луцьк, СЕНУ, 2020, с.108 – 112.
15. Порфіренко В.І., Полосухін Д.Г. Економічне обґрунтування застосування модульного принципу використання електробусів у пасажирському сполученні мегаполісів. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Економічні науки». Науково-технічний збірник. 2021. Вип. 2 (49). С. 131-1.
16. Порфіренко В.І., Гребельник М.М., Дехтяренко Д.П. Аналіз парку електричних автомобілів та ефективність модульного застосування електробусів в мегаполісах. Вісник Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. Серія «Економічні науки». Черкаси. ЧНУ, 2019. Випуск 3.– С. 146-155. DOI: 10.31651/2076-5843-2019-3.

REFERENCES

1. Caution: air! 12 facts about what Kyiv residents breathe. Electronic resource. Access mode: <https://interfax.com.ua/news/blog/760604.html>
2. The level of atmospheric air pollution in the city of Kyiv. Electronic resource. Access mode: <https://www.saveecobot.com/maps/kyiv>
3. Impact of motor vehicles on the environment in Ukraine. Electronic resource. Access mode: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/05/41.pdf>
4. Environmental problems of the transport industry: public opinion. Electronic resource. Access mode: <https://ecoleague.net/pro-vel/misiia-vel/vystupy-publikatsii/2011/item/68-ekolohichni-problemy-transportnoi-haluzi-pohliad-hromadskosti>

5. Organization of eco-safety management in order to reduce the impact of transport on the environment and people. Electronic resource. Access mode: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/ecology/ecology2021/paper/viewFile/13630/11572>
6. What is an internal combustion engine in a car? Electronic resource. Access mode: <https://gazette.com.ua/transport/shcho-take-dvz-v-avtomobili.html>
7. Internal combustion engine. Electronic resource. Access mode: <http://www.npblog.com.ua/index.php/tehnika/dvigun-vnutrishnogo-zgorannja.html>
8. Gutarevich Yu.F. Ecology and road transport: education. manual / Yu.F. Gutarevich, D.V. Zerkalov, A.G. Govorun, A.O. Korpach, L.P. Merzhievskaya. – View. 2nd, [edit. and additional]. – K.: "Aristei" Publishing House, 2008. – 296 p
9. Implementation of EURO environmental standards. Electronic resource. Access mode: https://af.khadi.kharkov.ua/fileadmin/F-AUTOMOBILE/%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B1%D1%96%D0%BB%D1%96%D0%B2/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%96_%D0%BF%D1%80%D0%B0%D1%86%D1%96_%D1%81%D1%82%D1%83%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%96%D0%B2/2018/%D0%BA%D0%B0%D1%84_%D1%82%D0%B5%D1%81%D0%B0/TESA_Zuzko.pdf
10. Resolution of the Verkhovna Rada of Ukraine on "The main directions of the state policy of Ukraine in the field of environmental protection, use of natural resources and ensuring environmental safety." Electronic resource. Access mode: <https://ips.ligazakon.net/document/F980188?an=528>
11. Environmental safety of technological processes. Electronic resource. Access mode: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/41512/1/Ekologichna_bezpeka.pdf
12. Emissions from transport and how to deal with them. Electronic resource. Access mode: <https://fra.org.ua/uk/an/publikatsii/analitika/vikidi-vid-transportu-i-iak-z-nimi-borotisia>
13. Porfirenko V.I., Dekhtyarenko D.P., Grebelnyk M.M., Khobta M.O. Transportation of megacities: current state, problems, reengineering and ecological improvement. Bulletin of the National Transport University. Series "Economic Sciences". Scientific and technical collection. K.: NTU, 2022. Vol. 2 (52). P.224-233. [https:// DOI: 10.33744/2308-6645-2022-2-52-224-233](https://doi.org/10.33744/2308-6645-2022-2-52-224-233).
14. Porfirenko V.I. Prospects for the development and effective use of electric buses in passenger transportation. – Collection: Socially competent management of corporations in the conditions of behavioral economics: – Lutsk, SENU, 2020, p.108 – 112.
15. Porfirenko V.I., Polosukhin D.G. Economic justification of the application of the modular principle of using electric buses in the passenger connection of megacities. Bulletin of the National Transport University. Series "Economic Sciences". Scientific and technical collection. 2021. Issue 2 (49). P. 131-1.
16. Porfirenko V.I., Grebelnyk M.M., Dekhtyarenko D.P. Analysis of the fleet of electric cars and the effectiveness of the modular application of electric buses in megacities. Bulletin of the Cherkasy National University named after Bohdan Khmelnytskyi. Series "Economic Sciences". Cherkasy. ChNU, 2019. Issue 3.– P. 146-155. DOI: 10.31651/2076-5843-2019-3.

РЕФЕРАТ

Порфіренко В.І. Заходи мінімізації забруднення довкілля при експлуатації автотранспорту / В.І. Порфіренко, Є.Р. Кудін // Вісник Національного транспортного університету. Секція «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Стаття присвячена дослідженню завантаженості міських доріг в Україні та впливу транспорту на забруднення довкілля. Особливу увагу приділено міському транспорту. Розвиток екологічного громадського транспорту є найдієвішим методом боротьби зі шкідливими викидами. На сьогодні впроваджено вже 6 євро – стандартів, що допомагають зменшувати викиди шкідливих речовин з автомобілів.

Об'єкт дослідження – рівень завантаженості міських доріг в Україні та екологічний стан в країні.

Мета роботи – дослідження проблеми забруднення транспортом навколишнього середовища та пропозиції щодо його покращення.

Методи дослідження – статистичні методи.

Проведено аналіз рівня забрудненості середовища в Україні. Проведений аналіз розвитку міського транспорту. Проведено аналіз останніх євро-стандартів. Проведено порівняльний аналіз основних переваг та недоліків автомобілів, які працюють на бензині та дизпаливі. Проведено аналіз шляхів розвитку та використання євро-стандартів для автомобілів в великих містах розвинутих

державих світу. На основі проаналізованих даних, запропоновано провести 3 види заходів щодо покращення рівня забрудненості довкілля транспортом: технологічні – впровадження євро-стандартів, організаційно-експлуатаційні – створення екологічно безпечних, ресурсозберігаючих, маловідходних та безвідходних виробництв і територіально-виробничих комплексів різного рівня, соціально-економічні – вирішення проблеми за необхідністю впровадити певних економічних заходів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТРАНСПОРТ, ЄВРО-СТАНДАРТ (EURO), ДВИГУНИ, ТРАФИК, ЗАГАЗОВАНІСТЬ, ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ, НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ.

ABSTRACT

Porfirenko V.I., Kudin Y.R. Measures to minimize environmental pollution during vehicle operation. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article is devoted to the study of the congestion of city roads in Ukraine and how transport affects environmental pollution. Special attention is paid to urban transport. The development of ecological public transport is the most effective method of combating harmful emissions. To date, 6 euro standards have already been implemented, which help to reduce emissions of harmful substances from cars.

The object of the study is the level of congestion of city roads in Ukraine and the ecological state in the country.

The purpose of the work is to study the problem of transport pollution of the environment and proposals for its improvement.

Research methods – statistical methods.

An analysis of the level of environmental pollution in Ukraine was carried out. An analysis of the development of urban transport was carried out. An analysis of the latest Euro standards was carried out. A comparative analysis of the main advantages and disadvantages of cars that run on gasoline and diesel fuel was carried out. An analysis of the ways of development and use of Euro standards for cars in large cities of the developed countries of the world was carried out. On the basis of the analyzed data, it is proposed to carry out 3 types of measures to improve the level of environmental pollution by transport: technological – examples of Euro standards, organizational and operational – the creation of environmentally safe, resource-saving, low-waste and zero-waste productions and territorial production complexes of various levels, socio-economic – solving the problem if necessary, implement certain examples of ways.

KEY WORDS: TRANSPORT, EURO STANDARD (EURO), ENGINES, ATMOSPHERIC AIR POLLUTION, ENVIRONMENT.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гречан А.П., доктор економічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри економіки, Київ, Україна.

Карпенко О.О., доктор економічних наук, професор, перший проректор Закладу вищої освіти «Міжнародний науково-технічний університет імені академіка Юрія Бугая», Київ, Україна.

REVIEWERS:

Grechan A.P, Doctor of Economic Sciences, Professor, National Transport University, Professor of the Department of Economics, Kyiv, Ukraine.

Karpenko O.O., Doctor of Economic Sciences, Professor, HEI «Academician Yuriy Bugay International Scientific and Technical University», the First Vice-Rector, Kyiv, Ukraine.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ

Прокудін Г.С., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, p_g_s@ukr.net, orcid.org/0000-0001-9701-8511

Ремех І.О., Національний транспортний університет, Київ, Україна, remekh.inna@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3548-6090

THEORETICAL FUNDAMENTALS OF THE ORGANIZATION OF FREIGHT TRANSPORTATION ON TRANSPORT NETWORKS

Prokudin G.S., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, p_g_s@ukr.net, orcid.org/0000-0001-9701-8511

Remekh I.O., National Transport University, Kyiv, Ukraine, remekh.inna@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3548-6090

Постановка проблеми. Найчастіше на практиці вантажні перевезення, як при виконанні внутрішніх [1], так і міжнародних рейсів [2], використовують при плануванні їх маршрутів картосхеми або електронні карти (наприклад Google-карти) розташування пунктів відправлення та доставки вантажів.

Виходячи з цього, задачу організації вантажних перевезень можна розв'язати не тільки на матриці, але і на схемі мережі доріг. Методи розв'язання й у тому й у іншому випадку мають свої переваги та недоліки. Матричний метод досить простий і не вимагає великої кількості обчислень. Зі збільшенням розмірів задачі число ітерацій збільшується приблизно в лінійній залежності від кількості рядків (стовпців). Цей метод варто застосовувати у практичних задачах, оскільки на ньому простіше ставити часткові заборони поставок окремим споживачам, а суто однорідних вантажів, загалом, не існує. Мережевий метод дозволяє врахувати пропускну здатність окремих ділянок мережі, тоді як транспортна задача (ТЗ) у матричній формі враховує лише пропускну здатність вузлів транспортної мережі (ТМ).

Складання матриці кореспонденцій вимагає деякої підготовчої роботи: якщо критерієм оптимальності буде мінімізація транспортної роботи, тобто тонно-кілометрів, то необхідно обчислити відстані від кожного пункту навантаження до кожного пункту вивантаження за альбомом найкоротших відстаней або використати програму знаходження найкоротших шляхів на ТМ. Якщо ж критерієм оптимальності є вартість перевезення в грошовому вираженні, то складання матриці кореспонденцій ускладняється. Для визначення цих показників неможливо використовувати тарифні ставки. Однак підготовчу роботу окупить отримана економія витрат на вантажні перевезення й, крім того, одного разу складена матриця може використовуватися багаторазово.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існуючі класичні методи розв'язання транспортних задач в їх мережевому представленні, такі як метод потенціалів на дорожньо-транспортній мережі [3, 4], дуже слабо піддаються формалізації, орієнтовані на транспортні задачі малої розмірності і як наслідок не часто застосовуються на практиці.

Більш перспективним напрямом при вирішенні завдань такого типу є підхід, заснований на перетворенні мережевого подання вантажних перевезень на матричне [5] з наступним знаходженням оптимальних планів транспортування вантажів за допомогою сучасних методів та засобів інформаційних технологій [6].

Є два найпоширеніших методи розв'язування ТЗ в мережевій формі: метод скорочення непогодженостей або умовно оптимальних планів А.Л. Лур'є; метод послідовного поліпшення плану Л.В. Канторовича і М.К. Гавурина, який ми і розглянемо в задачі, сформульованій без врахування пропускну здатності транспортних комунікацій.

Виклад основного матеріалу. Підготовча робота на ТМ потребує менше часу, якщо навантаження і вивантаження відбувається у вузлах. Тоді для розв'язання всіх задач потрібно один раз скласти макет мережі із зазначенням відстані (довжини кожної ділянки) або вартості перевезення по ній. Якщо навантаження і вивантаження планується ще й на проміжних пунктах, кожному з них

також позначають як вузол. При цьому на мережі буде стільки вузлів, скільки є пунктів, включаючи і проміжні. Назвемо вузли вершинами мережі, а ділянки – ланками або ребрами. Деякі вершини можуть поєднуватися одна з одною ланками. ТМ, на якій розв'язується ТЗ, може мати форму звичайної залізничної мережі, на кожній ланці (ділянці) якої позначена її довжина або вартість перевезення вантажів. Якщо остання на кожній ланці в обох напрямках однакова, мережа називається симетричною. При визначенні мінімального пробігу вантажів мережа завжди симетрична, оскільки відстань від станції A до станції B дорівнює відстані від станції B до станції A , чого не можна сказати про авіаційні перевезення вантажів. Якщо ж вартість перевезення на кожній ланці мережі різна залежно від напрямку (туди або назад), вершини A B з'єднують двома орієнтованими дугами з однобічним рухом. Кожній дузі при цьому надається відповідна вартість перевезення [7].

Необхідно розрізняти поняття ланки (ребра) і дуги. Дуга завжди пов'язана з орієнтацією і по ній можливий рух тільки в одному напрямку. Надалі, з'єднуючи дві вершини однією лінією, будемо припускати, що це дві дуги з зустрічним однобічним рухом – це особливо важливо в задачах з обмеженнями пропускної здатності, де рівні вартості або відстані однієї ланки можуть поступово перетворюватися в різні.

Нехай задана ТМ з n вершинами m дугами. Позначимо множину постачальників через A , споживачів через B , а множину проміжних вершин через C . Для кожної дуги ij задана вартість перевезення одиниці вантажу по ній c_{ij} і її пропускна здатність d_{ij} . Нехай a_i – потужність постачальника $i \in A$, b_j – попит споживача $j \in B$. Потрібно з'єднати споживачів з постачальниками за таких умов:

$$\sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\sum_k x_{ik} - \sum_l x_{li} = a_i \quad (i \in A), \quad (2)$$

$$\sum_l x_{jk} - \sum_k x_{lj} = b_j \quad (j \in B), \quad (3)$$

$$\sum_k x_{rk} - \sum_l x_{lr} = 0 \quad (r \in C), \quad (4)$$

$$x_{ij} \leq d_{ij}, \quad (5)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad (6)$$

$$\sum_{i \in A} a_i = \sum_{j \in B} b_j, \quad (7)$$

де x_{ij} – обсяг вантажу, перевезеного по дузі ij ;

k – дуги, що виходять із вузла $i(j)$ і входять в вузол k ;

l – дуги, що йдуть до вузла $i(j)$ з вузла l .

На рис. 1 зображена симетрична транспортна мережа з 12 вершинами і 18 ланками. На кожній ланці проставлене число, яке характеризує вартість перевезення по ній. У круглих дужках біля кожної вершини зазначено обсяги відправлення ($\square$) і прибуття ($\square$) вантажу (відповідно зі знаком „+” та „-”). У деяких вузлах ($\bigcirc$) (проміжних) навантаження або вивантаження може й не бути.

К р о к 1 – укладання початкового плану, в якому весь вантаж потрібно відправити й усі потреби вершин прибуття задовольнити. Стрілками показаний напрямок вантажопотоків, а числами – їхні обсяги.

Порахуємо вартість реалізації цього плану відповідно до (1):

$$Z_0 = 80 \times 250 + 30 \times 170 + 70 \times 110 + 50 \times 40 + 40 \times 100 + 80 \times 100 + 60 \times 75 + 50 \times 50 + 60 \times 60 + 40 \times 60 + 70 \times 40 = 62600 \text{ одиниць вартості (о.в.)}$$

К р о к 2 – присвоєння потенціалів вершинам. Умови оптимальності плану такі самі, як і при розв'язуванні задачі в матричній формі методом потенціалів, а саме:

$$v_j - v_i \leq c_{ij}, \text{ якщо } x = 0, \quad (8)$$

$$v_j - v_i = c_{ij}, \text{ якщо } x_{ij} > 0. \quad (9)$$

Присвоюємо одній із вершин, наприклад 1 , будь-який досить великий потенціал, щоб уникнути негативних чисел (у нашому випадку це 100). Просуваючись дугами в напрямку

проходження вантажопотоку, додаємо до потенціалу попередньої вершини величину вартості ланки; рухаючись проти потоку, відповідну вартість із потоку віднімаємо.

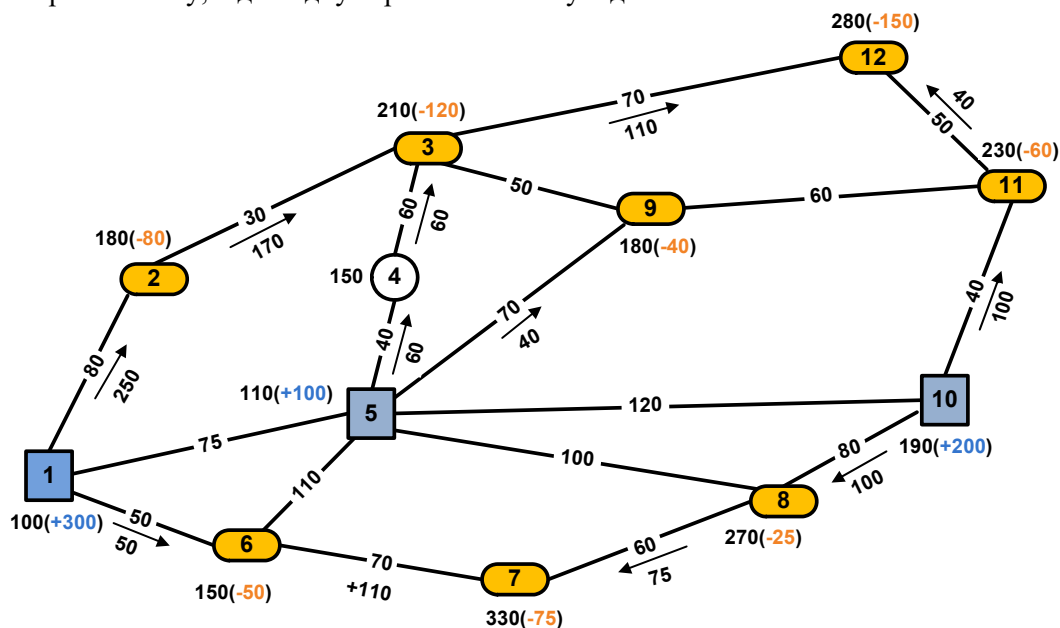


Рисунок 1 – Початковий план перевезень вантажу
Figure 1 – Initial cargo transportation plan

Потенціал вершини 2 = $100 + 80 = 180$;

—||—

3 = $180 + 30 = 210$;

—||—

4 = $210 - 60 = 150$;

—||—

5 = $150 - 40 = 110$ і т.д.

Продовжуємо це доти, поки потенціали не будуть присвоєні всім вершинам мережі. Потім перевіряємо умови оптимальності плану (8) на всіх дугах без вантажопотоку.

Дуга

1–5 = $110 - 100 = 10 < 75$;

—||—

5–6 = $150 - 110 = 40 < 110$;

—||—

5–8 = $270 - 110 = 160 > 100$ (на 60);

—||—

5–10 = $190 - 110 = 80 < 120$;

—||—

6–7 = $330 - 150 = 180 > 70$ (на 110);

—||—

9–3 = $210 - 180 = 30 < 50$;

—||—

9–11 = $230 - 180 = 50 < 60$.

Невідповідності напишемо навпроти відповідної дуги зі знаком «+». У нашій задачі умову (8) порушено на дугах 5–8 (+60) і 6–7 (+110).

К р о к 3 – вибираємо дугу 6–7 з найбільшим порушенням. Величина його позитивна, отже, необхідно направити вантажопотік у напрямку від меншого потенціалу до більшого. Знаходимо замкнутий контур, до якого входять дуги з потоком і обрана дуга з порушенням, причому це можна зробити єдиним способом. У нашому випадку цей єдиний контур складається з дуг 6–7, 8–7, 10–8, 10–11, 11–12, 3–12, 2–3, 1–2, 1–6. Просуваючись контуром від меншого потенціалу дуги з порушенням 6–7 до більшого (у нас проти годинникової стрілки), знаходимо дугу 8–7 з мінімальним зустрічним вантажопотоком 75 одиниць. Додаємо цю величину до всіх попутних потоків і віднімаємо її з усіх зустрічних. Поліпшений план показаний на рис. 2, а його реалізація становить:

$$Z_1 = 80 \times 175 + 30 \times 95 + 70 \times 35 + 50 \times 115 + 40 \times 175 + 80 \times 25 + 70 \times 75 + \\ + 50 \times 125 + 60 \times 60 + 40 \times 60 + 70 \times 40 = 54350 \text{ о.в.}$$

Вартість поліпшеного плану можна ще обчислити так: відняти від значення вартості попереднього плану добуток максимальної величини невідповідності умові оптимального плану (8) на одній з дуг мережі на величину мінімального зустрічного потоку на одній з дуг побудованого замкнутого контуру, тобто у нашому випадку:

$$Z_1 = Z_0 - 110 \times 75 = 62600 - 8250 = 54350 \text{ о.в.}$$

Кроки 2 і 3 почергово повторюють доти, доки не стане дуг з порушенням умови (8). Надалі, на кроці 2 не потрібно знову присвоювати потенціали всім вершинам мережі, а досить виправити їх

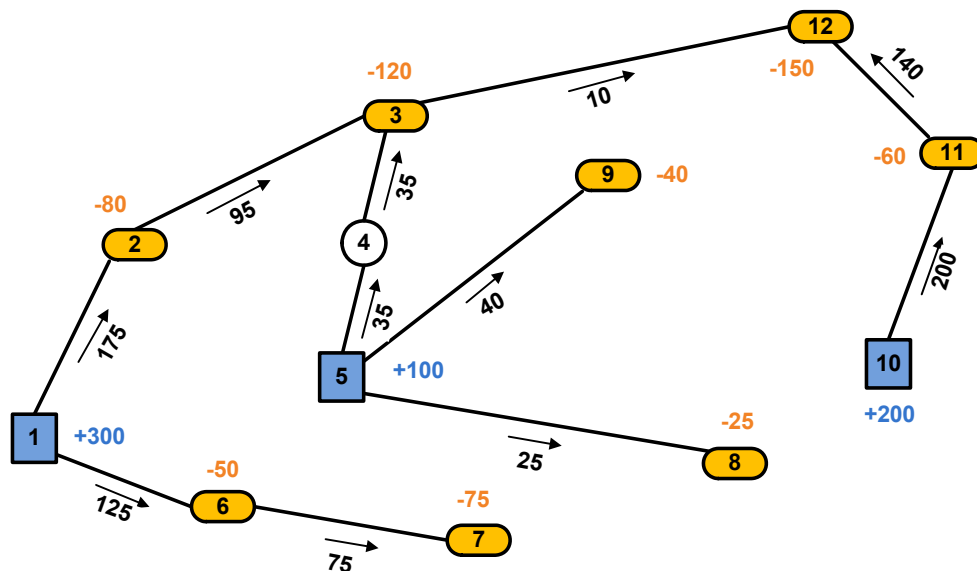


Рисунок 4 – Вантажопотоки оптимального плану перевезень
Figure 4 – Cargo flows of the optimal transportation plan

Необхідно навести два важливих правила [8]:

- в оптимальному плані перевезень одного вантажу на мережі без обмежень пропускної здатності завжди утвориться дерево з кількістю ланок $n-1$, де n – число вершин на мережі;
- на мережі, яка є деревом, планувати перевезення досить просто: потрібно дотримуватися тільки однієї умови – не допускати зустрічних перевезень. Тому, розв'язуючи закриті транспортні задачі (тобто, задачі зі збалансованими пропозицією та попитом продукції), частину мережі, яка є деревом, можна замінити крапкою.

Дерево, утворене дугами з вантажопотоком, називатимемо базисом; дуги, з яких воно утворене, – базисними, а інші дуги – небазисними. Правило, аналогічне ТЗ в матричній формі: завжди можна знайти оптимальне рішення, що є базисним. Тому початковий план перевезень також повинен бути базисним і не мати замкнутих контурів.

Випадок виродження. У деяких задачах дуги з вантажопотоками можуть утворити два дерева, не з'єднаних один з одним. Тоді їх об'єднують дугою з нескінченно малим або нульовим потоком, яку додають до базису, і за нею визначають потенціали. Оптимальний план перевезень для такої ситуації показаний на рис. 5.

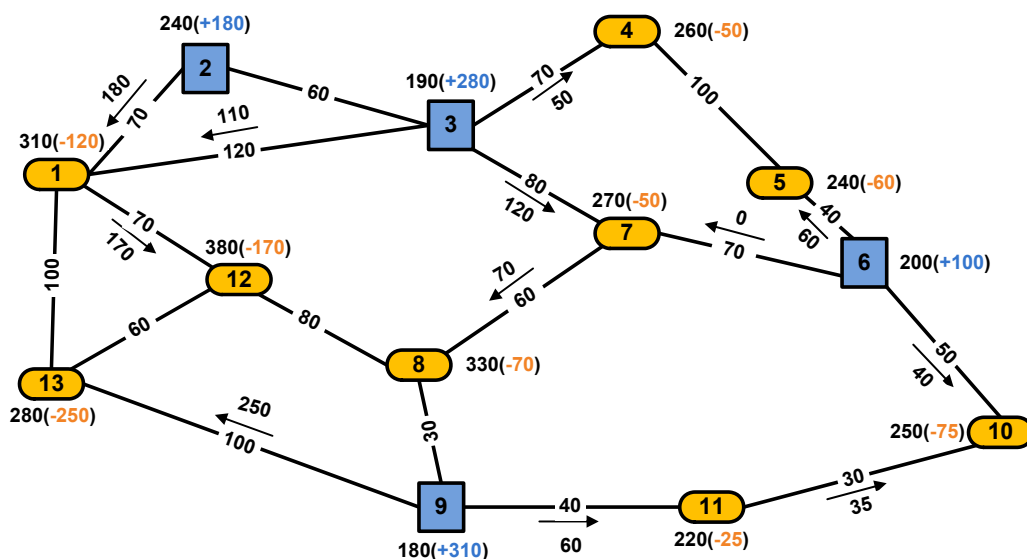


Рисунок 5 – Випадок виродження плану перевезень
Figure 5 – The case of degeneracy of the transportation plan

Вартість його реалізації становить:

Вартість його реалізації також становить 87850 о.в.:

$$Z_{\text{opt}} = 70 \times 180 + 120 \times 110 + 70 \times 170 + 70 \times 85 + 80 \times 85 + 100 \times 35 + 40 \times 25 + 50 \times 75 + 30 \times 35 + 60 \times 35 + 40 \times 25 + 100 \times 250 = 87850 \text{ о.в.}$$

Висновки. На основі розгляду теоретичних засад організації вантажних перевезень на транспортних мережах отримані результати, які полягають в наступному:

1. Сформульована загальна математична модель представлення вантажних перевезень на транспортних мережах припускає два найпоширеніших методи розв'язування ТЗ в мережевій формі: метод скорочення непогодженостей або умовно оптимальних планів А.Л. Лур'є та метод послідовного поліпшення плану Л.В. Канторовича і М.К. Гавурина, який і був розглянутий в задачі, сформульований без врахування пропускної здатності транспортних комунікацій.

2. Задачу організації вантажних перевезень можна розв'язати не тільки в матриці, але і на схемі мережі доріг, тобто на ТМ. Методи розв'язання й у тому й у іншому випадку мають свої переваги та недоліки. Матричний метод досить простий і не вимагає великої кількості обчислень. Зі збільшенням розмірів задачі число ітерацій збільшується приблизно в лінійній залежності від кількості рядків (стовпців). Цей метод варто застосовувати у практичних задачах, оскільки на ньому простіше ставити часткові заборони поставок окремим споживачам, а суто однорідних вантажів, загалом, не існує. Мережевий метод дозволяє врахувати пропускну здатність окремих ділянок мережі, тоді як ТЗ у матричній формі враховує лише пропускну здатність вузлів ТМ.

3. Організація вантажних перевезень на ТМ одного виду вантажу без обмежень пропускної здатності включає наступні кроки:

крок 1 – укладання початкового плану, в якому весь вантаж потрібно відправити й усі потреби споживачів задовольнити;

крок 2 – присвоєння потенціалів вершинам;

крок 3 – вибір незавантаженої дуги з найбільшим порушенням умови оптимальності. Величина його позитивна, отже, необхідно направити вантажопотік у напрямку від меншого потенціалу до більшого. Знаходимо замкнутий контур, до якого входять дуги з потоком і обрана дуга з порушенням, причому це можна зробити єдиним способом. Просуваючись контуром від меншого потенціалу дуги з порушенням до більшого, знаходимо дугу з мінімальним зустрічним вантажопотоком. Додаємо цю величину до всіх попутних потоків і віднімаємо її з усіх зустрічних.

Кроки 2 і 3 почергово повторюють доти, доки не стане дуг з порушенням умови оптимальності.

4. Плануючи перевезення на ТМ без обмежень пропускної здатності, фактичну пропускну здатність окремих дуг не враховують, хоча можливо, що окремі з них матимуть навантаження, з яким не впораються. Якщо ж і з'являться перевантажені ділянки, то витрати на спрямування вантажопотоків повз них кружним шляхом будуть невеликими. Тому планування перевезень одного вантажу на мережі без обмежень пропускної здатності мають велике практичне значення, а на мережі з обмеженнями пропускної здатності – лише методичне. Дійсно, важко собі уявити, щоб один вантаж міг повністю заповнити пропускну здатність дуги.

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., Чупайленко О.А., Дудник О.С., Пилипенко Ю.В. Свідectво про реєстрацію авторського права на науковий твір № 92194 «Метод перетворення мережових моделей процесу вантажних перевезень у матричні моделі». Київ: Мінекономрозвитку України, 20.09.2019. 5 с.

6. Прокудін Г.С. Моделі і методи оптимізації перевезень у транспортних системах. Київ : НТУ, 2006. 224 с.

7. 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).
8. 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 pidpriemstv po obslugoivuanniu 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]. – Vydavnychiy dim «Slovo». Kyiv. – 400 p. [in Ukrainian].
4. Vorkut, A.I. (1986). Gruzovye avtomobilnye perezozki. [Freight road transport]. – Higher School. Kyiv. – 447 p. [in Russian].
5. 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»]. – Minekonomrozyvtku of Ukraine Kyiv. – 5 p. [in Ukrainian].
6. 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].
7. Prokudin, G., Chupaylenko, O., Dudnik, A., , O., Omarov, D. (2016). Udoshkonalennia metodiv vyznachennia optymalnykh kharakterystyk transportnykh merezh. [Improvement of the Methods for Determining Optimal Characteristics of Transportation Networks]. Skhidnoevropeiskiy zhurnalпередovykh tekhnologii – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. № 6/3 (84). – P. 54-61. [in English].
8. 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]. Skhidnoevropeiskiy zhurnalпередovykh tekhnologii – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. № 2/3 (92). – P. 51-59. [in English].

РЕФЕРАТ

Прокудін Г.С. Теоретичні основи організації вантажних перевезень на транспортних мережах / Г.С. Прокудін, І.О. Ремех // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

У даній статті наведено опис теоретичних основ організації вантажних перевезень на транспортних мережах. Задачу організації вантажних перевезень можна розв'язати не тільки на матриці, але і на схемі мережі доріг. Методи розв'язання й у тому й у іншому випадку мають свої переваги та недоліки. Матричний метод досить простий і не вимагає великої кількості обчислень. Зі збільшенням розмірів задачі число ітерацій збільшується приблизно в лінійній залежності від кількості постачальників (споживачів) вантажу. Цей метод варто застосовувати у практичних задачах, оскільки на ньому простіше ставити часткові заборони поставок окремим споживачам, а суто однорідних вантажів, загалом, не існує. Мережевий метод дозволяє врахувати пропускну здатність окремих ділянок мережі, тоді як транспортна задача у матричній формі враховує лише пропускну здатність вузлів транспортної мережі.

Об'єкт дослідження – процес управління вантажними перевезеннями на транспортних мережах.

Мета роботи – вивчення особливостей прийняття рішень з управління вантажними перевезеннями на транспортних мережах одного виду вантажу без обмежень пропускну здатності.

Методи дослідження – метод послідовного поліпшення плану вантажних перевезень на транспортних мережах одного виду вантажу без обмежень пропускну здатності.

Сформульована загальна математична модель представлення вантажних перевезень на транспортних мережах припускає два найпоширеніших методи розв'язування транспортної задачі в мережевій формі: метод скорочення непогодженостей або умовно оптимальних планів А.Л. Лур'є та метод послідовного поліпшення плану Л.В. Канторовича і М.К. Гавурина, який і був розглянутий в задачі, сформульованій без врахування пропускну здатності транспортних комунікацій.

Організація вантажних перевезень на транспортних мережах одного виду вантажу без обмежень пропускну здатності включає наступні кроки: *перший крок* – укладання початкового плану, в якому весь вантаж потрібно відправити й усі потреби споживачів задовольнити; *другий крок* – присвоєння потенціалів вершинам; *третій крок* – вибір незавантаженої дуги з найбільшим порушенням умови оптимальності. Величина його позитивна, отже, необхідно направити вантажопотік у напрямку від меншого потенціалу до більшого. Знаходимо замкнутий контур, до якого входять дуги з потоком і обрана дуга з порушенням, причому це можна зробити єдиним способом. Просуваючись контуром від меншого потенціалу дуги з порушенням до більшого, знаходимо дугу з мінімальним зустрічним вантажопотоком. Додаємо цю величину до всіх попутних потоків і віднімаємо її з усіх зустрічних. *Другий і третій кроки* почергово повторюють доти, доки не стане дуг з порушенням умови оптимальності.

Плануючи перевезення на транспортній мережі без обмежень пропускну здатності, фактичну пропускну здатність окремих дуг не враховують, хоча можливо, що окремі з них матимуть навантаження, з яким не впораються. Якщо ж і з'являться перевантажені ділянки, то витрати на спрямування вантажопотоків повз них кружним шляхом будуть. Тому планування перевезень одного вантажу на мережі без обмежень пропускну здатності мають велике практичне значення, а на мережі з обмеженнями пропускну здатності – лише методичне. Дійсно, важко собі уявити, щоб один вантаж міг повністю заповнити пропускну здатність дуги.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВАНТАЖНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ТРАНСПОРТНА МЕРЕЖА, МЕТОД ПОСЛІДОВНОГО ПОЛІПШЕННЯ ПЛАНУ, ОПТИМІЗАЦІЯ, ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ.

ABSTRACT

Prokudin G.S., Remekh I.O. Theoretical foundations of the organization of freight transportation on transport networks. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – K.: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

This article provides a description of the theoretical foundations of the organization of freight transportation on transport networks. The task of organizing freight transportation can be solved not only on the matrix, but also on the diagram of the road network. Solution methods in both cases have their advantages and disadvantages. The matrix method is quite simple and does not require a large number of calculations. As the size of the problem increases, the number of iterations increases approximately linearly depending on the number of suppliers (consumers) of the cargo. This method should be used in practical tasks, since it is easier to set partial bans on deliveries to individual consumers, and purely homogeneous cargoes, in general, do not exist. The network method allows you to take into account the bandwidth of individual sections of the network, while the transport problem in the matrix form takes into account only the bandwidth of the nodes of the transport network.

The object of the study is the process of managing freight transportation on transport networks.

The purpose of the work is to study the features of decision-making in the management of freight transportation on transport networks of one type of cargo without capacity limitations.

Research methods – a method of successive improvement of the cargo transportation plan on transport networks of one type of cargo without capacity limitations.

The formulated general mathematical model of the representation of freight transportation on transport networks assumes two most common methods of solving transport problem in network form: the method of reducing disagreements or conditionally optimal plans by A.L. Lurie and the method of sequential improvement of the plan of L.V. Kantorovich and M.K. Gavurin, which was considered in the problem formulated without taking into account the throughput of transport communications.

The organization of cargo transportation on transport networks of one type of cargo without limitations of throughput includes the following steps: the first step is to draw up an initial plan, in which all the cargo must be sent and all the needs of consumers must be satisfied; the second step is the assignment of potentials to the vertices; the third step is the selection of the unloaded arc with the greatest violation of the optimality condition. Its value is positive, therefore, it is necessary to direct the cargo flow in the direction

from a lower potential to a higher one. We find a closed circuit, which includes arcs with a flow and a selected arc with a violation, and this can be done in the only way. Moving along the contour from the lower potential of the arc with a violation to the higher one, we find the arc with the minimum oncoming cargo flow. We add this value to all passing streams and subtract it from all opposing streams. The second and third steps are alternately repeated until there are arcs with a violation of the optimality condition.

When planning transportation on a transport network without capacity restrictions, the actual capacity of individual arcs is not taken into account, although it is possible that some of them will have a load that they cannot cope with. If congested areas appear, then the costs of diverting freight flows past them in a roundabout way will be small. Therefore, planning the transportation of one cargo on networks without bandwidth limitations is of great practical importance, and on networks with bandwidth limitations – only methodical. Indeed, it is difficult to imagine that one cargo could completely fill the carrying capacity of the arc.

KEY WORDS: FREIGHT TRANSPORTATION, TRANSPORT NETWORK, METHOD OF SEQUENTIAL IMPROVEMENT OF THE PLAN, OPTIMIZATION, THREAD CAPACITY.

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/0000-0001-9701-8511

Ремех Інна Олександрівна, PhD-аспірант, Національний транспортний університет, асистент кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, e-mail: remekh.inna@gmail.com, тел. +38(096) 920-01-92, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 437, orcid.org/0000-0003-3548-6090

AUTORS:

Prokudin G.S. Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, 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/0000-0001-9701-8511

Remekh I.O., PhD candidate, National Transport University, assistant of the department of international transportation and customs control, e-mail: remekh.inna@gmail.com, phone +38(096) 920-01-92, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenka str., 1, k. 437, orcid.org/0000-0003-3548-6090

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

МОДЕЛЮВАННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ МІСТ ШЛЯХОМ УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ

Самойленко Є.С., Національний транспортний університет, Київ, Україна, sirius27@ukr.net,
orcid.org/0000-0001-8352-2282

MODELING THE LEVEL OF URBAN POLLUTION BY CONTROLLING THE PARAMETERS OF THE TRAFFIC FLOW

Samoylenko E.S., National Transport University, Kyiv, Ukraine, sirius27@ukr.net, orcid.org/0000-0001-8352-2282

Постановка проблеми. Досягнення екологічної безпеки міста в значній мірі визначає якість проживання населення, комфортність умов для усіх видів людської діяльності. Однією з найбільш небезпечних екологічних проблем міст є забруднення атмосферного повітря [1].

Місто Київ має високі показники рівня забруднення атмосфери, що пояснюється значним рівнем індустріалізації, стрімким розвитком автопарку міста. Загальний обсяг викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел у 2020 р. склав 25,5 тис. т., від пересувних майже в 9 разів більше – 225,8 тис. т. Щільність викидів у м. Києві складає 299,5 т/км².

На сьогоднішній день автомобільний транспорт є основним антропогенним джерелом забруднення довкілля. Динаміка світового автопарку вказує, що рівень автомобілізації в країнах із розвинутою економікою постійно зростає. Рівень автомобілізації в Україні, на сьогодні, становить у середньому 187 автомобілів на 1000 жителів країни. Найбільші рівні автомобілізації спостерігаються в Київській, Запорізькій, Волинській, Дніпропетровській, Одеській, Харківській областях. Місто Київ має найвищий показник – 343 автомобілів на 1000 жителів.

Специфіка забруднення атмосферного повітря транспортними потоками полягає в їх приземному розташуванні, безпосередній близькості до житла людей, що призводить до накопичення забруднюючих речовин поблизу поверхні землі – у зоні дихання людей. Рівень концентрації забруднюючих речовин, які утворюються в приземному шарі атмосфери, має просторово-часову неоднорідність, що пояснюється такими чинниками: інтенсивність, склад транспортного потоку, метеорологічні умови, геометричні характеристики вулично-дорожньої мережі (ВДМ), рельєф місцевості, наявність зелених насаджень, регульованих перехресть, просторова орієнтація вулиці тощо [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Оцінка екологічного стану атмосферного повітря здійснюється за допомогою математичного моделювання та натурних спостережень. Завдяки математичним моделям, які проводять розрахунки викидів забруднюючих речовин та їх розсіювання в атмосфері, можна здійснювати не лише оцінку рівня забруднення атмосфери, а також прогнозувати якість стану повітря та визначати стратегії скорочення викидів забруднюючих речовин. На сьогоднішній день багато моделей розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі не можуть бути використанні для оперативного визначення концентрації поллютантів у місті, оскільки розрахунки потребують значних часових витрат. Крім того, більшість моделей при оцінці рівня забруднення використовують значні просторово-часові осереднення, при цьому не враховуються мікрокліматичні особливості міста, рельєф місцевості, тощо. Основними підходами до визначення рівня забруднення атмосфери автомобільним транспортом є методи на основі Гаусових моделей: CALINE-4 (California Line Source Model), Roadway 2.0, Hiway-2; GFLSM (General Finite Line Source Model) тощо; моделі міських каньйонів. Найбільш поширеними серед моделей міських каньйонів є; STREET (Johnson et al., USA, 1973); Canyon Plum Box Model (Yamartino et al., 1986); Operational Street Pollution Model (Berkowicz, 1996). Модель OSPM оцінює концентрацію забруднюючих речовин від транспортних потоків у вуличних каньйонах з врахуванням метеорологічних умов, геометричних характеристик вуличних каньйонів, а також в моделі враховується механічна турбулентність, створена рухом транспортних засобів [3,4].

Метою роботи є моделювання рівня забруднення вулично-дорожньої мережі міста Києва в залежності від параметрів транспортного потоку, та управління його екологічного станом.

Результати дослідження. Для вирішення задачі оперативної оцінки рівня забруднення атмосферного повітря міста Києва ВДМ представлена множиною елементарних однорідних вуличних каньонів, які є типовими архітектурно-планувальними елементами міста і являють собою ділянки з забудовами між найближчими перехрестями. ВДМ Печерського району міста Києва налічує 377 вуличних каньонів, для яких емпірично були встановлені просторово-геометричні характеристики [5].

Основними динамічними чинниками, що впливають на рівень забруднення атмосфери автомобільним транспортом є показники дорожнього руху. Дорожній рух характеризується рядом показників, таких як: пропускна здатність автомобільної дороги; інтенсивність транспортного потоку; щільність транспортного потоку; швидкість руху транспортного потоку; склад транспортного потоку; затримки руху транспортного потоку; рівень завантаження автомобільної дороги [6]. Управління параметрами транспортного потоку дозволяє прогнозувати якість стану атмосферного повітря та попереджати критичні ситуації, при яких рівень забруднення перевищує гранично-допустимі значення [7].

Оцінка та прогнозування рівня забруднення атмосферного повітря у вуличних каньонах від транспортних потоків проводилася на основі методології моделі Operational Street Pollution Model, яка заснована на гаусівському типу розсіювання забруднюючих речовин в поєднанні з характеристиками ВДМ міст. Згідно даної моделі концентрація забруднюючих речовин визначається в межах вуличного каньону і дорівнює сумі концентрації прямого розсіювання поллютантів (C_d), концентрації спричиненою рециркуляцією повітря у вуличному каньоні (C_r) та міською фоновою концентрацією (C_o) [8].

Концентрація прямого розсіювання забруднюючих речовин від транспортного потоку дорівнює:

$$C_d = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int \frac{Q dx}{U_s W \sigma_z(x)} \quad (1)$$

Q – інтенсивність викидів забруднюючих речовин від “ефективного” транспортного потоку, мг/м³с;

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;

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:

$$C_r = \frac{Q \cdot l_r}{W \cdot (\omega_t \cdot l_t + \omega_s \cdot l_s)} \quad (2)$$

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.

На рис. 1 побудовано зміну концентрації оксиду вуглецю в залежності від швидкості вітру на рівні даху будівель (швидкості вітру, що визначається глобальним перенесенням повітряних мас і не залежить від шорсткості поверхні) та інтенсивності транспортного потоку в одному з найтипівіших вуличних каньонів (вул. І.Мазепи) Печерського району.

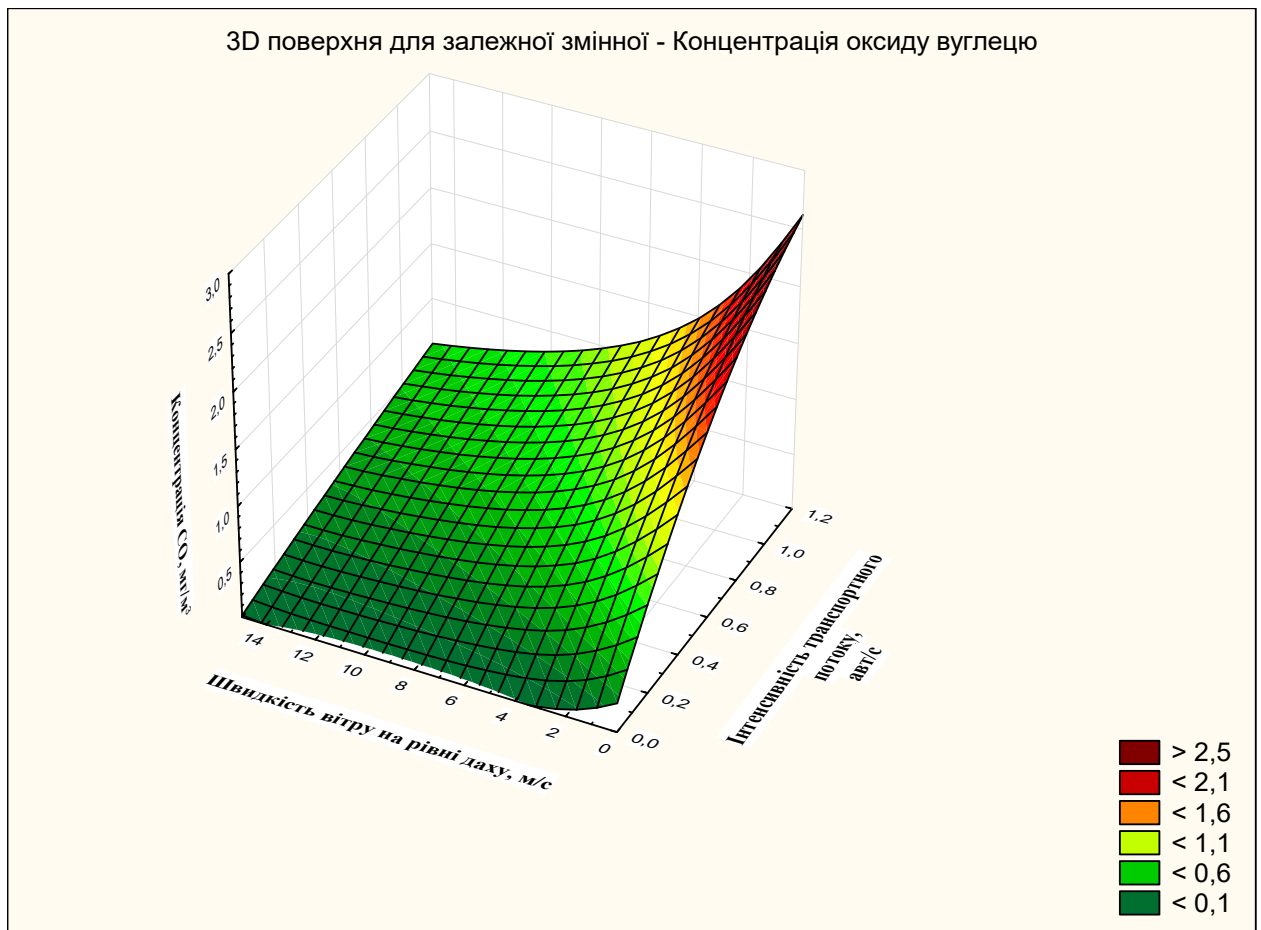


Рисунок 1 – Залежність концентрації оксиду вуглецю від швидкості вітру та інтенсивності транспортного потоку (вул. І. Мазепи)
 Figure 1 – Dependence of carbon monoxide concentration on wind speed and intensity of traffic flow (I. Mazepa Street)

Найвища концентрація забруднюючих речовин у вуличному каньйоні спостерігається при інтенсивності руху більшою за 0,8 авт/с, та швидкості вітру від 0 до 4 авт/с. За таких умов концентрація оксидів вуглецю перевищує 2 мг/м³.

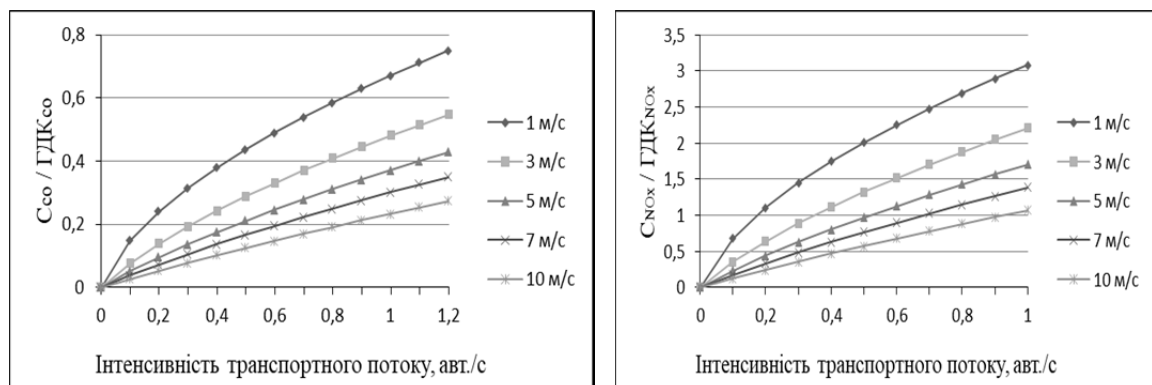


Рисунок 2 – Рівень забруднення CO та NO_x для різних швидкостей вітру (вул. І. Мазепи)
 Figure 2 – Level of CO and NO_x pollution for different wind speeds(I. Mazepa Street)

Для кожної забруднюючої речовини 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, що встановлюється з метою попередження рефлекторних реакцій людини при короткочасній дії (до 20 хв.) поллютантів.

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

Оскільки вуличні каньйони міста мають різні просторово геометричні характеристики: ширину, довжину, просторову орієнтацію каньйону, суцільність та композицію забудови (середньозважена висота забудов, щільність забудов, середній кут повороту будинків до осі вулиці), відповідно і рівень забруднення, при однакових інтенсивностях руху транспортного потоку та швидкості вітру, в них буде відрізнятися. У зв'язку з цим, для кожного вуличного каньйону було встановлено такі інтенсивності руху при яких рівень забруднення відповідною шкідливою речовиною досягає гранично допустимого значення (критичні інтенсивності руху транспортних потоків ($I_{кр}$)). У таблиці 1 наведено для деяких вуличних каньйонів значення інтенсивностей транспортних потоків при яких концентрація NO_x досягає гранично допустимих значень.

Таблиця 1 – Критична інтенсивність транспортного потоку, в залежності від швидкості вітру, за якої концентрація NO_x досягає гранично допустимих значень

Table 1 – The critical intensity of the traffic flow, depending on the wind speed, at which the NO_x concentration reaches the maximum permissible values

Вуличний каньйон	Критичні інтенсивності транспортних потоків ($I_{кр}$), авт/с				
	1 м/с	3 м/с	5 м/с	7 м/с	10 м/с
1.Липський провулок	0,1	0,21	0,31	0,42	0,57
2. вул. Липська; буд. 15, 16	0,095	0,2	0,3	0,39	0,54
3. вул. Пилипа Орлика; буд. 3, 4	0,115	0,24	0,355	0,47	0,645
...					
365. вул. Мічуріна; буд. 50, 52	0,135	0,28	0,425	0,565	0,775
366. вул. Землянська; буд. 5, 6	0,105	0,215	0,325	0,435	0,595
377. вул. Пирятинська; буд. 12, 19	0,113	0,234	0,355	0,475	0,655

Таким чином, встановлені значення критичної інтенсивності руху транспортного потоку дозволяють оперативно прогнозувати рівень забруднення атмосферного повітря придорожного простору та своєчасно, шляхом управління параметрами транспортного потоку, попереджати небезпечні ситуації за яких рівень забруднення перевищує нормативні значення [8].

На рис. 3 наведено значення критичних інтенсивностей руху транспортного потоку для вулиці І. Мазепи при різних швидкостях вітру. При швидкості вітру 5 м/с гранично допустима концентрація

забруднюючих речовин досягається при інтенсивності транспортного потоку 0,43 авт/с для оксидів азоту; 0,52 авт/с для вуглеводнів та 3,8 авт/с для оксиду вуглецю.

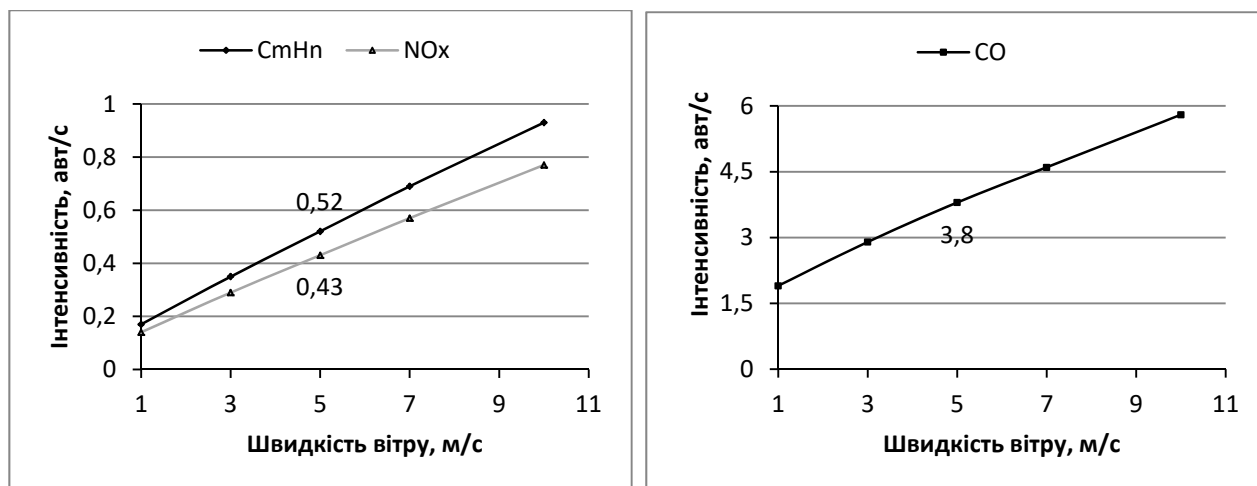


Рисунок 3 – Критичні значення інтенсивності транспортного потоку (вул. І. Мазепи)

Figure 3 – Critical values of the intensity of traffic flow (I. Mazepa Street)

Висновок. Проаналізовано основні методи оцінки рівня забруднення атмосфери міст автомобільним транспортом. На основі моделі міських вуличних каньйонів (OSPM) визначено рівень забруднення вуличних каньйонів Печерського району м. Києва основними шкідливими речовинами, що містяться у відпрацьованих газах автомобілів. Для кожного з вуличних каньйонів встановлено критичні інтенсивності руху транспортного потоку за яких рівень забруднення відповідною шкідливою речовиною досягає гранично допустимого значення. Результати дослідження дозволяють оперативно прогнозувати рівень забруднення атмосферного повітря придорожнього простору міст та, шляхом управління параметрами транспортного потоку, попереджати небезпечні ситуації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. 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.
2. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А.Г., Корпач А.О., Мерзиевська Л.П. Екологія та автомобільний транспорт: Навчальний посібник. – К.: Арістей, 2006. – 292 с.
3. 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
4. Berkowicz R. OSPM – a parameterized street pollution model // Kluwer Academ. Publishers. Netherlands. Environmental Monitoring and assessment. – 2000. – Vol. 65. – P. 341-359.
5. 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.
6. Поліщук В.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху: навч. посіб. / В.П. Поліщук, О.П. Дзюба. – К. : Знання України, 2008. – 175 с.
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., Гребельник М.М., Самійленко Є.С. Управління екологічною безпекою мегаполісу. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. 2022. Випуск 1 (51). С. 12-20. DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-020-027 URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/48/012-019.pdf>

REFERENCES

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

2. 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)
3. 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.ENVSOF.2007.04.007 (eng)
4. Berkowicz R. OSPM – a parameterized street pollution model // Kluwer Academ. Publishers. Netherlands. Environmental Monitoring and assessment. – 2000. – Vol. 65. – P. 341-359 (eng)
5. Bakulich O.O., Oliynyk R.V., Samoylenko E.S. *Potentsiyna ekologichna nebezpeka vulychnykh kanyoniv mista* [Potential environmental hazards of street canyons]. Visnyk natsionalnogo transportnogo universytetu [Visnyk National Transport University]. – Kyiv, National Transport University Publ. 2014. – Vol. 31. (ukr)
6. Polishchuk V.P., Dzyuba O.P. *Teoriya transportnoho potoku: metody ta modeli orhanizatsiyi dorozhn'oho rukhu* [Traffic flow theory: methods and models of traffic organization] Kiev, Knowledge of Ukraine Publ., 2008. 175 p.
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., Grebelnik M.M., Samoylenko E.S. (2022) *Upravlinnia ekolohichnoiu bezpekoiu mehapolisu* [Environmental security management of the megapolis]. Visnyk National Transport University. – Kyiv, National Transport University – Vol. 1 (51). URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/48/012-019.pdf> (ukr)

РЕФЕРАТ

Самойленко Є.С. Моделювання рівня забруднення міст шляхом управління параметрами транспортного потоку / Є.С. Самойленко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Стаття присвячена оцінці та прогнозуванню рівня забруднення атмосферного повітря вуличних каньйонів м. Києва шляхом управління параметрами транспортного потоку. На сьогоднішній день автомобільний транспорт є основним антропогенним джерелом забруднення довкілля. Специфіка забруднення атмосферного повітря транспортними потоками полягає в їх приземному розташуванні, безпосередній близькості до житла людей, що призводить до накопичення забруднюючих речовин поблизу поверхні землі – у зоні дихання людей.

Об'єкт дослідження – прогнозування рівня забруднення вуличних каньйонів міст.

Мета роботи – моделювання рівня забруднення вулично-дорожньої мережі міста Києва в залежності від параметрів транспортного потоку, та управління його екологічного станом.

Методи дослідження – статистичні методи, математичне моделювання.

У статті проаналізовано основні підходи щодо моделювання розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері від автомобільного транспорту. Оцінку рівня забруднення атмосфери міст доцільно проводити в однорідних елементах міської території – вуличних каньйонах. На основі моделі міських вуличних каньйонів (OSPM) визначено рівень забруднення вуличних каньйонах Печерського району м. Києва основними шкідливими речовинами, що містяться у відпрацьованих газах автомобілів. Встановлено критичні інтенсивності руху транспортних потоків для кожного з вуличних каньйонів при яких рівень забруднення відповідною шкідливою речовиною досягає гранично допустимого значення.

Таким чином, отримані результати дослідження дозволяють оперативно прогнозувати рівень забруднення атмосферного повітря придорожного простору міст та попереджати екологічно небезпечні ситуації шляхом управління параметрами транспортного потоку.

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

ABSTRACT

Samoylenko E.S. Modeling the level of urban pollution by controlling the parameters of the traffic flow. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article is devoted to the assessment and forecasting of the level of atmospheric air pollution in the street canyons of Kyiv by means of traffic flow parameters management. Today, road transport is the main anthropogenic source of environmental pollution. The specificity of atmospheric air pollution by traffic flows lies in their surface location, close proximity to people's homes, which leads to the accumulation of pollutants near the surface of the earth – in the breathing zone of people.

The object of research is forecasting the level of pollution in street canyons of cities.

The purpose of the work is modeling the level of pollution of the street network of Kyiv depending on the parameters of the traffic flow, and managing its environmental condition.

Research methods – statistical methods, mathematical modeling.

The article analyzes the main approaches to modeling the dispersion of pollutants in the atmosphere from road transport. It is advisable to assess the level of pollution of the city atmosphere in homogeneous elements of the city territory – street canyons. Based on the model of urban street canyons (OSPM), the level of pollution of the street canyons of the Pechersk district of Kyiv by the main harmful substances contained in the exhaust gases of cars was determined. The article establishes the critical intensities of traffic flows for each of the street canyons at which the level of pollution by the corresponding harmful substance reaches the maximum permissible value.

Thus, the obtained results of the study make it possible to quickly forecast the level of atmospheric air pollution in the roadside space of cities and to warn of environmentally dangerous situations by managing traffic flow parameters.

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

АВТОРИ:

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:

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.

Бакуліч О.О., кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, декан факультету менеджменту, логістики та туризму, Національний транспортний університет, Київ, Україна.

REVIEWER:

Golubkova IA, Doctor of Economics, 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.

Bakulich O.O. Ph.D., (engineering), Professor, National Transport University, Dean of the Faculty of Management, logistics and tourism

ЗАКОНОМІРНОСТІ ТА ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПОТРЕБИ У ЗАПАСНИХ ЧАСТИНАХ НА ПІДПРИЄМСТВАХ АВТОСЕРВІСУ

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

Кошарний М.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, kosarnijmikola@gmail.com, orcid.org /0000-0002-5969-4858

Годованюк П.Д., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, pgodovanuk04@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6331-8698

REGULARITIES AND FEATURES OF NEED FORMATION IN SPARE PARTS AT AUTO SERVICE ENTERPRISES

Sichko O.Y., Ph.D in Technical Science, 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

Kosharnyi M.M., Ph.D in Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, kosarnijmikola@gmail.com, orcid.org /0000-0002-5969-4858

Godovanyuk P.D., Ph.D in Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, pgodovanuk04@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6331-8698

Постановка проблеми.

У процесі управління складом автомобільних запасних частин основною проблемою є оцінка потреби у них за певний період часу. Широко відомі способи прогнозування, наприклад, на основі трендів та коефіцієнтів сезонних (та інших) коливань зазвичай не дають задовільних результатів, оскільки не відображають суті природи виникнення попиту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Більшість досліджень та розробок з управління складом запасних частин на підприємствах, що обслуговують та експлуатують автомобільні транспортні засоби (АТЗ), були виконані в умовах планово-централізованої економіки [1, 2, 3.] Незважаючи на досягнуті результати, у нинішніх умовах потрібне подальше проведення досліджень у цій галузі.

Мета досліджень.

Мета роботи полягала в розробці основних теоретичних положень, методики прогнозування попиту на автомобільні запасні частини на основі функції суміші ймовірнісних розподілів, цільових функцій системи управління складом автомобільних запасних частин.

Виклад основного матеріалу.

Управління складом автомобільних запасних частин пов'язане з двома видами ризиків. Ризик першого виду полягає в омертвінні вкладених фінансових коштів, а також посиленні кредитного тягаря на підприємстві, якщо ці кошти є позиковими. Ризик другого виду полягає в тому, що запасні частини морально застаріють, прийдуть у непридатність чи перейдуть у неліквідний стан. З урахуванням того, що вкладення в оборотний фонд запасних частин на підприємствах, які обслуговують та експлуатують АТЗ, найчастіше є для них одними з найважливіших, то ці фактори є вкрай важливою частиною загального обсягу ризиків на підприємстві.

Як правило, попит на запасні частини на підприємствах, що обслуговують або експлуатують автомобільний транспорт, неможливо описати досить точно за допомогою відомих законів розподілу випадкових величин. Причиною тому є неоднорідність даного попиту, тобто, залежно від типу підприємства, попит може бути сумішшю ймовірнісних розподілів. На рисунку 1 представлено типовий розподіл попиту на запасні частини на прикладі даних дилерської станції технічного обслуговування автомобілів марки КАМАЗ «АХ «АВТЕК» м. Київ: поряд з придбанням однієї, двох або комплекту деталей найчастіше присутні значення 5 шт., 10 шт., 20 шт. і т. д.

Очевидним є наявність різних категорій споживачів.

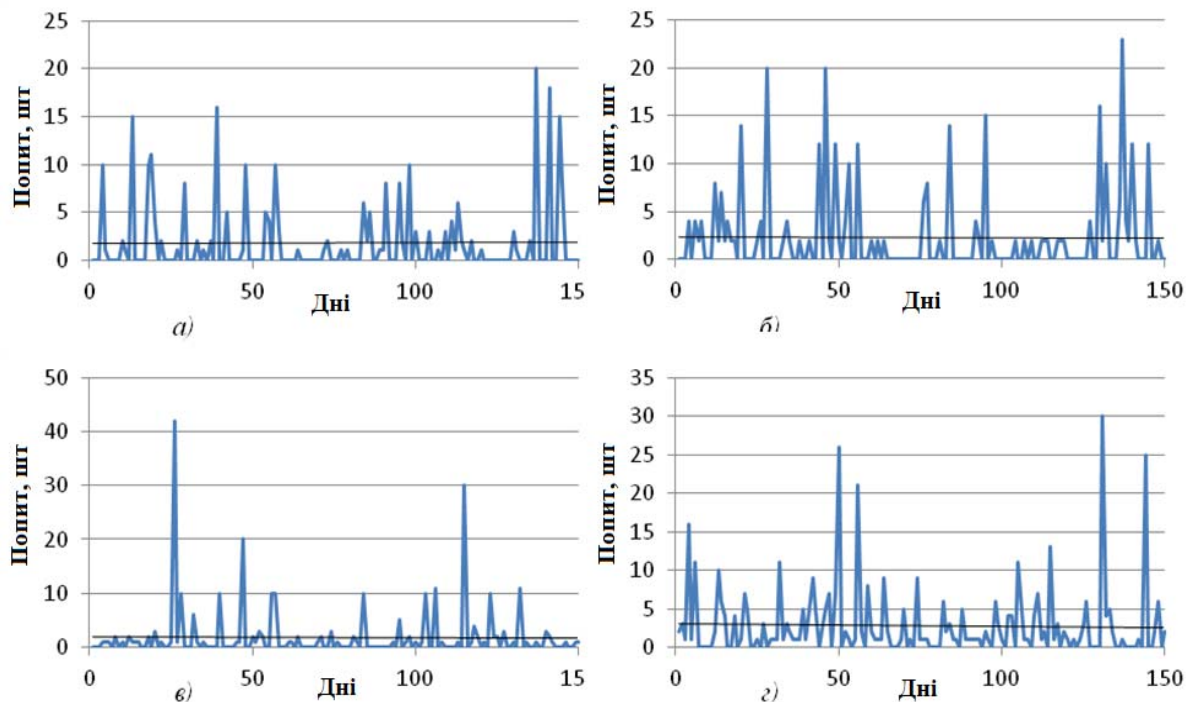


Рисунок 1 – Динаміка продажів запасних частин:
 а) шланг гальмівний задній 5320; б) півкільце колінчастого вала;
 в) прокладки піддону 740-1009040; г) повітряний фільтр
 Figure 1 – Spare parts sales dynamics:
 a) rear brake hose 5320; b) crankshaft half-ring;
 c) pallets 740-1009040; d) air filter

Таким чином, перейдемо до оцінки попиту на автомобільні запасні частини на основі моделі суміші ймовірнісних розподілів. Можна припустити, що розчленування сумішей ймовірнісних розподілів дозволить отримати рівняння функції щільності $f(x)$, що описує закон розподілу попиту, який аналізується у всій (об'єднаній) генеральній сукупності. Це дозволить отримувати на основі імітаційного моделювання оптимальні значення параметрів управління складом запасних частин. Також, у перспективі, на основі отриманих результатів, можливе отримання більш точних надійнісних характеристик автомобілів, оскільки на підставі інтегрального попиту на запасні частини в регіоні та розміру відповідного їм парку автомобілів, виходять достатньо спотворені результати через затримки в ланцюгах поставок.

У загальному вигляді рівняння функції щільності можна навести як [4]:

$$f(x) = p_1 f_1(x) + p_2 f_2(x) + \dots + p_n f_n(x) \quad (1)$$

де $p_1, p_2, \dots, p_n$ – апіорні ймовірності появи спостережень саме з даного компонента суміші;

$f_1, f_2, \dots, f_n$ – функції густини розподілу компонентів суміші;

n – число компонентів суміші.

У кожному конкретному випадку значення n може змінюватись, але очевидно, що їх це кінцеве число і навіть малоймовірно, що воно може набувати хоча б двозначні значення. Виходячи зі спостережень, найбільш часто $n=4$ (як на рисунку 2), умовно назвемо перші чотири компоненти: роздрібом, дрібним оптом, середнім та великим оптом. Тоді p_1, p_2, p_3, p_4 є ймовірністю появи відповідно роздрібною покупця, дрібного, середнього та великого оптовика. У свою чергу ці ймовірності можуть також описуватися ймовірнісними законами розподілу.

Галузь застосування запропонованого методу обмежується ідентифікованістю сумішей розподілу. Відповідно до [4] помітними є кінцеві суміші з розподілів: 1) нормальних (у тому числі багатовимірних); 2) експоненціальні; 3) пуассонівських; 4) Коші. Таким чином, у нашому випадку

розподіл попиту на запасні частини має описуватися пуассонівським законом як єдиним підходящим дискретним імовірнісним розподілом. Нижче наведемо обмеження, пов'язані з умовами виникнення пуассонівського потоку випадкових подій [5].

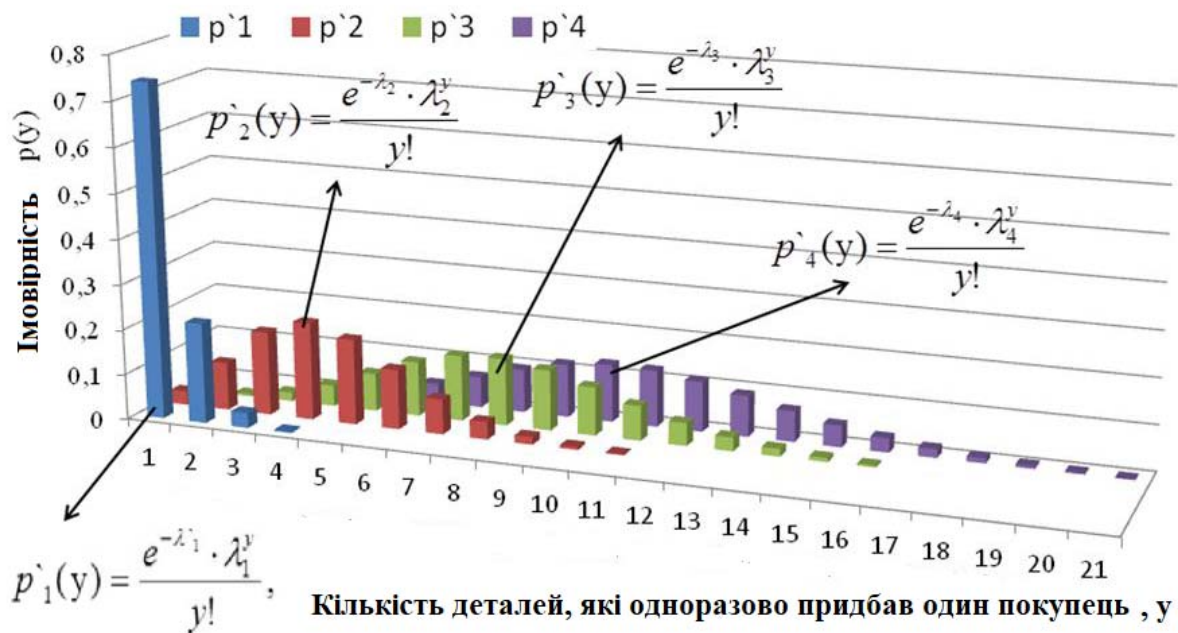


Рисунок 2 – Розподіл попиту на автомобільні запасні частини
Figure 2 – Distribution of demand for automotive spare parts

Перше обмеження це те, що заявки повинні надходити поодинці, а не групами по дві, три тощо. У реальному житті так практично завжди і відбувається. Слід зазначити, що є ряд деталей, які купують чи замінюють, зазвичай, відразу за кілька штук, тобто комплектом. У цьому випадку потрібно враховувати не запасні частини поодинці, а комплекти цих запасних частин.

Наступні обмеження пов'язані з тим, що надходження заявок протягом дня (за деякий інтервал часу) не повинно залежати від того, скільки було заявок в інші дні. Ця вимога на практиці зазвичай також дотримується. Покупці до магазину приходять випадково, відмови автомобілів також виникають через випадкові проміжки часу.

Третє обмеження – середня кількість заявок (попит) на запасні частини за одиницю часу має бути постійною (у моделі показник λ). Сезонність попиту на запасні частини, різна інтенсивність експлуатації автомобілів у різні пори року та багато інших факторів призводять до того, що споживання запасних частин не завжди, тобто попит $\lambda \neq \text{const}$. У цьому випадку під час використання моделі потрібно для кожного сезону підставляти конкретне значення λ , що відповідає сезону та умовно вважається постійним.

Припустимо, що можливість появи покупців запасних частин за певний період часу описується пуассонівським законом розподілу з параметром λ , а кількість деталей, які вони купують одноразово – пуассонівським законом розподілу з параметром λ .

Відповідно до припущення про підпорядкування ймовірностей появи покупців закону Пуассона, ймовірності появи певного кількості покупців кожної групи визначаються за формулами [6]:

$$p_1(x) = \frac{e^{-\lambda_1} \cdot \lambda_1^x}{x!}, p_2(x) = \frac{e^{-\lambda_2} \cdot \lambda_2^x}{x!}, \dots, p_k(x) = \frac{e^{-\lambda_k} \cdot \lambda_k^x}{x!} \quad (2)$$

де $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$ – параметри функцій розподілу ймовірностей появи покупців першої, другої, ..., k -ої групи відповідно;

x – кількість покупців.

Імовірність того, що за певний період (один день) не з'явиться жоден покупець першої групи:

$$p_1(0) = e^{-\lambda_1}. \quad (3)$$

Отже, ймовірність відсутності покупців за певний період часу можна визначити як:

$$p(0) = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_k)}. \quad (4)$$

Відповідно до припущення про підпорядкування ймовірностей покупки певної кількості деталей одним покупцем закону Пуассона, ймовірності покупки певної кількості деталей покупцем кожної групи визначаються за формулами [6]:

$$p'_1(y) = \frac{e^{-\lambda'_1} \cdot \lambda'^y_1}{y!}, p'_2(y) = \frac{e^{-\lambda'_2} \cdot \lambda'^y_2}{y!}, \dots, p'_k(y) = \frac{e^{-\lambda'_k} \cdot \lambda'^y_k}{y!}. \quad (5)$$

де $\lambda'_1, \lambda'_2, \dots, \lambda'_k$ – параметри функцій розподілу ймовірностей появи покупців першої, другої, ..., k -ої групи відповідно;

$p'_1(y), p'_2(y), \dots, p'_k(y)$ – ймовірності покупки у деталей покупцями першої, другої, ..., k -ої групи відповідно за одну покупку;

y – кількість куплених деталей одним покупцем (натуральне число).

Причому для кожної групи покупців виконується нерівність:

$$y^1_{cp} > y^2_{cp} > \dots > y^{k-1}_{cp} > y^k_{cp} \quad (6)$$

де $y^1_{cp}, y^2_{cp}, \dots, y^k_{cp}$ – математичне очікування кількості деталей, які може придбати один покупець запасних частин першої, другої, ..., k -ої групи відповідно.

Виходячи з наведених вище формул, визначимо ймовірність покупки за певний період однієї деталі. Згідно з умовою, одна деталь може бути продана за певний інтервал часу тільки роздрібному покупцю, за умови, що інших покупців за цей період часу не буде, отже:

$$p(1) = e^{-\lambda_1} \cdot \lambda_1 \cdot e^{-\lambda'_1} e^{-(\lambda_2 + \lambda_3 + \dots + \lambda_n)} \quad (7)$$

або

$$p(1) = p(0) \cdot \lambda_1 \cdot e^{-\lambda'_1},$$

тобто ймовірність покупки за певний період однієї деталі дорівнює спільно ймовірності появи одного роздрібного покупця, ймовірності, що він візьме одну деталь, та ймовірності відсутності покупців другої групи, третьої групи тощо.

Припустимо, за певний інтервал часу (один день) було придбано x однакових деталей кількома покупцями. Позначивши кількість груп (класів) покупців як k , а кількість клієнтів кожної групи як n , можна подати x як:

$$x = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n S_{ij}, \quad (8)$$

де S_{ij} – кількість деталей придбаних одним i -им покупцем j -ої групи.

Таким чином, задача знаходження функції щільності суміші ймовірнісних розподілів попиту зводиться до знаходження кожного x всіх можливих варіантів наборів значень S_{ij} , що задовольняють умові (8). Наприклад, для наведених вище умов при $x=1$ можливий тільки один варіант $S_{11}=1$. При $x=2$ два: 1) $S_{11}=2$; 2) $S_{11}=1, S_{21}=1$. Для $x=3$ та $x=4$ існує відповідно 4 та 7 варіантів, представлених нижче у вигляді матриць, номер стовпців якої відповідає класу покупців (k), а номери рядків – номеру покупця (n) цієї групи тих, хто прийшов за певний період часу за певною запасною частиною:

$$\begin{aligned}
 x=3: & \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} 2 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} 3 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} 0 & 3 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}, \\
 x=4: & \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} 2 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} 2 & 0 \\ 2 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} 3 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} 4 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} 1 & 3 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} 0 & 4 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix}.
 \end{aligned}$$

Тоді функцію щільності суміші ймовірнісних розподілів можна подати у вигляді:

$$f(x) = \sum_{q=1}^m [\prod_{j=1}^k \prod_{i=1}^n p(n_{ij}) \cdot p(S_{ij})]_q, \quad (9)$$

де m – кількість всіх можливих варіантів наборів значень S_{ij} , що задовольняють умову (8);

p_{ij} – ймовірність появи тільки i -ої кількості покупців j -ої групи за певний період;

$p(S_{ij})$ – ймовірність покупки S деталей i -им покупцем j -ої групи за один раз.

Враховуючи, що ймовірність появи певної кількості покупців та придбання ними певної кількості деталей підпорядковується закону Пуассона, можна подати вираз (9) у вигляді:

$$f(x) = \sum_{q=1}^m \left(\prod_{j=1}^k \prod_{i=1}^n \frac{e^{-\lambda_j} \cdot \lambda_j^{z_j}}{z_j!} \cdot f(S_{ij}) \right)_q, \quad (10)$$

де z_j – кількість покупців j -ої групи;

λ_j – параметр пуассонівського розподілу ймовірності появи певної кількості покупців j -ої групи за певний період часу.

Якщо кількість класів k наперед невідома, то її можна визначити з допомогою критерію хі-квадрат Пірсона. Припустимо, що для ряду послідовних значень $k = 1, 2$ і т. д. вже обчислені такі значення параметрів $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$ та $\lambda'_1, \lambda'_2, \dots, \lambda'_k$, за яких відповідні функції правдоподібності досягають максимуму або значення критерію хі-квадрат досягає мінімуму, тобто за яких теоретичний розподіл найбільше підходить фактичному (емпіричному) розподілу. Очевидно, що зі збільшенням числа класів k , теоретичний розподіл буде наближатися до фактичного, а значення критерію хі-квадрату зменшуватиметься. Водночас, кількість ступенів свободи зі зростанням k також зменшуватиметься – на 2 одиниці при збільшенні k на одиницю, тому що кожному класу (компоненті суміші розподілу) відповідає 2 параметри (λ_k і λ'_k).

Отже, за умови справедливості гіпотези H_k : «істинне число компонентів суміші (класів споживачів) дорівнює k », для заданого значення α має дотримуватися нерівності:

$$\chi^2(k) - \chi^2(k+1) < \chi^2_{p-2k-1, 1-\alpha} - \chi^2_{p-2k-3, 1-\alpha}, \quad (11)$$

де k – кількість компонентів суміші (класів);

p – число інтервалів.

Висновки.

1. Існуючі на сьогодні моделі систем керування складом автомобільних запасних частин добре опрацьовані. Тому проблема визначення економічного розміру замовлення на поповнення складу полягає не як аналітичний інструмент, а в правильному виборі вихідної інформації та коректності інтерпретації отриманих результатів.

2. У роботі виявлено закономірності та особливості формування потреби в запасних частинах на підприємствах, обслуговуючих та експлуатуючих АТЗ, яка є функцією суміші ймовірнісних розподілів, що включає ймовірності появи споживачів та обсягу їх вимог.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Агафонов А.В. Определение потребности дилерских станций технического обслуживания автомобилей в запасных частях и повышение эффективности управления запасами: дис. канд. техн. наук: 05.22.10 / Агафонов Алексей Валентинович. – М., 2003. – 221 с.
2. Бродецкий Г.Л. Управление запасами: учеб. пособие / Г.Л. Бродецкий. – М.: Эксмо, 2008. – 352 с.
3. Волгин В.В. Автомобильный дилер. Практическое пособие по маркетингу и менеджменту сервиса и запасных частей / В.В. Волгин. – М.: Ось-89, 1997. – 224 с.
4. Ивахненко А.А. Аналитико-имитационное моделирование технологических процессов движения запасных частей и комплектующих в дилерской сети предприятий автомобильной промышленности с использованием сетей массового обслуживания: дис. канд. техн. наук: 05.13.06 / Ивахненко Андрей Андреевич. – М., 2013. – 174 с.
5. Князьков А.Н. Применение моделирования при управлении складскими запасами / А.Н. Князьков, Ю.Н. Махнов // Политранспортные системы: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. – Ч. 1. – С. 156-161.
6. Лоу А. Имитационное моделирование / А. Лоу, В. Кельтон. – Киев: BHV, 2004. – 847 с.

REFERENCES

1. Agafonov A.V. Opredelenie potrebnosti dilerskikh stancij tehničeskogo obsluzhivaniya avtomobilej v zapasnyh chastyah i povыshenie effektivnosti upravleniya zapasami. Diss. kand. techn. nauk [Determining the needs of car dealerships for spare parts and improving the efficiency of inventory management. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2003. 221 p.
2. Brodetskiy G.L. Upravlenie zapasami [Inventory Management]. Moscow, Eksmo, 2008. 352 p.
3. Volgin V.V. Avtomobilnyy diler. Prakticheskoe posobie po marketingu i menedzhmentu servisa i zapasnyh chastey [Car dealer. A practical guide to marketing and management of service and spare parts]. Moscow, Os, 1997. 224 p.
4. Ivahnenko, A.A. Analitiko-imitacionnoe modelirovanie tekhnologicheskikh processov dvizheniya zapasnyh chastey i komplektuyushchih v dilerskoj seti predpriyatij avtomobilnoj promyshlennosti s ispolzovaniem setej massovogo obsluzhivaniya. Diss. kand. techn. nauk [Analytical and simulation modeling of technological processes of movement of spare parts and components in the dealer network of automotive industry enterprises using queuing networks. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2013. 174 p.
5. A.N. Knyazkov, Yu.N. Mahnov. Primenenie modelirovaniya pri upravlenii skladskimi zapasami [Applying Simulation to Inventory Management]. Politransportnye sistemy: Materialy IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii [Polytransport systems: Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference]. Krasnoyarsk: IPC KGTU. 2006, ch. 1, pp. 156-161.
6. Lou A., Kelton V. Imitacionnoe modelirovanie [Simulation modelling]. Kiev, BHV, 2004. 847 p.

РЕФЕРАТ

Січко О.Є. Закономірності та особливості формування потреби у запасних частинах на підприємствах автосервісу / О.Є Січко, О.О. Пархоменко, М.М. Кошарний, П.Д. Годованюк // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Мета досліджень полягає в розробці основних теоретичних положень, методики прогнозування попиту на автомобільні запасні частини. Об'єктом дослідження є процес управління запасами запасних частин в підприємствах, що обслуговують автомобільний транспорт. Дослідження проводяться на основі функції суміші ймовірнісних розподілів, цільових функцій системи управління складом автомобільних запасних частин. У даній статті розглядається задача визначення потреби у запасних частинах для підприємств автосервісу та ефективного управління запасами на складі. Також розглянуті сучасні методи забезпечення запасними частинами. Завдання управління складом на підприємствах, що обслуговують автомобільний транспорт, є нетривіальним, і часто виникає ряд помилок, пов'язаних з тим, що не завжди адекватно прогнозується потреба у

запасних частинах. Невисока ефективність роботи цієї підсистеми технічного обслуговування і поточного ремонту підвищує простої автомобілів, витрати на доставку та зберігання запасних частин. Це, в свою чергу, знижує якість обслуговування та лояльність споживачів до компанії, веде до втрат від втраченого продажу. Переважна частка наявних запасних частин має запас на складі більше ніж споживання їх протягом трьох місяців, що свідчить про невисоку ефективність управління.

Аналіз наукових досліджень у даній галузі та їх практичної реалізації показав відсутність на практиці інструментів, що дозволяють ефективно управляти запасами на підприємствах, що обслуговують та експлуатують автомобільні транспортні засоби. З урахуванням тенденцій розвитку галузі, потрібна подальша розробка технологічних процесів управління складом сервісних підприємств з урахуванням нових інформаційних технологій.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗАПАСНІ ЧАСТИНИ, УПРАВЛІННЯ СКЛАДОМ, СУМІШ ІМОВІРНІСНИХ РОЗПОДІЛІВ, ПОПИТ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ЗАКОН ПУАССОНА, АВТОМОБІЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ.

ABSTRACT

Sichko O.Y., Parkhomenko O.O., Kosharnyi M.M., Godovanyuk P.D. Regularities and features of need formation in spare parts at auto service enterprises. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The purpose of the research is to develop the main theoretical provisions, methods of forecasting the demand for automobile spare parts. The object of the study is the process of spare parts inventory management in enterprises servicing road transport. Research is carried out on the basis of the function of a mixture of probability distributions, target functions of the warehouse management system of automotive spare parts. Modern methods of providing spare parts are also considered. The task of warehouse management at road maintenance companies is non-trivial and there are often a number of errors due to the fact that the need for spare parts is not always adequately predicted. The low efficiency of this subsystem of maintenance and repair increases downtime of cars, the cost of delivery and storage of spare parts. This in turn reduces the quality of service and customer loyalty to the company, leads to losses from lost sales. The predominant share of spare parts has a stock in the warehouse more than their consumption for three months, which indicates low management efficiency.

The analysis of scientific research in this field and their practical implementation has shown the lack of tools in practice to effectively manage inventories at enterprises that service and operate motor vehicles. Taking into account the development trends of the industry, further development of technological processes for the management of service enterprises with new information technologies is required.

KEYWORDS: SPARE PARTS, WAREHOUSE MANAGEMENT, MIXTURE OF PROBABILITY DISTRIBUTIONS, DEMAND, MATHEMATICAL MODELING, POISSON'S LAW, MOTOR VEHICLES.

АВТОРИ:

Січко Олександр Євгенійович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: sichkobox@gmail.com, тел.: +380504423470, Україна, 01010, м. Київ, вул. М.Омеляновича-Павленка, 1, к. 410, orcid.org/0000-0003-4027-3890.

Пархоменко Олександр Олександрович, 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. 406, orcid.org/0000-0002-4752-0148.

Кошарний Микола Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: kosarnijmikoła@gmail.com, тел.: +380936600992, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 410, orcid.org/0000-0002-5969-4858.

Годованюк Петро Дмитрович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: pgodovanuk04@gmail.com, тел.: +380505492210, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 410, orcid.org/0000-0001-6331-8698.

AUTHORS:

Sichko Olexandr Y., Ph.D in Technical Science, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, e-mail: sichkobox@gmail.com, tel.: +380504423470, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str.,1, of. 410, orcid.org/0000-0003-4027-3890

Parkhomenko Olexandr O., National Transport University, Assistant of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, e-mail: oluparkhom@gmail.com, tel.: +380634380352, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str., 1, of. 406, orcid.org/0000-0002-4752-0148.

Kosharnyi Mykola M., Ph.D in Technical Science, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, e-mail: kosarnijmikola@gmail.com, tel.: +380936600992, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str.,1, of. 410, orcid.org/0000-0002-5969-4858.

Godovanyuk Petro D., Ph.D., Ph.D in Technical Science, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, e-mail: pgodovanuk04@gmail.com, tel.: +380505492210, Ukraine, Kyiv, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str.,1, of. 410, orcid.org/0000-0001-6331-8698.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Жаров Костянтин Сергійович, кандидат технічних наук, ДП «ДержавтотрансНДІпроект», начальник Центру оцінки відповідності КТЗ і наукових досліджень системи технічного регулювання, Київ, Україна.

Посвятенко Едуард Карпович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри виробництва, ремонту і матеріалознавства, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Zharov Kostiantyn S., Candidate of Technical Sciences, State Enterprise “State Road Transport Research Institute”, Head of the Center for Conformity Assessment of Vehicles and Research of the Technical Regulation System, Ukraine, Kyiv.

Posviatenko Eduard K., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Professor of the Department of manufactures, repair and materials technology, Ukraine, Kyiv.

ПЕРСПЕКТИВИ АЛГОРИТМІЧНОЇ МОВИ PYTHON В ОПАНУВАННІ СТУДЕНТАМИ ДИСЦИПЛІН МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Сисоєв І.К., Національний транспортний університет, Київ, Україна, i.sisoev.w@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4823-9179

Гавриленко В.В., доктор фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, vvgavrilenko1953@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9682-4204

Шумейко О.А., Національний транспортний університет, Київ, Україна, shumeyko.ntu.edu.ua@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2897-060X

Рудоман Н.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, materials.ntu@gmail.com, orcid.org/0000-0002-7923-8649

Донець В.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, veronikadonetskist@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2353-0699

PROSPECTS OF PYTHON ALGORITHMIC LANGUAGE IN STUDENTS 'HANDLING OF MACHINE LEARNING DISCIPLINES

Sysoev I.K., National Transport University, Kyiv, Ukraine, i.sisoev.w@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4823-9179

Gavrilenko V.V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, vvgavrilenko1953@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9682-4204

Shumeiko O.A., National Transport University, Kiev, Ukraine, shumeyko.ntu.edu.ua@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2897-060X

Rudoman N.V., National Transport University, Kiev, Ukraine, materials.ntu@gmail.com, orcid.org/0000-0002-7923-8649

Donets V.V., National Transport University, Kiev, Ukraine, veronikadonetskist@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2353-0699

Актуальність дослідження. На добу сьогодення, зважаючи на швидкий темп розвитку інформаційних та комп'ютерних технологій, відбувається поетапна зміна вимог до навчання азів програмування. Основне питання, що задається перед стартом навчання програмуванню – вибір мови програмування та відповідних допоміжних інструментальних атрибутів, заточених під обрану мову. Дане питання не має однозначної відповіді, оскільки перебуває в залежності від великої кількості факторів, у тому числі від цілі навчання, сфери застосування знань, сфери розробки, тренду у професійних розробники, тощо. Проте слід зазначити, що все залежить від людини та виду діяльності, в котрій вона має на меті застосовувати свої знання та навички.

На даний період часу велику долю інтересу перепадає на вивчення мови програмування Python. Python – багатоцільова мова програмування, яка дозволяє писати код, який, на відміну від аналогічних мов, дуже добре читається. Відносний лаконізм мови дає можливість читачу курсу створювати комп'ютерні програми, котрі будуть у декілька разів коротшими за аналог, написаний аналогічною мовою програмування, а досить велика кількість багатопланових бібліотек майже знімає будь-які обмеження на галузі розробки програмного забезпечення. За допомогою мови програмування Python можна створювати інструменти для супроводження інформаційної структури підприємства, унікальні додатки з універсальними можливостями, додатки з графічним інтерфейсом, створювати мобільні ігри, веб-додатки, проводити дослідження у галузі опрацювання великих масивів даних та штучного інтелекту [1].

Виклад основного матеріалу.

Використання інноваційних інформаційних технологій у навчальному процесі є невід'ємною частиною сучасного світу. Насамперед, розглянемо проблему вивчення математичних дисциплін

студентами закладів вищої освіти IT-спеціальностей. Надамо деякі рекомендації щодо поглибленого засвоєння основних понять і тверджень даних курсів та паралельно формуючи алгоритмічний стиль мислення студента.

Оскільки студенти IT-спеціальностей вивчають мову програмування Python (програмує середовище, що набуло популярності серед відомих мов програмування; дослідження проведено українським IT-порталом DOU.UA. [2]), то це може допомогти при розв'язанні різного типу математичних задач. Таке поєднання курсів дає змогу підвищити показники успішності і самої мови Python, адже в процесі створення алгоритмів до кожної задачі розвивається логічне мислення, що збільшить швидкість та якість виконання різного типу завдань, покращить візуальне сприйняття матеріалу, що є важливим результатом навчальної діяльності.

Програмує середовище Python є об'єктно-орієнтовною мовою високого рівня, яка має набір конструкцій структурного програмування та підтримує модульність. Мова програмування Python містить хороший інструментарій для наукових розрахунків, доступна на будь-якій платформі: Windows, Linux тощо [3].

Так, у новачків в Data Science часто виникає питання про те, яку мову програмування вибрати основною – специфічний, створений спеціально для обробки даних R або популярний і в інших сферах та універсальний Python. Обидві мови підтримуються open-source ліцензіями (на відміну від комерційних інструментів SAS і SPSS або пропрієтарного MATLAB) та традиційно розглядаються як найбільш затребувані. Стрімкий розвиток Data Science призводить до швидкої зміни позицій фаворитів. Далі буде коротко проаналізовано тенденції в протистоянні Python і R на початок 2018 року. Було прийнято рішення не розглядати інші мови програмування, такі як Java, C# або інші “.net framework-s languages» з причини відсутності гідних бібліотек-претендентів з безкоштовною ліцензією для використання в додатках, написаних вказаними мовами (детальніше питання вибору бібліотек та інших засобів розробки описано в наступних розділах). Аналіз пошукових запитів Google Trends і даних Kaggle показують, що мова програмування загального призначення Python, вочевидь, більш затребувана, ніж R, і за версією Stack Overflow входить у п'ятірку найбільш популярних мов програмування. Тому порівнювати самі по собі Python і R некоректно – потрібно розглядати їх щодо нашої предметної галузі [4].

Аналізуючи статистику Google Trends з січня 2012-го року по січень 2018 го за запитами про застосування Python і R в машинному навчанні, видно, що протягом останніх двох років інтерес до Python став переважати, і на початок 2018 року число запитів суттєво перевершує аналогічні звернення, пов'язані з R (рисунок 1) [5].

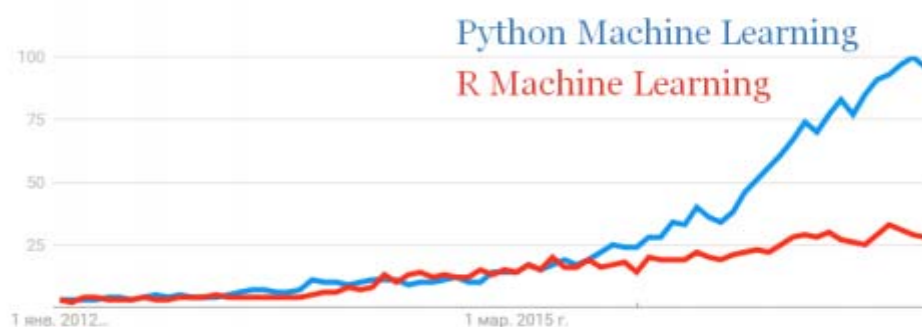


Рисунок 1 – Графік попиту на мови програмування Python та R
Figure 1 – Graph of demand for Python and R programming languages

Виходячи з реальних відгуків спеціалістів, звичайних користувачів та огляду даного сегменту можна виділити переваги та недоліки кожної з мов. Переваги R:

- мова створювалася спеціально для аналізу даних: запис конструкцій мови зрозумілий багатьом фахівцям у галузі;
- багато функцій, необхідних для аналізу даних, є вбудованими функціями мови. Перевірка статистичних гіпотез часто займає лише кілька рядків коду;

- установка IDE (RStudio) і необхідних пакетів обробки даних гранично спрощена;
- зручний репозиторій пакетів і велика кількість готових тестів практично під всі методи Data Science і машинного навчання;

- ефективна робота з векторами і матрицями.

Недоліки «R»:

- низька продуктивність;
- специфічність у порівнянні зі стандартними мовами програмування, так як мова вузькоспеціалізована;
- R прекрасний інструмент для статистики і відповідних stand-alone додатків, але просідає в тих галузях, де традиційно застосовуються мови загального призначення;

- є можливість виконати один і той самий функціонал різними способами. Синтаксис для розв'язування деяких завдань не зовсім очевидний;

- у силу великої кількості бібліотек, документація більшості, менш популярних з них, не є повною.

Переваги Python:

- практично повністю володіє всіма перевагами мови «R», за деякими винятками;
- універсальна багатоцільова мова: можна здійснювати не тільки обробку даних, але також їх пошук і використання результату обробки навіть у веб-додатку;

- є однією з тих мов, які відмінно підходять на роль першої мови програмування. У разі втрати інтересу до машинного навчання чи Data Science набуті навички знадобляться в інших прикладних областях – як при використанні самого Python, так і при освоєнні споріднених мов.

Недоліки Python:

- відсутність загального сховища та брак альтернатив для багатьох бібліотек R. Однак ситуація значно покращилася за останні роки: аналітики, які брали раніше кілька різних мов для різних завдань, відзначають, що набір інструментів змістився за останні два роки в бік бібліотек на Python. Крім того, входження новачків полегшують такі збірники, як Anaconda;

- є мовою з динамічною типізацією. Це істотно прискорює розробку програм, але заодно ускладнює пошук деяких важко відстежуваних помилок, пов'язаних з неправильним привласненням різних даних одним і тим же змінним.

Отже, з огляду на вище описані аспекти було прийнято рішення використовувати мову Python як більш зрозумілу та перспективну.

Але у вирішенні загальних задач виходимо з графіку популярності мов програмування, зібраних на платформі *StackOverflow* за 2020 рік (рисунок 2).

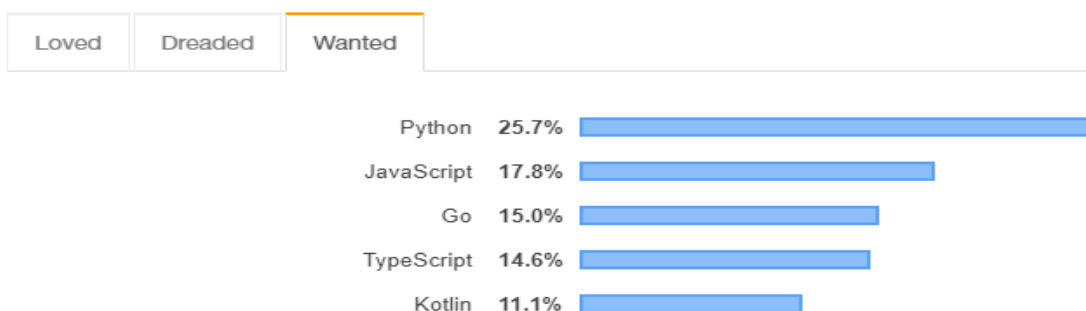


Рисунок 2 – Графік популярності мов програмування за 2020 рік
Figure 2 – Graph of the popularity of programming languages in 2020

За його результатами можна зробити висновок про те, що лідером серед мов програмування є Python. А друге і третє місця, відповідно, посідають JavaScript і Go. Але це, нагадаємо, дослідження 2020 року. За рік багато чого може змінитися. Наприклад, Go – це мова, яка розвивається вкрай швидко і популярність якої постійно зростає. Вважаємо, що в аналогічному дослідженні цього року ми, можливо, побачимо іншу таблицю лідерів.

Нижче показаний графік GitHub 2.0, який демонструє кількість PR, зроблених з 2013 по 2019 рік з розбивкою за мовами програмування. Як видно, JavaScript впевнено обходить всі інші мови. Python посідає друге місце, а Go тут навіть і не видно.

Тобто виходячи з графіку, зображеного на рисунку 3, можна зробити висновок, що хоч Python і є більш популярним серед опитаних, більшість коду, а відповідно й роботи з вирішення задач було виконано на JavaScript, що показує, що популярність ще не означає затребуваність у замовників.

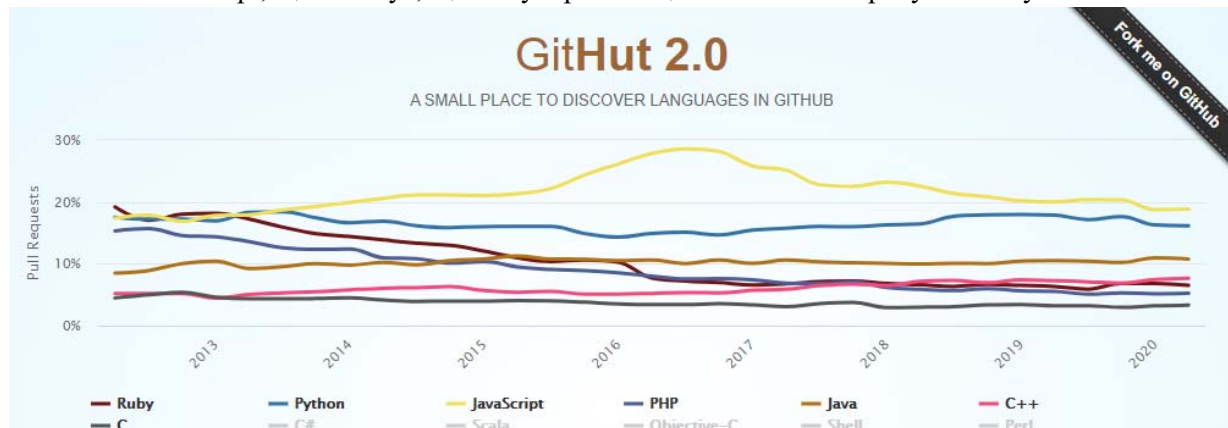


Рисунок 3 – Дані щодо кількості Pull request за мовами програмування
Figure 3 – Data on the number of Pull requests by programming languages

Але якщо проаналізувати рейтинги мов програмування (рисунок 4), глянувши на таблицю, то виявиться, що популярність Go росте, а популярність JavaScript і Python падає, що також може бути пов'язане з тим, що хоч мова і подобається більшості своїми сильними сторонами, але вона не влаштовує замовника у вирішенні ряду типових задач, що змушує розробників обирати інші мови програмування для розв'язання типових задач і залишати Python тільки там, де він і справді доцільний – у вирішенні завдань машинного навчання.

# Ranking	Programming Language	Percentage (Change)	Trend
1	JavaScript	18.789% (-1.133%)	
2	Python	16.108% (-1.694%)	
3	Java	10.731% (+0.250%)	
4	Go	8.922% (+1.006%)	
5	C++	7.636% (+0.383%)	

Рисунок 4 – Тенденція зростання популярності мов програмування
Figure 4 – The trend of growing popularity of programming languages

Висновки.

Загалом можна відзначити, що Python – це багатоцільовий мову, що має простий, чистий і не занадто складний синтаксис, освоєння якого не викликає труднощів навіть у новачків. Усе вищесказане означає, що Python – це чудова мова. Якщо дивитися з технічної точки зору, то всі ті завдання, які вирішують за допомогою Python, можна вирішувати і за допомогою інших мов. Але простота і ясність Python зробили його тим, чим він є зараз – найпопулярнішою мовою програмування. Хоча в реальності Python вже здає свої позиції, що ми можемо бачити за наведених вище графіків та таблиць (рисунок 3, рисунок 4). Свого часу ця мова була достатньо популярною в галузі комп'ютерних ігор, але ця популярність вже давно втрачена. У вебпрограмуванні JavaScript все частіше використовується замість мови Python, як скриптовій мові програмування. Лише в вирішенні задач машинного навчання Python ще тримає пальму першості. З методичної точки зору недоліком є

відсутність у мові Python строгої типізації, що може негативно вплинути на якість вивчення основ алгоритмізації і програмування, через що пропонується вивчати мову C# у класах технологічного профілю.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Анісімов А.В. Програмування числових методів мовою Python / Анісімов А.В., Дорошенко А.Ю., Погорілий С.Д., Дорогий Я.Ю. За ред. А.В. Анісімова. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2014. – 640 с.
2. Рейтинг мов програмування 2019 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dou.ua/lenta/articles/language-rating-jan-2019/>.
3. Яковенко А.В. Основи програмування. Python. Частина 1 – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського – 2018. – 195 с.
4. Габрусев В.Є. Використання елементів комп'ютерного моделювання у процесі навчання фізики // Науковий часопис НПУ імені М.П. Драгоманова. Серія No2. Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання: Зб. наук. праць / Редрада. – К.: НПУ імені М.П. Драгоманова, 2018. – № 20 (27). – с. 77.
5. Сучасні цифрові технології та інноваційні методики навчання: досвід, тенденції, перспективи. Матеріали VII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Тернопіль, 8 квітня, 2021), 164 с.

REFERENCES

1. Anisimov A.V. Prohramuvannia chyslovykh metodiv movoiu Python [Programming of numerical methods in Python] / Anisimov A.V., Doroshenko A.Yu., Pogoriliy S.D., Dorogiy Ya.Yu. Ed. A.V. Anisimov. – K.: Publishing and Printing Center "Kyiv University", 2014. – 640 p. [in Ukrainian].
2. Reitynh mov prohramuvannia 2019 [Rating of programming languages 2019] – [Electronic resource]. – Access mode: <https://dou.ua/lenta/articles/language-rating-jan-2019/> [in Ukrainian].
3. Yakovenko A.V. Osnovy prohramuvannia. Python. Chastyna 1 [Fundamentals of programming. Python. Part 1] – Kyiv: KPI named after Igor Sikorivsky. – 2018. – 195 p. [in Ukrainian].
4. Gabrusev V.E. Vykorystannia elementiv komp'iuternoho modeliuvannia u protsesi navchannia fizyky [The use of elements of computer modeling in the process of teaching physics] // Scientific Journal of NPU named after MP Drahomanov. Series No. 2. Computer-based learning systems: Coll. scientific works / Redrad. – K.: NPU named after M.P. Dragomanov, 2018. – № 20 (27). – P. 77 [in Ukrainian].
5. Suchasni tsyfrovi tekhnolohii ta innovatsiini metodyky navchannia: dosvid, tendentsii, perspektyvy. Materialy VII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii [Modern digital technologies and innovative teaching methods: experience, trends, prospects. Proceedings of the VII International Scientific and Practical Internet Conference] (Ternopil, April 8, 2021), 164 p. [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Сисоєв І.К. Перспективи алгоритмічної мови Python в опануванні студентами дисциплін машинного навчання / І.К. Сисоєв, В.В. Гавриленко, О.А. Шумейко, Н.В. Рудоман, В.В. Донець // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

У статті розглянуто перспективи використання мови програмування Python для навчання студентів дисциплінам пов'язаним з машинним навчанням. Проаналізовано ситуацію в сфері мов програмування, які пов'язані та можуть використовуватись при вирішенні задач машинного навчання. Проведений аналіз показав, що сучасні тренди свідчать про стрімке зростання популярності як підходів і методик, які потребують вирішення задач машинного навчання, так і самої мови програмування Python, що свідчить про неабиякі перспективи при вивченні данної мови програмування студентами.

Проведено аналіз переваг та недоліків мови програмування Python, що дає змогу оцінити перспективність мови у порівнянні з конкурентами, в розрізі якісних характеристик які будуть важливі при вивченні студентами в стінах університету, та при застосуванні студентами отриманих

знань у майбутньому за межами університету в конкурентному середовищі. Порівняльний аналіз характеристик було проведено в порівнянні з мовою програмування R, яка є також досить популярною при вирішенні завдань машинного навчання. Аналіз демонструє недоліки та переваги мови Python, які відображені у висновку статті щодо перспективності цієї мови порівняно з іншими.

Також проведений аналіз популярності мови Python у вирішенні загальних задач програмування, що також є важливим, адже може надати студентам переваги при використанні отриманих знань у конкурентному середовищі. Аналіз показав, що Python має місце при вирішенні загальних задач програмування, але все одно поступається в популярності іншим мовам.

Зробивши висновок з проведеного дослідження, можна припустити, що Python завдяки своїм сильним сторонам є гарним кандидатом для вивчення студентами в предметах, пов'язаних із завданням машинного навчання, але популярність цієї мови для вирішення загальних задач програмування не надає вагомих переваг при використанні в конкурентному середовищі порівняно з іншими мовами програмування.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПРОГРАМУВАННЯ, МАШИННЕ НАВЧАННЯ, PYTHON, АНАЛІЗ, ПЕРЕВАГИ.

ABSTRACT

Sysoev I.K., Gavrilenko V.V., Shumeiko O.A., Rudoman N.V., Donets V.V. Prospects of python algorithmic language in students' handling of machine learning disciplines. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article discusses the prospects of using the python programming language to teach students disciplines related to machine learning. The situation in the field of programming languages that are related and can be used in solving machine learning problems is analyzed. The analysis showed that current trends show a rapid growth in popularity, both approaches and techniques that require solving machine learning problems, and the programming language python, which indicates great prospects for learning this programming language by students.

An analysis of the advantages and disadvantages of python programming language, which allows to assess the viability of the language in comparison with competitors, in terms of qualitative characteristics that will be important in studying students within the university, and in applying students' knowledge in the future outside the university in a competitive environment. Comparative analysis of characteristics was carried out in comparison with the programming language R, which is also quite popular in solving machine learning problems. The analysis demonstrates the disadvantages and advantages of the python language, which are reflected in the conclusion of the article regarding the prospects of this language compared to others.

There is also an analysis of the popularity of the python language in solving general programming problems, which is also important because it can give students an advantage in using the knowledge gained in a competitive environment. The analysis showed that python takes place in solving general programming problems, but still inferior in popularity to others in languages.

Concluding from the study, we can assume that python due to its strengths is a good candidate for students to study in subjects related to the task of machine learning, but the popularity of this language to solve general programming problems does not provide significant advantages when used in a competitive environment. comparable to other programming languages.

KEY WORDS: PROGRAMMING, MACHINE LEARNING, PYTHON, ANALYSIS, BENEFITS.

АВТОРИ:

Сисоєв Ілля Костянтинович, Національний транспортний університет, аспірант, e-mail: i.sisoev.w@gmail.com, тел.: +380442807066, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 347а, orcid.org/0000-0003-4823-9179.

Гавриленко Валерій Володимирович, доктор фізико-математичних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри інформаційних систем і технологій, e-

mail: vvgavrilenko1953@gmail.com, тел.: +380442807066, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 347а, orcid.org/0000-0001-9682-4204.

Шумейко Олексій Андрійович, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: shumeyko.ntu.edu.ua@gmail.com, тел.: +380442807066, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 347а, orcid.org/0000-0003-2897-060X.

Рудоман Надія Володимирівна, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: materials.ntu@gmail.com, тел.: +380442807066, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 347а, orcid.org/0000-0002-7923-8649.

Донець Вероніка Василівна, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: veronikadonetskist@gmail.com, тел.: +380442807066, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 347а, orcid.org/0000-0003-2353-0699.

AUTHORS:

Sysoev Ilya Konstantinovich, National Transport University, Postgraduate Student, e-mail: i.sisoev.w@gmail.com, тел.: +380442807066, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 347a, orcid.org/0000-0003-4823-9179.

Gavrilenko Valery Vladimirovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of Information Systems and Technologies, e-mail: vvgavrilenko1953@gmail.com, тел.: +380442807066, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 347a, orcid.org/0000-0001-9682-4204.

Shumeiko Oleksii Andriyovych, National Transport University, Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies, e-mail: shumeyko.ntu.edu.ua@gmail.com, тел.: +380442807066, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 347a, orcid.org/0000-0003-2897-060X.

Rudoman Nadiya Volodymyrivna, National Transport University, Senior Lecturer of the Department of Information Systems and Technologies, e-mail: materials.ntu@gmail.com, тел.: +380442807066, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 347a, orcid.org/0000-0002-7923-8649.

Donets Veronika Vasyilivna, National Transport University, Senior Lecturer of the Department of Information Systems and Technologies, e-mail: veronikadonetskist@gmail.com, тел.: +380442807066, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 347a, orcid.org/0000-0003-2353-0699.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Зайцев Є.О., доктор технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут електродинаміки НАН України, провідний науковий співробітник, Київ, Україна.

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

REVIEWERS:

Zaitsev E.A., Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Electrodynamics, Leading Researcher, 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.

ОСОБЛИВОСТІ КІНЕМАТИКИ І ДИНАМІКИ КЕРОВАНОГО КОЛЕСА ЗАЛЕЖНО ВІД ДОВЖИНИ ЦАПФИ

Солтус А. П., доктор технічних наук, Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна, auto.soltus@ukr.net, orcid.org/0000-0002-6010-1124

Клімов Е. С., кандидат технічних наук, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук, Україна, edward.klimov@gmail.com, orcid.org/0000-0002-2662-2401

Тарандушка Л. А., доктор технічних наук, Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна, tarandushkal@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2662-2401

FEATURES OF THE STEERED WHEEL KINEMATICS AND DYNAMICS DEPENDING ON THE KNUCKLE LENGTH

Soltus A.P., Doctor of Technical Sciences, Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine, auto.soltus@ukr.net, orcid.org/0000-0002-6010-1124

Klimov E.S., Ph.D. in Engineering, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, Ukraine, edward.klimov@gmail.com, orcid.org/0000-0002-2662-2401

Taranduska L.A., Doctor of Technical Sciences, Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine, tarandushkal@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2662-2401

Постановка проблеми.

Сили та моменти, що прикладені до диска еластичного колеса від трансмісії, гальмівної системи, остова автотранспортного засобу та кермового керування спричиняють реакції у контакті шини з опорною поверхнею. Ці реакції опорної поверхні забезпечують рух колеса та автомобіля в цілому [1–3].

Загальним випадком руху еластичного колеса по опорній поверхні є рух колеса по криволінійній траєкторії, радіус якої може змінюватися від нуля, що характерно для повороту керованого колеса на місці, до нескінченності, що відповідає його прямолінійному руху [4, 5, 6–8].

Для практики важливо знати особливості руху керованого еластичного колеса під час повороту на місці залежно від довжини цапфи і нахилів шворня, що дозволить визначити момент опору повороту шини керованого колеса під час повороту на місці залежно від цих параметрів. Тому створення математичної моделі керованого еластичного колеса, яка відображала б його поворот на місці залежно від довжини цапфи і нахилів шворня, є актуальною задачею.

Розв'язуванню задачі, пов'язаної з особливостями кінематики та динаміки еластичного керованого колеса автомобіля під час його повороту на місці залежно від довжини цапфи та нахилів шворня, присвячена дана робота.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Еластичне колесо автомобіля – це цілісний та складний механізм, до складу якого входить жорсткий диск, еластичне тіло шини (пневматик) і контактний відбиток шини. Цілісність такого механізму зумовлена його конструкцією, яка формує його зовнішні зв'язки, а складність – його передавальними, перетворювальними, пружними, згладжувальними властивостями, що забезпечують йому внутрішні зв'язки [4, 6–8].

Вхідною ланкою такого механізму є диск колеса. Якщо колесо ведене, то до диска колеса підводиться сила штовхання від остова автомобіля або гальмівний момент від гальмівного механізму. Якщо колесо ведуче, то до нього підводиться крутний момент від трансмісії. Щодо керованого колеса, то воно може бути ведучим, що стосується повнопривідних і передньопривідних автомобілів, або веденим. Водночас кероване колесо принципово відрізняється від некерованого наявністю додаткового ступеня вільності – поворот відносно осі шворня. Цей поворот керованого колеса забезпечується унаслідок підведення поворотного моменту від кермового керування автомобіля та може здійснюватися як при нерухомому автомобілі, так і під час його руху [1, 6].

Отже, до диска керованого колеса може підводитися крутний момент від трансмісії, гальмівний момент від гальмівної системи, сила штовхання від остова автомобіля та поворотний момент відносно осі шворня від кермового керування.

Підведені до диска керованого колеса кінематичні та динамічні чинники від трансмісії, остову автомобіля, гальмівної системи і кермового керування проходять через аморфне тіло шини (пневматик), що характеризується неголономними зв'язками з диском та опорною поверхнею [6, 7–9], замикаються у контактному відбитку шини, який одночасно належить шині та опорній поверхні, і викликають реакції опорної поверхні. Виникнення реакцій у відбитку шини забезпечує рух автомобілю. Пневматик забезпечує передавальні та перетворювальні, пружні та згладжувальні властивості механізму і безпосередньо впливає на формування таких експлуатаційних властивостей автомобіля, як тягово-швидкісні, гальмівні, паливну економічність, керованість, стійкість, плавність руху тощо.

Контактний відбиток шини є вихідною ланкою цього механізму. Він характеризується геометричними параметрами (площа, форма, розміри), розподілом питомого тиску по площині відбитка, його зчипними властивостями з опорною поверхнею та станом, який визначається наявністю в ньому зон зчеплення та ковзання [1, 4, 6–8]. Можливість реалізації підведених від диска колеса кінематичних і динамічних параметрів, що забезпечать рух автомобіля, залежить від стану контактної відбитка шини. Відомі три стани контактної відбитка: перший – у контактному відбитку шини наявні тільки зони зчеплення; другий – у контактному відбитку шини наявні зони зчеплення та ковзання; третій – у контактному відбитку шини наявні тільки зони ковзання, а зони зчеплення відсутні [1, 4, 6–8].

Стан контактної відбитка шини характеризуватимемо кутом повороту жорсткого диска колеса на місці відбитка шини. Перший стан можливий при куті повороту диска $\theta \leq \theta_A$, де θ_A – максимальний кут повороту диска колеса на місці, при якому вважається, що у контактному відбитку є тільки зони зчеплення. Другий стан відповідає куту повороту $\theta_A < \theta < \theta_B$, де θ_B – мінімальний кут повороту колеса на місці, при якому вважається, що у контактному відбитку шини є тільки зони ковзання. У міру збільшення кута повороту площа зон ковзання збільшується, а площа зон зчеплення зменшується. Третій стан настає при куті повороту $\theta \geq \theta_B$, коли у контактному відбитку наявні тільки зони ковзання. Величина коефіцієнта зчеплення між шиною та опорною поверхнею є одним з основних параметрів, який впливає на стан контактної відбитка. Максимальне зчеплення шини з опорною поверхнею досягається на асфальтобетонній сухій дорозі. При цьому значення цього коефіцієнта знаходиться в межах 0,6–0,8 [1, 6].

Це доводить, що кероване колесо автомобіля, за теорією еластичного колеса, поєднує всі можливі варіанти кінематики та динаміки еластичного колеса, а тому математичну модель керованого еластичного колеса, на нашу думку, необхідно визначати за робочим процесом цього цілісного та складного механізму.

Рух автомобіля по криволінійній траєкторії обумовлюється поворотом керованих коліс відносно осей шворнів з поперечним $\alpha_{ш}$ і поздовжнім $\beta_{ш}$ нахилом, який забезпечує кермова трапеція [1, 7, 10]. Під час такого руху всі колеса автомобіля, як керовані, так і некеровані, рухаються відносно одного центра, який лежить у площині опорної поверхні та є центром переносного руху [4, 7].

Водночас в роботах [1, 4–9] зазначається, що під час руху еластичного колеса по криволінійній траєкторії на опорній поверхні з високим коефіцієнтом зчеплення відбувається одночасно поворот жорсткого диска та його бічне зміщення відносно контактної відбитка шини за час проходження колесом шляху, що дорівнює половині поздовжньої осі контактної відбитка.

Поворот жорсткого диска відбувається відносно центра, який згідно з роботами [1, 4, 7, 8, 10] знаходиться у межах контактної відбитка та зі збільшенням радіуса кривизни траєкторії руху колеса зміщується до внутрішньої границі відбитка. Водночас аналіз роботи [4] показує, що внаслідок бічного зміщення диска відносно відбитка шини відбувається кочення колеса з відведенням. У роботі [4] також установлено, що кут повороту диска та кут відведення від бічного зміщення диска відносно відбитка шини, за умови рівного розподілу підведеної до диска колеса енергії на його відносний поворот та бічне зміщення, мають однакові значення та визначаються за виразом:

$$\theta_R = \delta_R = \frac{a}{4R} \text{ (рад.)}, \quad (1)$$

де θ_R – кут повороту диска колеса відносно контактної відбитка шини (кут закручування тіла шини) під час руху еластичного колеса по криволінійній траєкторії радіуса R в м; δ_R – кінематичний кут відведення, викликаний бічним зміщенням диска відносно відбитка шини під час руху еластичного колеса по криволінійній траєкторії радіуса R в м; a – поздовжня вісь контактної відбитка шини, м.

Отже, під час руху еластичного колеса по криволінійній траєкторії жорсткий диск, рухаючись по криволінійній траєкторії відносно центра переносного руху колісної машини, зміщується у бічному напрямі та повертається відносно контактної відбитка шини під час проходження колесом шляху, рівного половині поздовжньої осі контактної відбитка шини. При цьому зміщення диска у бічному напрямі викликає кінематичний кут відведення δ_R , а його поворот – закручування пневматика на кут θ_R .

Метою дослідження є визначення особливостей руху керованого еластичного колеса під час повороту на місці залежно від довжини цапфи і нахилів шворня та отримання аналітичних залежностей для визначення моменту опору повороту шини.

Виклад основного матеріалу.

Для теорії еластичного колеса особливо значущим є кероване колесо, яке, на відміну від некерованого, може повертатися відносно осі шворня як під час руху автомобіля, так і за відсутності його руху. Якщо припустити, що довжина цапфи значна, то під час повороту керованого колеса на місці відносно осі шворня воно рухатиметься по колу радіуса R , величина якого залежить від довжини цапфи. Водночас цей радіус R траєкторії руху еластичного колеса може забезпечити остов автомобіля під час його руху по криволінійній траєкторії.

Отже, у кожному із двох розглянутих випадків еластичне колесо рухається по криволінійній траєкторії одного радіуса кривизни, а тому незалежно від способу, що забезпечує рух колеса по колу, у пневматику відбуваються однакові явища. Якщо виходити з нашого припущення щодо довжини цапфи, яка забезпечує рух колеса по колу радіуса R , то це означає, що диск керованого колеса під час повороту на місці одночасно повертається та зміщується відносно відбитка шини за час проходження центром колеса шляху, що дорівнює половині поздовжньої осі контактної відбитка незалежно від того, як забезпечується рух колеса по колу [4, 5]. У цьому випадку контактний відбиток шини під час руху колеса по криволінійній траєкторії бере участь у переносному та відносному рухах.

Водночас довжина цапфи керованого колеса обмежена конструкцією керованого моста, а вісь шворня, відносно якої повертається цапфа, має поперечний та поздовжній нахили. Аналіз конструкцій керованих мостів показав, що для більшості конструкцій керованих мостів точка зустрічі осі шворня з опорною поверхнею знаходиться у межах контактної відбитка шини керованого колеса. А тому необхідно визначитись із центрами переносного та відносного руху контактної відбитка шини під час повороту керованого колеса на місці та зі впливом довжини цапфи і нахилів шворня на положення цих центрів.

Оскільки точка зустрічі осі шворня для більшості конструкцій керованих мостів знаходиться у межах контактної відбитка, допускалося, що під час повороту колеса на місці воно не перекочується, а тому поворот відбитка шини відносно диска здійснюється відносно точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею, що підтверджується дослідженнями [1, 6]. Величина моменту опору повороту шини для цього випадку залежить від кута повороту колеса, коефіцієнта зчеплення шини з опорною поверхнею, навантаження на колесо, розмірів контактної відбитка шини, положення точки зустрічі осі шворня відносно поздовжньої та поперечної осі відбитка шини.

Згідно з роботами [1, 3, 4, 6–8], момент опору повороту шини на місці є функцією кута повороту колеса. При куті повороту колеса $\theta \leq \theta_A$, де θ_A – максимальний кут повороту колеса на місці, при якому вважається, що в контактному відбитку є тільки зони зчеплення, момент опору повороту шини виражається так:

$$M_\varphi = C_\theta \theta, \quad (2)$$

де C_θ – кутова жорсткість шини відносно вертикальної осі, що проходить через центр контактної відбитка шини, яку визначають експериментально, або за емпіричною залежністю [1], за якою $C_\theta = (9 \dots 11) G_k \cdot 10^{-3}$, Н·м/град; G_k – навантаження на колесо, Н; θ – кут повороту диска колеса, град.

Значення кута θ_A на сухому асфальтобетоні для шин вантажних автомобілів він досягає 5° , а для шин легкових автомобілів не перевищує 4° .

При куті повороту колеса в межах $\theta_A < \theta < \theta_B$ вважається, що у контактному відбитку шини є зони зчеплення та ковзання, а момент опору повороту шини визначають, згідно з [1, 6], за виразом:

$$M_{\varphi} = M_{\varphi \max} - (M_{\varphi \max} - c_{\omega} \theta_A) \left(\frac{\theta_B - \theta}{\theta_B - \theta_A} \right)^2, \quad (3)$$

де θ_B – мінімальний кут повороту колеса на місці, при якому вважається, що у контактному відбитку шини є тільки зони ковзання, град. На сухому асфальтобетоні для шин вантажних автомобілів він досягає 13° , а для шин легкових автомобілів не перевищує 10° ; $M_{\varphi \max}$ – граничний за зчепленням момент опору повороту шини, який виникає за наявності у контактному відбитку шини тільки зон ковзання. Цей момент виникає при повороті керованого колеса на місці на кут $\theta \geq \theta_B$. Згідно з [1, 6], за умови, що кероване колесо під час повороту на місці не перекочується по опорній поверхні (заблоковано), контактний відбиток шини повертався відносно точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею, а момент $M_{\varphi \max}$ визначають за виразом:

$$M_{\varphi \max} = \frac{\varphi G_{\kappa}}{6ab} \left[\begin{aligned} & a_1^3 \ln \frac{b_1 + \sqrt{a_1^2 + b_1^2}}{a_1} + 2a_1 b_1 \sqrt{a_1^2 + b_1^2} + b_1^3 \ln \frac{a_1 + \sqrt{a_1^2 + b_1^2}}{b_1} + \\ & + a_2^3 \ln \frac{b_2 + \sqrt{a_2^2 + b_2^2}}{a_2} + 2a_2 b_2 \sqrt{a_2^2 + b_2^2} + b_2^3 \ln \frac{a_2 + \sqrt{a_2^2 + b_2^2}}{b_2} + \\ & + a_1^3 \ln \frac{b_2 \sqrt{a_1^2 + b_2^2}}{a_1} + 2a_1 b_2 \sqrt{a_1^2 + b_2^2} + b_2^3 \ln \frac{a_1 + \sqrt{a_1^2 + b_2^2}}{b_2} + \\ & + a_2^3 \ln \frac{b_1 + \sqrt{a_2^2 + b_1^2}}{a_2} + 2a_2 b_1 \sqrt{a_2^2 + b_1^2} + b_1^3 \ln \frac{a_2 + \sqrt{a_2^2 + b_1^2}}{b_1} \end{aligned} \right], \quad (4)$$

де a, b – поздовжня та поперечна осі рівновеликого за моментом опору шини прямокутника. Значення a_1, a_2, b_1, b_2 визначають за виразами:

$$a_1 = \frac{a}{2} + y, \quad a_2 = \frac{a}{2} - y, \quad b_1 = \frac{b}{2} + l_0, \quad b_2 = \frac{b}{2} - l_0,$$

де y – відстань від точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею до поперечної осі відбитка шини, яку визначають за виразом $y = r_d \operatorname{tg} \beta_{ш}$; r_d – динамічний радіус колеса; l_0 – відстань від точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею до поздовжньої осі відбитка шини (плече обкатки), яку визначають за виразом $l_0 = l_y - r_d \operatorname{tg}(\alpha_{ш} + \gamma_{ш0})$; l_y – довжина цапфи; $\gamma_{ш0}$ – кут розвалу в положенні прямолінійного руху автомобіля.

Розглянемо поворот на місці розблокованого керованого колеса. У цьому випадку кероване колесо має можливість обертатися відносно осі цапфи, а отже, і перекочуватися по опорній поверхні. Згідно з [4], під час повороту на місці кероване колесо рухатиметься по криволінійній траєкторії відносно центра переносного руху, а диск колеса повертатиметься відносно контактної відбитка шини та зміщуватиметься у бічному напрямку. Для визначення положення центра переносного руху розблокованого керованого колеса скористаємося розрахунковою схемою, наведеною на рис. 1.

Оскільки еластичне колесо являє собою цілісний механізм, а його центром є точка A , отримана пересіченням діаметральної площини колеса з віссю цапфи, то під час повороту колеса на місці його центр, точка A , обертатиметься відносно точки O на осі шворня, отриманої пересіченням перпендикуляра від центра колеса з віссю шворня. Отже, точка O є центром, відносно якого обертатиметься центр колеса, а отже, і колесо.

Якщо точка O є центром, відносно якого повертається еластичне колесо, то очевидно його проєкція на опорну поверхню повертатиметься відносно проєкції на опорну поверхню центра повороту колеса, точки O . Оскільки контактний відбиток шини є проєкцією на опорну поверхню частини тіла шини, тому відбиток повертатиметься відносно цієї проєкції, а це є точка O_n . Це положення повністю було підтверджено результатами проведених досліджень, наведених у роботах [5, 9]. Отже, проєкція центра повороту колеса на опорну поверхню, точка O_n , є центром переносного руху контактної відбитка шини.

З урахуванням виразу (5) зміщення центра повороту, викликані нахилами шворня, визначимо за виразами:

$$\Delta(\alpha_{ш}) = l_y \sin(\alpha_{ш} + \gamma_{ш0}) \cos \sqrt{\alpha_{ш}^2 + \beta_{ш}^2} \operatorname{tg} \alpha_{ш}, \quad (6)$$

$$\Delta(\beta_{ш}) = l_y \sin(\alpha_{ш} + \gamma_{ш0}) \cos \sqrt{\alpha_{ш}^2 + \beta_{ш}^2} \operatorname{tg} \beta_{ш}, \quad (7)$$

де $\Delta(\alpha_{ш})$, $\Delta(\beta_{ш})$ – зміщення центра повороту відбитку шини відносно проекції точки C на опорну поверхню, зумовлене відповідно поперечним і поздовжнім нахилами шворня.

Визначимо зміщення центра переносного руху для керованого колеса автомобіля КрАЗ-260, у якого довжина цапфи $l_y = 0,225$ м, кут поперечного нахилу шворня $\alpha_{ш} = 9,5^\circ$, кут поздовжнього нахилу $\beta_{ш} = 5,5^\circ$, кут розвалу колеса в нейтральному положенні $\gamma_{ш0} = -0,5^\circ$. Розрахунки, проведені за виразами (6) та (7), мають такі результати: зміщення $\Delta(\alpha_{ш}) = 0,0058$ м = 5,8 мм, що по відношенню до довжини цапфи складає: $0,0058/0,225 = 2,6$ %, зміщення $\Delta(\beta_{ш}) = 0,0033$ м = 3,3 мм, що відносно довжини цапфи складає $0,0033/0,225 = 1,5$ %.

Аналіз проведених досліджень показує, що нахили шворня суттєво не впливають на положення центра переносного руху контактної відбитку шини, а тому з достатньою для практичних розрахунків точністю можна прийняти, що під час повороту керованого колеса на місці центр переносного руху знаходитиметься на продовженні поперечної осі контактної відбитку шини.

У подальшому задача зводиться до визначення положення центра відносного повороту контактної відбитку шини залежно від радіуса кривизни траєкторії руху колеса. Водночас траєкторію руху визначатимемо за траєкторією центра відносного повороту контактної відбитку шини.

Експериментальні дослідження для визначення положення центра відносного повороту контактної відбитку під час повороту керованого колеса на місці залежно від довжини цапфи було проведено на стенді [11].

Стенд містить керований міст автомобіля КрАЗ-260, у якого кут поперечного нахилу шворня складає $9,5^\circ$, кут поздовжнього нахилу дорівнював нулю, що забезпечувалося встановлюванням клинів між ресорами та балкою керованого моста. Кут розвалу не змінювався, був від'ємним і рівним $-0,5^\circ$, а конструкція спеціального ободу широкопрофільної шини 1300x530x533 мод. ВІ-3 забезпечила дискретну довжину цапфи лівого колеса 0,225; 0,295; 0,395; 0,680; 0,820 м. Навантаження на керований міст не змінювалося та складало 54000 Н. З урахуванням колії керованих коліс 2160 мм зі збільшенням довжини цапфи враховувалася зміна навантаження на ліве кероване колесо.

Тиск повітря у шинах змінювали за значеннями 0,4, 0,2, 0,05 МПа. При навантаженні на колесо 27000 Н динамічний радіус колеса r_d набував таких значень: $r_d = 0,610$ м при $p_{ш} = 0,4$ МПа; $r_d = 0,598$ м при $p_{ш} = 0,2$ МПа; $r_d = 0,555$ м при $p_{ш} = 0,05$ МПа. Розміри контактної відбитку шини визначались експериментально з урахуванням фактичного навантаження на ліве кероване колесо.

Під час проведення експериментальних досліджень фіксувались кут повороту цапфи керованого колеса θ_y , кут обертання диска керованого колеса відносно осі цапфи θ_k , тиск мастила у циліндрі гідравлічного підсилювача, який розміщувався на балці керованого моста.

Знаючи кут повороту колеса та його радіус, кут повороту цапфи, ураховуючи рівність шляху, що пройде кероване колесо, та відстані, що пройде центр керованого колеса під час повороту цапфи, визначали радіус траєкторії руху центра відносного повороту контактної відбитку шини R і відстань $\Delta_{ш}$ від поздовжньої осі контактної відбитку шини до цього центра.

На рис. 2, 3 наведено залежності кута обертання керованого колеса відносно осі цапфи θ_k та радіуса траєкторії руху контактної відбитку шини R від довжини цапфи l_y .

Аналіз рис. 2 показує, що під час повороту керованого колеса на місці при зміні довжини цапфи від 0,225 до 0,82 м колесо, незалежно від довжини цапфи, перекочується по опорній поверхні. Так, при куті повороту цапфи на 15° та при зміні довжини цапфи від 0,225 м до 0,82 м кут обертання жорсткого диска при тиску повітря в шині $p_{ш} = 0,4$ МПа змінився від $3,6^\circ$ до $16,8^\circ$. Очевидно, що тільки у разі збігу центрів переносного руху та відносного повороту контактної відбитку шини диск колеса не обертатиметься відносно осі цапфи, а стан колеса буде ідентичний заблокованому.

Із рис. 3 видно, що за всіх значень тиску повітря в шині збільшення довжини цапфи спричиняє збільшення радіуса траєкторії руху контактної відбитку. При $p_{ш} = 0,4$ МПа зі збільшенням довжини цапфи від 0,225 до 0,82 м радіус траєкторії руху збільшився від 0,141 до 0,672 м, при $p_{ш} = 0,05$ МПа радіус траєкторії руху збільшився від 0,115 до 0,652 м. Зменшення тиску повітря в шині з 0,4 до 0,05 МПа за кожного значення довжини цапфи призводить до зменшення радіуса траєкторії руху

контактного відбитка. При довжині цапфи 0,225 м радіус траєкторії руху зменшився від 0,141 до 0,115 м, а при довжині цапфи 0,82 м – від 0,672 до 0,652 м.

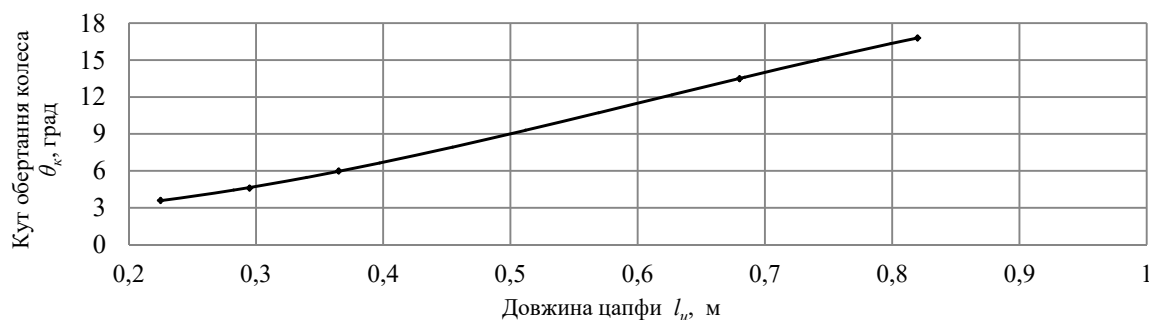


Рисунок 2 – Залежність кута обертання керованого колеса θ_k відносно осі цапфи від довжини цапфи l_k при $\theta_u = 15^\circ$, $p_{ш} = 0,4$ МПа
Figure 2 – Dependence of the steered wheel rotation angle θ_k relative to the knuckle axis on the knuckle length l_k at $\theta_u = 15^\circ$, $p_{ш} = 0,4$ МПа

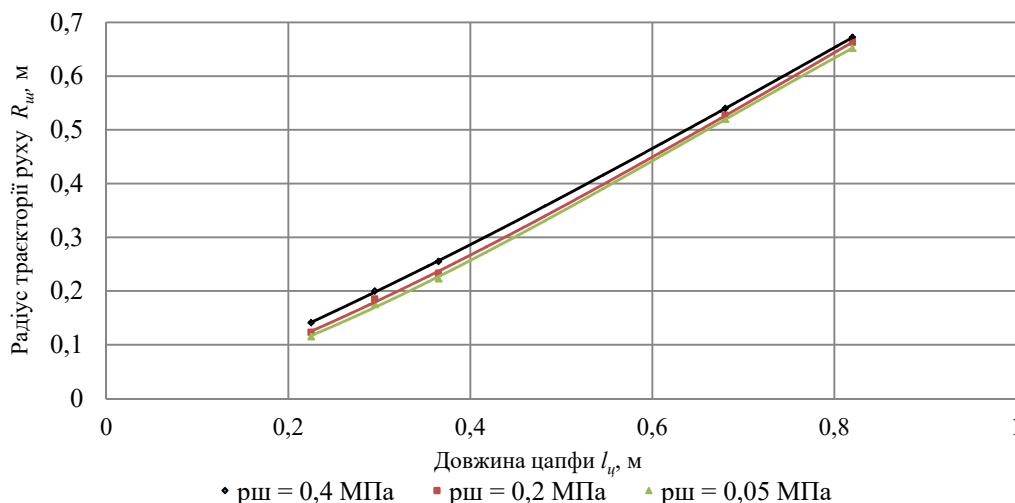


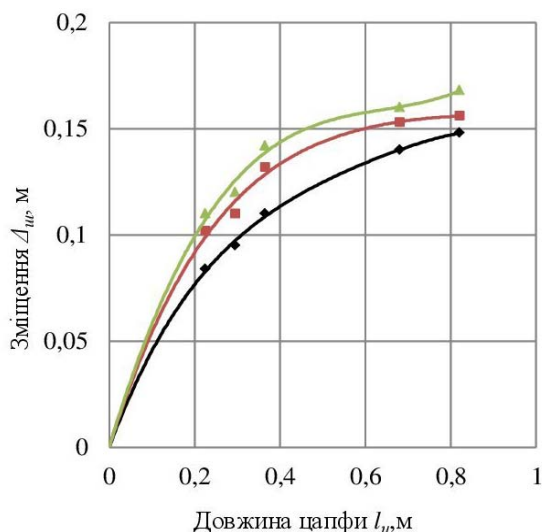
Рисунок 3 – Залежність радіуса траєкторії руху контактної відбитка R від довжини цапфи l_k
Figure 3 – Dependence of contact patch radius trajectory R on the knuckle length l_k

На рис. 4 наведено залежності зміщення центра відносного повороту відбитка шини відносно поздовжньої осі контактної відбитка $\Delta_{ш}$ від довжини цапфи l_k .

Із рис. 4 видно, що зі збільшенням довжини цапфи величина зміщення $\Delta_{ш}$ збільшується. Це означає, що зі збільшенням довжини цапфи, яке спричиняє збільшення радіуса кривизни траєкторії руху контактної відбитка, центр відносного повороту контактної відбитка зміщується від центра контактної відбитка до краю відбитка в бік центра переносного руху. Зі зміною довжини цапфи від 0,225 до 0,82 м при тиску повітря у шині $p_{ш} = 0,4$ МПа відстань від поздовжньої осі контактної відбитка шини до центра відносного повороту збільшилася від 0,084 до 0,148 м, при $p_{ш} = 0,2$ МПа ця відстань збільшилася від 0,102 до 0,156 м, при $p_{ш} = 0,05$ МПа – від 0,11 до 0,168 м. Аналіз наведених даних доводить, що зі зменшенням тиску повітря в шині від 0,4 до 0,05 МПа зміщення центра відносного повороту відносно поздовжньої осі відбитка збільшується. Так, зі зменшенням тиску повітря від 0,4 до 0,05 МПа при $l_k = 0,225$ м величина $\Delta_{ш}$ збільшилася від 0,084 до 0,11 м, а при $l_k = 0,82$ м – від 0,148 до 0,168 м.

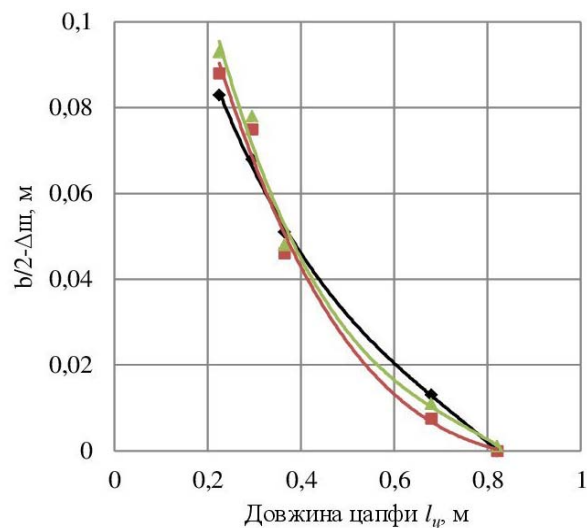
Для визначення положення центра відносного повороту відбитка шини відносно внутрішнього краю відбитка на рис. 5 наведено залежності відстані від центра відносного повороту до краю відбитка ($b/2 - \Delta_{ш}$) як функція довжини цапфи. Із рис. 5 видно, що зі збільшенням довжини цапфи, яке рівноцінне збільшенню радіуса траєкторії руху контактної відбитка, різниця $b/2 - \Delta_{ш}$ зменшується, а отже центр відносного повороту зі збільшенням радіуса траєкторії руху зміщується до краю відбитка. Так, при тиску повітря у шині $p_{ш} = 0,4$ МПа та довжині цапфи 0,225 м відстань між центром

відносного повороту та краєм відбитка складає 0,083 м, а при довжині цапфи 0,82 м вона дорівнює нулю, тобто центр відносного повороту знаходиться на краю відбитка шини. Зі зменшенням тиску повітря в шині від 0,4 до 0,05 МПа величина $b/2 - \Delta_{ш}$ майже не змінюється. Так, при довжині цапфи 0,225 м і всіх значень тиску центр відносного повороту відбитка знаходиться на відстані 0,083–0,093 м від краю відбитка, а при довжині цапфи 0,82 м центр відносного повороту знаходиться майже на краю відбитка.



♦ $p_{ш} = 0,4$ МПа ■ $p_{ш} = 0,2$ МПа ▲ $p_{ш} = 0,05$ МПа

Рисунок 4 – Залежність зміщення $\Delta_{ш}$ від довжини цапфи $l_{ш}$
Figure 4 – Dependence of the offset $\Delta_{ш}$ on the knuckle length $l_{ш}$



♦ $p_{ш} = 0,4$ МПа ■ $p_{ш} = 0,2$ МПа ▲ $p_{ш} = 0,05$ МПа

Рисунок 5 – Залежність $b/2 - \Delta_{ш}$ від довжини цапфи $l_{ш}$
Figure 5 – Dependence $b/2 - \Delta_{ш}$ on the knuckle length $l_{ш}$

Отже, під час повороту керованого колеса на місці контактний відбиток шини бере участь у переносному та відносному русі. Центром переносного руху є проекція на опорну поверхню центра повороту колеса, положення якого майже не залежать від поздовжнього нахилу шворня, а тому, з достатньою для практики точністю, вважаємо, що він знаходиться на продовженні поперечної осі контактної відбитка шини. Центр відносного повороту контактної відбитка знаходиться у межах контактної відбитка та зміщений відносно поздовжньої осі на величину $\Delta_{ш}$, яку визначають експериментально. Зменшення тиску повітря в шині призводить до незначного зміщення центра відносного повороту до краю відбитка та відповідно зменшення радіуса траєкторії руху, однак на зміну положення центра відносного повороту залежно від довжини цапфи не впливає.

З урахуванням особливості конструкції керованих мостів автомобілів, у яких під час повороту керованого колеса на місці кут закрутки диска відносно до контактної відбитка, визначений за виразом (1), більший 13° , вираз (4) набуде вигляду:

$$M_{\varphi} = M_{\varphi \max} = \frac{\varphi G_{\kappa}}{3ab} \left[\begin{aligned} & a_1^3 \ln \frac{b_1 + \sqrt{a_1^2 + b_1^2}}{a_1} + 2a_1 b_1 \sqrt{a_1^2 + b_1^2} + b_1^3 \ln \frac{a_1 + \sqrt{a_1^2 + b_1^2}}{b_1} + \\ & + a_1^3 \ln \frac{b_2 + \sqrt{a_1^2 + b_2^2}}{a_1} + 2a_1 b_2 \sqrt{a_1^2 + b_2^2} + b_2^3 \ln \frac{a_1 + \sqrt{a_1^2 + b_2^2}}{b_2} \end{aligned} \right], \quad (8)$$

де $a_1 = \frac{a}{2}$, $b_1 = \frac{b}{2} + \Delta_{ш}$, $b_2 = \frac{b}{2} - \Delta_{ш}$; a , b – поздовжня та поперечна осі рівновеликого за

моментом опору повороту шини прямокутника, м; $\Delta_{ш}$ – відстань від поздовжньої вісі відбитка до центра відносного повороту відбитка, яку для конкретної шини визначають експериментально, м.

Момент опору повороту шини M_{φ} визначали залежно від кута закручування тіла шини θ_R зі зміною довжини цапфи $l_{ш}$ від 0 до 5 м при $p_{ш} = 0,4$ МПа з урахуванням незмінного навантаження на

керване колесо $G_k = 27000$ Н, розмірів контактної відбитка $a = 0,225$ м, $b = 0,334$ м, експериментально отриманих значень зміщення $\Delta_{ш}$, кутової жорсткості шини $C_\theta = 267$ Н·м/град.

При цьому розрахунки моменту опору повороту шини M_ϕ здійснювали так: при значеннях довжини цапфи 0, 0,1, 0,2, 0,3, 0,382 м – за залежністю (8), при довжині цапфи 0,4, 0,6, 0,8 м – за виразом (3). Водночас у виразі (3) граничний за зчепленням момент опору повороту шини $M_{\phi max}$ визначали за виразом (8) з урахуванням зміщення $\Delta_{ш}$ при значеннях довжини цапфи 0,4, 0,6, 0,8 м відповідно. При значеннях довжини цапфи 0,826 – 5,0 м розрахунки вели за виразом (2). Кут закручування тіла шини θ_R визначали за виразом (1) з урахуванням залежності $R = f(l_u)$.

Результати розрахунків моменту опору повороту шини M_ϕ та кута закручування тіла шини при зміні довжини цапфи l_u від 0 до 5 м наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків моменту опору повороту шини M_ϕ при зміні довжини цапфи l_u в діапазоні від 0 до 5 м при $p_{ш} = 0,4$ МПа

Table 1 – The results of calculations of the tire steering resistance torque M_ϕ at changing the knuckle length l_u in the range from 0 to 5 m at $p_{ш} = 0,4$ МПа

l_u , м	0	0,1	0,225	0,3	0,382	0,4	0,6	0,8	1	3	5
$\Delta_{ш}$, м	0	0,051	0,102	0,116	0,125	0,127	0,152	0,162	0,167	0,167	0,167
R , м	0	0,048	0,118	0,178	0,248	0,265	0,434	0,619	0,809	2,76	4,705
θ_R , град	∞	67,14	27,31	18,11	13,0	12,18	7,42	5,2	3,98	1,17	0,68
M_ϕ , Н·м	1752	1870	2220	2355	2462	2461	2073	1413	1063	312	182

На рис. 6 наведено залежність кута закручування тіла шини при зміні довжини цапфи від 0,1 до 5,0 м. Із рис. 6 видно, що зі збільшенням довжини цапфи кут закручування тіла шини зменшується. Мінімальний кут закручування тіла шини, при якому вважається, що у контактному відбитку шини є тільки зони ковзання $\theta_R = 13^\circ$, досягається при $l_u = 0,382$ м. Максимальний кут закручування тіла шини, при якому вважається, що у контактному відбитку є тільки зони зчеплення $\theta_R = 5^\circ$, досягається при $l_u = 0,826$ м.

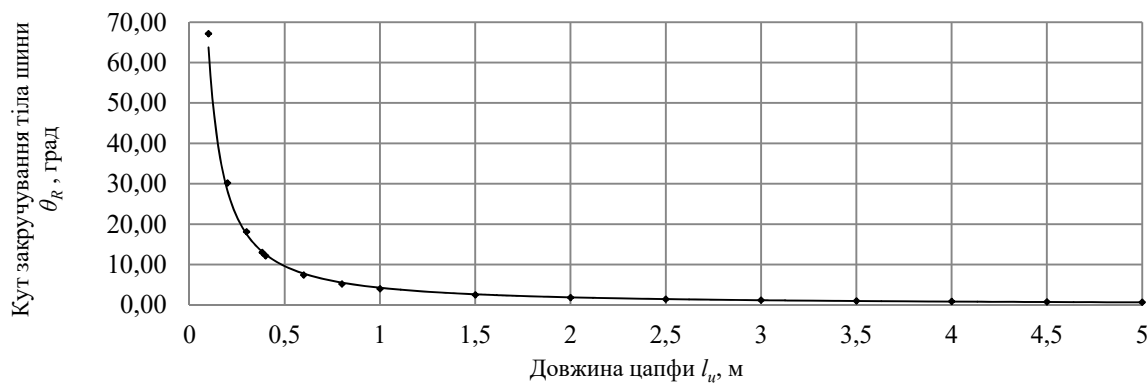


Рисунок 6 – Залежність кута закручування тіла шини від довжини цапфи

Figure 6 – Dependence of the tire body torsion angle on the knuckle length

На рис. 7 наведено залежність $M_\phi = f(l_u)$ при зміні довжини цапфи l_u в діапазоні від 0 до 5 м при $p_{ш} = 0,4$ МПа. З рис. 7 видно, що зі збільшенням довжини цапфи від 0 до 0,382 м, момент опору повороту шини M_ϕ збільшується від 1752 до 2462 Н·м. У цьому діапазоні зміни довжини цапфи зменшується кут закручування тіла шини від ∞ до 13° та збільшується зміщення центра відносного повороту контактної відбитка $\Delta_{ш}$, що при незмінному навантаженні та коефіцієнті зчеплення шини з опорною поверхнею призводить до збільшення моменту опору повороту шини M_ϕ . При довжині цапфи $l_u = 0,382$ м кут закручування тіла шини набуває мінімального значення, при якому у контактному відбитку шини наявні тільки зони ковзання. Відповідно момент M_ϕ набуває максимального (граничного) значення.

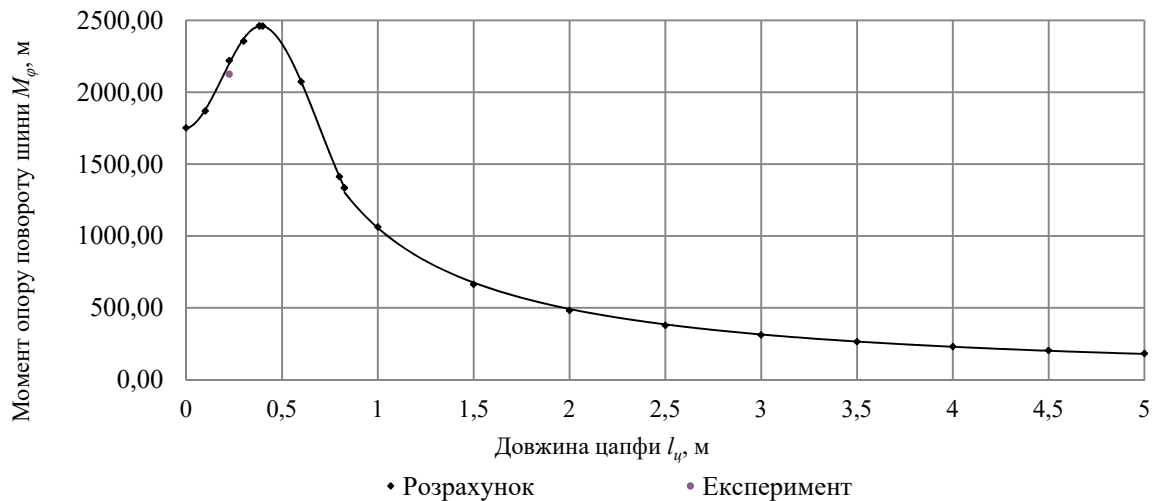


Рисунок 7 – Залежність моменту опору повороту шини від довжини цапфи при $G_k=27$ кН та $p_{ui}=0,4$ МПа
 Figure 7 – Dependence of the tire steering resistance torque on the knuckle length at $G_k=27$ кН and $p_{ui}=0,4$ МПа

Збільшення довжини цапфи від 0,382 до 0,826 м призвело одночасно до зменшення кута закручування тіла шини від 13 до 5° та збільшення зміщення Δ_{ui} від 0,125 до 0,163 м, що було враховано у залежності (3). У цьому діапазоні зміни довжини цапфи у контактному відбитку шини знаходяться зони зчеплення та ковзання. У міру збільшення довжини цапфи площа зон ковзання зменшується, що призводить до відповідного зменшення величини моменту M_ϕ .

Зі збільшенням довжини цапфи від 0,826 до 5,0 м кут закручування тіла шини зменшується від 5° до $0,68^\circ$, а центр відносного повороту контактної відбитка знаходиться на краю відбитка. За цих значень довжини цапфи момент M_ϕ є функцією тільки кута закручування тіла шини. Зменшення кута закручування зменшує величину моменту M_ϕ .

Експериментальні дослідження моменту опору повороту шини керованого колеса проводили на стенді [12] при $G_k = 27000$ Н, $p_{ui} = 0,4$ МПа, $a = 0,225$ м, $b = 0,334$ м, $l_u = 0,225$ м, $\alpha_{ui} = 9,5^\circ$, $\beta_{ui} = 0^\circ$, $\gamma_{ui0} = -0,5^\circ$, $r_d = 0,610$ м. Величину моменту опору повороту шини визначали за експериментальним значенням моменту опору повороту керованого колеса на місці, який у загальному випадку розраховується так:

$$M_k = M_\phi + M_{cm} + M_f + M_{mp} + M_j, \quad (11)$$

де M_k – момент опору повороту керованого колеса (момент, який необхідно прикласти відносно осі шворня для повороту колеса), Н·м; M_ϕ – момент опору повороту шини відносно центра відносного повороту, який залежно від кута закручування тіла шини θ_R визначався за виразом (2), (3), (10); M_{cm} – ваговий стабілізуючий момент, який визначається за [1], Н·м; M_f – момент опору коченню, викликаний переміщенням відбитка відносно центра переносного руху, який визначимо за виразом $M_f = fG_k R$. Радіус траєкторії руху R визначався експериментально; f – коефіцієнт опору коченню приймався 0,012; M_{mp} – момент тертя у підшипниках шворневого вузла, який визначався експериментально при установці керованого колеса на поворотне коло, Н·м; M_j – інерційний момент, викликаний кутовим прискоренням під час повороту колеса відносно осі шворня, приймався рівним нулю.

Так, при довжині цапфи 0,225 м та тиску повітря $p_{ui} = 0,4$ МПа розрахунковий момент складав 2220 Н·м (експеримент 2126 Н·м); при тиску $p_{ui} = 0,2$ МПа розрахунковий момент 2430 Н·м (експеримент 2332 Н·м); при тиску повітря $p_{ui} = 0,05$ МПа розрахунковий момент 3430 Н·м (експеримент 3290 Н·м). При цьому похибка не перевищує 6 %, що підтверджує достовірність наведених залежностей для визначення моменту опору повороту шини відносно центра руху.

Оскільки пневматик забезпечує неголономний зв'язок між диском і опорною поверхнею, то при визначенні особливостей кінематики та динаміки еластичного колеса необхідно враховувати стан контакту шини з опорною поверхнею, який визначатимемо за значеннями кутів θ_A та θ_B .

Визначальним параметром, що характеризує значення цих кутів, є коефіцієнт зчеплення шини з опорною поверхнею. Максимального значення ці кути досягають на асфальтобетонній поверхні. Для шин вантажних автомобілів їх значення досягають $\theta_A = 5^\circ$, $\theta_B = 13^\circ$, а для шин легкових автомобілів ці значення значно менші та не перевищують $\theta_A = 4^\circ$, $\theta_B = 10^\circ$.

Для керованого колеса під час його повороту на місці залежно від довжини цапфи, з урахуванням вищенаведеного, маємо: при куті закручування пневматика $\theta_R \geq \theta_B$, що відповідає

довжині цапфи $l_y \leq \frac{\frac{a}{4\theta_B} + r_\partial \sin \gamma_{ш} + \Delta_{ш}}{\cos \gamma_{ш} - \sin(\alpha_{ш} + \gamma_{ш0}) \sin \alpha_{ш}}$ у контактній наявній тільки зоні ковзання; при куті

закручування пневматика в межах $\theta_B > \theta_R > \theta_A$, що відповідає значенню довжини цапфи в межах

$\frac{\frac{a}{4\theta_B} + r_\partial \sin \gamma_{ш} + \Delta_{ш}}{\cos \gamma_{ш} - \sin(\alpha_{ш} + \gamma_{ш0}) \sin \alpha_{ш}} < l_y < \frac{\frac{a}{4\theta_A} + r_\partial \sin \gamma_{ш} + \Delta_{ш}}{\cos \gamma_{ш} - \sin(\alpha_{ш} + \gamma_{ш0}) \sin \alpha_{ш}}$ у контактній наявній зоні ковзання та

зчеплення; при куті закручування пневматика $\theta_R \leq \theta_A$, що відповідає довжині цапфи

$l_y \geq \frac{\frac{a}{4\theta_A} + r_\partial \sin \gamma_{ш} + \Delta_{ш}}{\cos \gamma_{ш} - \sin(\alpha_{ш} + \gamma_{ш0}) \sin \alpha_{ш}}$ у контактній наявній тільки зоні зчеплення, де $\Delta_{ш}$ – відстань від

поздовжньої осі контактної відбитки до його центра відносного повороту. Цю відстань визначають експериментально. Оскільки центр відносного повороту знаходиться у межах контактної відбитки,

тому $\Delta_{ш} \leq \frac{b}{2}$ (b – поперечна вісь контактної відбитки). У міру збільшення радіуса кривизни

траєкторії руху колеса відстань збільшується, однак не перевищує розміру $\frac{b}{2}$; $\gamma_{ш}$ – поточний кут розвалу керованого колеса.

Наявність кочення керованого колеса з кінематичним кутом відведення під час повороту на місці залежить від стану контакту шини з опорною поверхнею. Тільки за відсутності зон ковзання у контактному відбитку шини під час руху по криволінійній траєкторії зберігається залежність

$\theta_R = \delta_R = \frac{a}{4R}$, де R – радіус траєкторії руху центра відносного повороту колеса. Визначення кута відведення за інших умов на сьогодні не уявляється можливим.

Отже, за своєю природою, явища, що супроводжують рух колеса по криволінійній траєкторії та поворот керованого колеса на місці, ідентичні. Різниця між ними полягає лише в тому, що траєкторія руху керованого колеса під час його повороту на місці визначається довжиною цапфи, яка для вантажних автомобілів не перевищує 0,3 м.

Висновки

1. Явища, які супроводжують рух некерованого колеса по криволінійній траєкторії та керованого колеса під час повороту на місці, за своєю природою ідентичні.

2. Під час повороту розблокованого керованого колеса на місці контактний відбиток шини бере участь у переносному та відносному рухах. До того ж:

– центром переносного руху відбитка шини є проекція на опорну поверхню центра повороту керованого колеса, яким є точка перетину перпендикуляра, опущеного із центра колеса на вісь шворня. Довжина цапфи є визначальним параметром щодо положення центра переносного руху контактної відбитки шини;

– поздовжній нахил шворня суттєво не впливає на положення центра переносного руху контактної відбитки шини, а тому з достатньою для практичних розрахунків точністю можна прийняти, що під час повороту керованого колеса на місці його центр переносного руху знаходитиметься на продовженні поперечної осі контактної відбитки шини;

– центр відносного руху контактної відбитка шини знаходиться у межах відбитка, а його положення суттєво залежить від довжини цапфи. Збільшення довжини цапфи викликає зміщення центра відносного руху до краю відбитка.

3. Якщо кероване колесо заблоковано, то під час його повороту на місці контактний відбиток шини повертається відносно точки зустрічі осі шворня з опорною поверхнею незалежно від того, чи точка зустрічі осі шворня знаходиться у межах контактної відбитка, чи за його межами.

4. У разі збігу центра переносного руху з центром контактної відбитка шини колесо не перекочуватиметься по опірній поверхні (заблоковано), що аналогічно збігу центра переносного руху з центром відносного руху.

5. Математичну модель еластичного колеса необхідно визначати виходячи з явищ, що супроводжують рух колеса по криволінійній траєкторії, радіус кривизни якої може змінюватися від нуля (поворот керованого колеса на місці у разі збігу центра переносного руху з геометричним центром контактної відбитка шини) до нескінченності, що відповідає прямолінійному руху.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Солтус А. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля / А.П. Солтус. – Київ : Арістей, 2010. – 155 с.
2. Jazar R.N. Tire Dynamics. In: Vehicle Dynamics / R.N. Jazar. – New York, NY : Springer, 2014. – 1015 p.
3. Wong J.Y. Theory of Ground Vehicles / J.Y. Wong. – 3rd ed. – John Wiley & Sons, Inc., 2001.
4. Солтус А.П., Тарандушка Л.А., Клімов Е.С., Черненко С.М. Особливості руху еластичного колеса по криволінійній та прямолінійній траєкторії з відведенням / А.П. Солтус, Л.А. Тарандушка, Е.С. Клімов, С.М. Черненко // Вісник машинобудування та транспорту. – 2021. – № 2 (14). – С. 121–130. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2021-14-2-121-130>.
5. Солтус А.П., Клімов Е.С. Дослідження траєкторії руху контактної відбитка шини керованого колеса при повороті на місці. / А.П. Солтус, Е.С. Клімов // Вісник СевНТУ. Сер. Машиноприладобудування та транспорт: зб. наук. Пр. – 2012. – Вип.135. – С.49-52.
6. Солтус А.П. Основы теории рабочего процесса и расчета управляющих колесных модулей : дис. ... докт. техн. наук : 05.22.02 / Солтус Анатолий Петрович. – Киев, 1994. – 450 с.
7. Солтус А.П., Клімов Е.С., Тарандушка Л.А. Особливості кочення еластичного колеса з нахилом до дороги / А.П. Солтус, Е.С. Клімов, Л.А. Тарандушка // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. – 2022. – №1(18). – С. 177-185. DOI 10.36910/automash.v1i18.774.
8. Солтус А.П., Клімов Е.С., Тарандушка Л.А. Особливості руху коліс візка автомобіля по криволінійній траєкторії / А.П. Солтус, Е.С. Клімов, Л.А. Тарандушка // Вісник машинобудування та транспорту. – 2022. – № 1(15). – С. 141-147. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2022-15-1-141-147>.
9. Солтус А.П., Клімов Е.С. Дослідження особливостей кінематики відбитка шини керованого колеса при повороті на місці з розблокованим приводом / А.П. Солтус, Е.С. Клімов // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2011. – №1 (66) Ч.1. – С. 75–79.
10. Солтус А.П., Клімов Е.С. Вплив плеча обкатки на особливості повороту керованого колеса на місці / А.П. Солтус, Е.С. Клімов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2008. – № 6 (51). Ч.1. – С.94-97.
11. Стенд для визначення зміщення центра відносного повороту відбитка пневматичної шини керованого колеса : пат. 70671 Україна : G01L5/13 / А.П. Солтус, Е.С. Клімов. – № у 2011 13111 ; заявл. 07.11.2011 ; опубл. 26.06.2012, Бюл. № 12. – 6 с.
12. Стенд для дослідження роботи керованого колеса з пневматичною шиною : пат. 59873 Україна : G01L5/13 / А.П. Солтус, Е.С. Клімов. – № у 2010 08105 ; заявл. 29.06.2010; опубл. 10.06.2011, Бюл. №11. – 4 с.

REFERENCES

1. Soltus, A. P. (2010). Teorija ekspluataciynih vlastyvostej avtomobilja [Theory of operational properties of the vehicle]. Kyi'v : Aristej [in Ukrainian].
2. Jazar, R.N. (2014). Tire Dynamics. In: Vehicle Dynamics. New York, NY : Springer [in English].
3. Wong, J.Y. (2001). Theory of Ground Vehicles – 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc. [in English].
4. Soltus, A. P., Tarandushka, L.A., Klimov, E.S., Chernenko, S.M. (2021). Osoblyvosti ruhu elastychnogo kola po kryvoliniynij ta prjamoliniynsj trajektorii' z vidvedennjam [Features of an elastic wheel motion along a curvilinear and rectilinear trajectory with a slip]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu – Journal of Mechanical Engineering and Transport*, 2 (14), 121-130 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2021-14-2-121-130>.
5. Soltus, A. P., Klimov, E.S. (2012). Doslidzhennia traiektorii rukhu kontaktnoho vidbytka shyny kerovanoho kola pry povoroti na mistsi [The Study of Tyre Contact Trajectory of Steering Wheel at Turning]. *Visnyk SevNTU. Ser. Mashynopryladobuduvannia ta transport – Bulletin of SevNTU. Mechanical engineering and transport*, 135, 49-52 [in Ukrainian].
6. Soltus, A. P. (1994). Osnovy teorii rabochoho processa i rascheta upravljajushhih kolesnyh modulej [Fundamentals of the theory of workflow and calculation of steering wheel modules]. *Doctor's thesis*. Kyi'v : KADI [in Ukrainian].
7. Soltus, A. P., Klimov, E.S., Tarandushka, L.A. (2022). Osoblyvosti kochennia elastychnoho kola z nakhylom do dorohy [Features of rolling of the elastic wheel with inclination to the road]. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti – Advances in mechanical engineering and transport*, 1 (18). 177-185 [in Ukrainian]. DOI 10.36910/automash.v1i18.774.
8. Soltus, A. P., Klimov, E.S., Tarandushka, L.A. (2022). Osoblyvosti rukhu kolis vizka avtomobilia po kryvoliniinii traiektorii [Features of the vehicle axle group wheels' movement on a trajectory circular]. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu – Journal of Mechanical Engineering and Transport*, 1 (15). 141-147 [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2022-15-1-141-147>.
9. Soltus, A. P., Klimov, E.S. (2011). Doslidzhennia osoblyvostei kinematyky vidbytka shyny kerovanoho kola pry povoroti na mistsi z rozblokovanyim pryvodom [The study of kinematics peculiarities of tire contact patch of steering wheel facing unlocked drive]. *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho – Scientific journal "Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University"*, 1 (66), 75-79 [in Ukrainian].
10. Soltus, A. P., Klimov, E.S. (2008). Вплив плеча обкатки на особливості повороту керованого колеса на місці. *Visnyk Kremenchutskoho derzhavnoho politekhnichnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho – Scientific journal "Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi State Polytechnical University"*, 6 (51), 94-97 [in Ukrainian].
11. Soltus, A. P., Klimov, E.S. Stend dlia vyznachennia zmishchennia tsentra vidnosnoho povorotu vidbytka pnevmatychnoi shyny kerovanoho kola [Stand for determining the offset of the center of relative rotation of the pneumatic tire-ground contact patch of the driven wheel] Patent UA, no. u 2011 13111, 2012.
12. Soltus, A. P., Klimov, E.S. Stend dlia doslidzhennia roboty kerovanoho kola z pnevmatychnoiu shynoiu [A stand for researching the operation of a steered wheel with a pneumatic tire] Patent UA, no. u 2010 08105, 2011.

РЕФЕРАТ

Солтус А.П. Особливості кінематики і динаміки керованого колеса залежно від довжини цапфи / А.П. Солтус, Е.С. Клімов, Л.А. Тарандушка // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

У статті наведено результати досліджень кінематичних і динамічних параметрів керованого колеса залежно від довжини цапфи під час його повороту на місці.

Об'єкт дослідження – момент опору повороту шини керованого колеса на місці.

Мета роботи – визначення особливостей руху керованого еластичного колеса під час повороту на місці залежно від довжини цапфи і нахилів шворня та отримання аналітичних залежностей для визначення моменту опору повороту шини.

Метод дослідження – аналітично-експериментальний.

Установлено, що явища, які супроводжують поворот еластичного керованого колеса на місці та рух некерованого колеса по криволінійній траєкторії, за своєю природою ідентичні. Як під час повороту керованого колеса на місці, так і під час руху еластичного колеса по криволінійній траєкторії відбувається бічне зміщення та закручування диска відносно контактної відбитки шини. При цьому центр відносного руху контактної відбитки шини знаходиться у його межах, а у міру збільшення довжини цапфи зміщується до краю відбитки. Центром переносного руху контактної відбитки шини керованого колеса під час його повороту на місці є проєкція на опорну поверхню центра повороту колеса і на його положення поздовжній нахил шворня суттєво не впливає.

Аналіз проведених експериментальних досліджень на стенді, що дозволив задавати дискретно довжину цапфи 0,225, 0,295, 0,365, 0,680, 0,820 м, показав, що центр відносного повороту контактної відбитки шини є функцією довжини цапфи. З урахуванням наведених досліджень уточнено залежності для визначення граничного за зчепленням моменту опору повороту шини керованого колеса.

Результати досліджень можуть стати у нагоді фахівцям, які працюють над удосконаленням експлуатаційних властивостей колісних транспортних засобів, зокрема маневреності, керованості та стійкості руху.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РАДІУС ТРАЄКТОРІЇ, КОНТАКТНИЙ ВІДБИТОК ШИНИ, КЕРОВАНЕ КОЛЕСО, ДОВЖИНА ЦАПФИ, ЦЕНТРИ ПЕРЕНОСНОГО ТА ВІДНОСНОГО РУХІВ.

ABSTRACT

Soltus A.P., Klimov E.S., Tarandushka L.A. Peculiarities of kinematics and dynamics of the steered wheel depending on the knuckle length. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article presents the results of studies of the steered wheel kinematic and dynamic parameters depending on the knuckle length during static steering.

The object of the research is the static tire steering resistance torque.

The purpose of the work is to determine the features of the steered elastic wheel movement during static steering depending on the knuckle length and kingpin angles and to obtain analytical dependencies for determining the static torque of tire rotation resistance.

The research method is analytical and experimental.

It is proved that the phenomena which accompany the elastic steered wheel static turn and the nonsteered wheel movement along a curved trajectory are identical by themselves. During the static steered wheel rotation, as well as during the elastic wheel movement along a curved trajectory, there is a lateral displacement and disk twisting apropos to the tire contact patch. At the same time, the center of relative movement of the tire contact patch is within its limits, and as the knuckle length increases, it shifts to the patch edge. The center of transferable movement of the tire contact patch of the steered wheel during its static turn is the projection onto the support surface of the wheel rotation center, and its position is not significantly affected by the caster angle.

The analysis of the experimental studies carried out on the bench which allowed to set discretely the knuckle length as 0.225, 0.295, 0.365, 0.680, 0.820 m showed that the center of relative rotation of the tire contact patch is the knuckle length function. Taking into account the studies mentioned above, the dependences for determining the maximum static tire turning resistance torque of the steered wheel tire rotation were specified.

The results of the research can be useful to experts who work on improving the operational properties of wheeled vehicles, in particular, maneuverability, handleability and stability of movement.

KEY WORDS: RADIUS OF THE TRAJECTORY, TIRE CONTACT PATCH, STEERED WHEEL, KNUCKLE LENGTH, CENTERS OF TRANSFER AND RELATIVE MOVEMENTS.

АВТОРИ:

Солтус Анатолій Петрович, доктор технічних наук, професор, Черкаський державний технологічний університет, професор кафедри автомобілів та технологій їх експлуатації, e-mail:

auto.soltus@ukr.net., тел. +380973334753, Україна, 03164, м. Київ, вул. Олевська, б. 5, кв. 17., <https://orcid.org/0000-0002-6010-1124>.

Клімов Едуард Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, завідувач кафедри автомобілів і тракторів, e-mail: edward.klimov@gmail.com., тел. +380677568124, Україна, 39600, м. Кременчук, вул. Першотравнева, 20, <https://orcid.org/0000-0002-2662-2401>.

Тарандушка Людмила Анатоліївна, доктор технічних наук, доцент, Черкаський державний технологічний університет, завідувачка кафедри автомобілів та технології їх експлуатації, e-mail: tarandushkal@ukr.net., тел. +380939467874, Україна, 18005, м. Черкаси, вул. Шевченка, б. 333, <https://orcid.org/0000-0002-2662-2401>.

AUTHOR:

Soltus Anatolii Petrovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Cherkasy State Technological University, Professor of Cars and Technologies of Their Operation Department, e-mail: auto.soltus@ukr.net, tel. +380973334753, Ukraine, 03164, Kyiv, Olevska str., 5, apt. 17, <https://orcid.org/0000-0002-6010-1124>.

Klimov Eduard Serhiiovych, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Head of Automobiles and Tractors Department, e-mail: edward.klimov@gmail.com., tel. +380973334753, Ukraine, 39600, Kremenchuk, Pershotravneva str., 20, <https://orcid.org/0000-0002-2662-2401>.

Tarandushka Liudmyla Anatoliivna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Cherkasy State Technological University, Head of Cars and Technologies of Their Operation Department e-mail: tarandushkal@ukr.net, tel. +380939467874, Ukraine, 18000, Cherkasy, Shevchenka str., 333, <https://orcid.org/0000-0002-1410-9088>.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Грицук І. В., доктор технічних наук, професор, Херсонська державна морська академія, професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок, Херсон, Україна.

Матейчик В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, декан автомеханічного факультету, Київ, Україна.

REVIEWER:

Hrytsuk I. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kherson State Maritime Academy, Professor of the Department of Ship Power Plants Operation, Kherson, Ukraine.

Mateychik V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Dean of the Faculty of Mechanical Engineering, Kyiv, Ukraine.

МОДЕЛІ І АЛГОРИТМ МАРШРУТИЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ З УРАХУВАННЯМ ВІДСТАНЕЙ ТА ЙМОВІРНОСТЕЙ БЕЗПЕРЕШКОДНОГО ПРОЇЗДУ АВТОТРАНСПОРТУ

Топольський Є.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, dreugent@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5587-3069

Вітер М.Б., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, mbviter@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4109-005X

Федін С.С., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, sergey.fedin1975@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9732-632X

MODELS AND ALGORITHM OF TRANSPORTATION ROUTE TAKING INTO ACCOUNT DISTANCES AND PROBABILITIES OF UNCONSTRAINED PASSING FOR ROAD TRANSPORT

Topolskov E.A., PhD, National Transport University, Kiev, Ukraine, dreugent@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5587-3069

Viter M.B., PhD, National Transport University, Kiev, Ukraine, mbviter@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4109-005X

Fedin S.S., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kiev, Ukraine, sergey.fedin1975@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9732-632X

Актуальність напрямку досліджень та постановка проблеми.

На сьогоднішній день в умовах зростання цін на паливе та ускладнення логістичних ланцюгів вкрай важливим завданням є застосування навігаційних технологій та комп'ютерних систем, які, використовуючи ефективні алгоритми маршрутизації перевезень, дозволяють заощаджувати паливе та сприяють вчасній доставці вантажів і пасажирів автомобільним транспортом. Тому важливою частиною програмного забезпечення системи GPS моніторингу маршрутизованих перевезень [5, 6] є спеціалізований модуль, призначений для складання оптимальних маршрутів, планування і контролю графіка проходження автотранспортними засобами контрольних зон.

Використання технології контрольних зон передбачає визначення на електронних картах окремих території. Система GPS моніторингу фіксує факти перетину транспортним засобом меж контрольних зон і часу перебування в них. Такий підхід доцільно використовувати, коли немає необхідності знати детальну траєкторію руху транспортного засобу, але викликає інтерес знати лише момент часу, коли об'єкт в'їжджає у контрольну зону чи виїжджає за її межі, або графік проходження транспортним засобом контрольних точок, наприклад проїзд пасажирських зупинок, торгових точок, складів тощо.

Функціональні можливості програмного модуля маршрутизації:

- Створення маршрутних листів з плануванням на основі шаблонів часто використовуваних маршрутів;
- Створення маршрутних листів без використання шаблонів, але з планом-графіком проходження заданих диспетчером контрольних зон;
- Створення маршрутних листів без планування – за фактом проходження автомобілем контрольних зон;
- Створення маршрутних листів без планування – за фактом проходження населених пунктів;
- Контроль часу і місця зупинок під час проходження маршруту;
- Контроль заправок/зливів і витрат пального під час проходження маршруту;
- Побудова діаграми для графічного представлення звіту „план-факт”;
- Формування різноманітних індивідуальних і групових звітів про проходження маршрутів;
- Експорт звітів в XLS, PDF, HTML та в інші популярні формати.

Для успішної реалізації наведених функцій важливим питанням є розробка ефективних алгоритмів маршрутизації перевезень автотранспортом, що придатні для застосування у реальних дорожніх умовах при випадковому виникненні аварій та заторів.

Проте існуючі методики та алгоритми побудови та вибору оптимальних маршрутів руху автотранспорту [1-4] в основному передбачають знаходження найкоротшого (найдешевшого) шляху автотранспортних перевезень без формалізованого врахування виникнення транспортних заторів,

тобто порушення запланованого графіку руху автотранспорту в результаті перевантаження транспортних маршрутів, аварійних ситуацій, зупинок та простоїв транспортних потоків через недосконалу організацію і управління автотранспортом, особливо в містах.

Шляхи вирішення проблеми.

Наведемо формалізований опис моделей маршрутизації транспортних потоків, що забезпечуватимуть побудову та вибір оптимальних маршрутів за ймовірностями безперешкодного проїзду автотранспорту [4, 7, 8], а також з урахуванням найкоротшого шляху між початковим та кінцевим пунктами. Розробка зазначеної методики та алгоритмів спирається на використання мережних транспортних моделей та імовірнісних оцінок маршрутів, що оптимізуються.

Імовірність безперешкодного проїзду автотранспортного засобу (АТЗ) по заданому маршруту будемо оцінювати за наступною формулою:

$$P_{\text{он}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{ни}i}}{T_{\text{cp}}}, \quad (1)$$

де $t_{\text{ни}i}$ – позапланова затримка АТЗ на i -й ділянці маршруту внаслідок заторів, аварій, перевантаження дороги (вулиці), зупинки АТЗ інспекторами поліції через порушення водієм Правил дорожнього руху та ін.;

n – кількість ділянок маршруту з позаплановою затримкою АТЗ;

T_{cp} – середній час проїзду АТЗ по заданому маршруту (колу) руху:

$$T_{\text{cp}} = t_M + \sum_{i=1}^n t_{\text{НП}i} + \sum_{j=1}^m t_{\text{П}j}, \quad (2)$$

де $t_M = \frac{L_M}{V_{\text{ТС}}}$ – час руху на маршруті;

L_M – довжина маршруту (кола);

$V_{\text{ТС}}$ – середня технічна швидкість АТЗ на маршруті;

$t_{\text{П}j}$ – запланований час затримки АТЗ на зупинках і на світлофорах;

m – кількість запланованих зупинок.

За необхідності можна також оцінити середню ймовірність безперешкодного проїзду ТЗ по маршрутам впродовж заданого часу робочої зміни водія (відповідно графіку):

$$P_{\text{он}i} = \frac{\sum_{q=1}^k t_{\text{НП}q}}{T_{\text{СТ}}}, \quad (3)$$

де $t_{\text{НП}q}$ – позапланова затримка АТЗ на q -му маршруті (колі);

$T_{\text{СТ}} = T_{\text{cp}} \cdot K$ – середній час роботи водія на маршруті впродовж робочої зміни (за графіком);

K – кількість виконаних їздок за маршрутами (кількість кіл).

Треба зазначити, що можливі невеличкі похибки в оцінці ймовірностей безперешкодного проїзду автотранспортних засобів за маршрутами практично не будуть впливати на результати вибору і прокладання раціональних маршрутів, так як на даному етапі проводиться порівняння різних варіантів маршрутної мережі, котрі побудовані в однакових умовах оцінки $P_{\text{он}}$, тобто з однаковим ступенем достовірності.

Представимо мережу маршрутів руху міського автотранспорту від початкового вузла i у кінцевий вузол k у вигляді узагальненої схеми (рисунок 1), на якій представлено mn – вузлів транспортної мережі, що розташовані у вигляді набору шляхів з послідовно з'єднаними вузлами та відповідного набору з m паралельних шляхів (по n вузлів на кожному шляху) транспортної мережі

маршрутів. При цьому на схемі проставлені імовірності P_i безперешкодного проїзду для кожного з відрізків маршрутів (дуг).

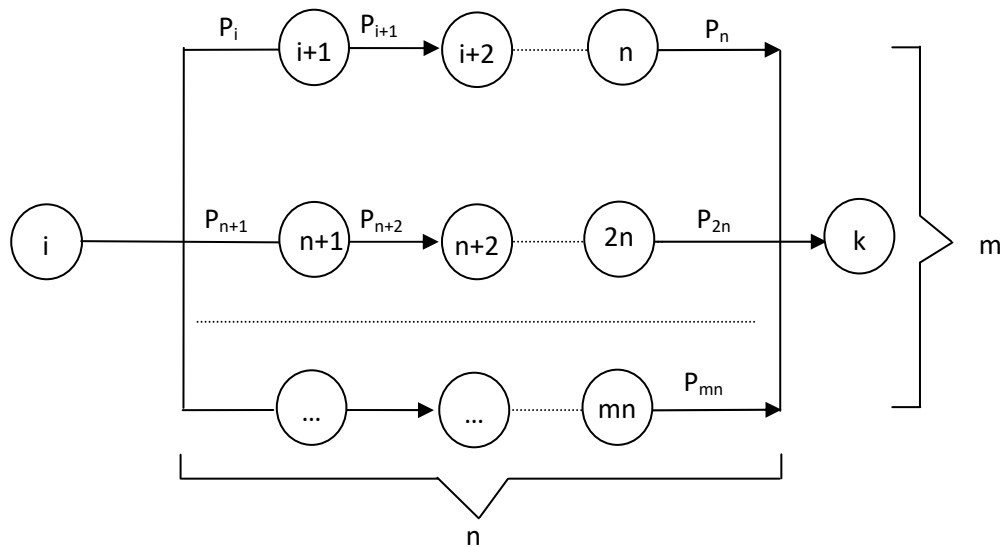


Рисунок 1 – Узагальнена схема маршрутів руху автотранспорту з імовірностями безперешкодного проїзду
Figure 1 – General scheme of routes of road transport movement with probabilities of unconstrained passing

Імовірність безперешкодного проїзду по кожному з паралельних (дублюючих) маршрутів, що з'єднують i -й та k -й вузли, буде дорівнювати

$$P_m = \prod_{i=1}^n p_i, \quad (4)$$

якщо p_i по всім маршрутам однакова, тоді $P_m = p_i^n$.

Тоді повна ймовірність безперешкодного проїзду автотранспортного засобу з вузла i у вузол k з урахуванням будь-якого з mn – маршрутів у даному районі буде дорівнювати

$$P_{mn} = 1 - (1 - P_m)^m = 1 - (1 - \prod_{i=1}^n p_i)^m \quad (5)$$

Необхідно максимізувати імовірність безперешкодного проїзду автотранспорту $P_{m \max}$ у заданому районі або імовірність безперешкодного проїзду p_i під час вибору конкретного маршруту для забезпечення найкращої ситуації руху автотранспорту.

Зазначимо, що якщо мережева модель руху автотранспорту (рисунок 1) бути ускладнена за рахунок додавання ряду дуг, що характеризують маршрути руху автотранспорту між вузлами паралельних шляхів мережі маршрутів, тоді відповідні узагальнення отримає вираз (5).

Розглянемо різні варіанти побудови мереж маршрутів шляхом оптимізації ймовірностей безперешкодного проїзду автотранспорту в містах і на міжміських маршрутах.

Так для варіанту, що представлений на схемі (рис. 2), зазначена задача вирішується шляхом вибору маршруту, що складаються з n груп відрізків, при цьому кожна група складається з m паралельно з'єднаних відрізків маршрутів (вулиць, доріг), а кожний відрізок маршруту пронумерований із зазначенням відповідних ймовірностей безперешкодного проїзду автотранспорту.

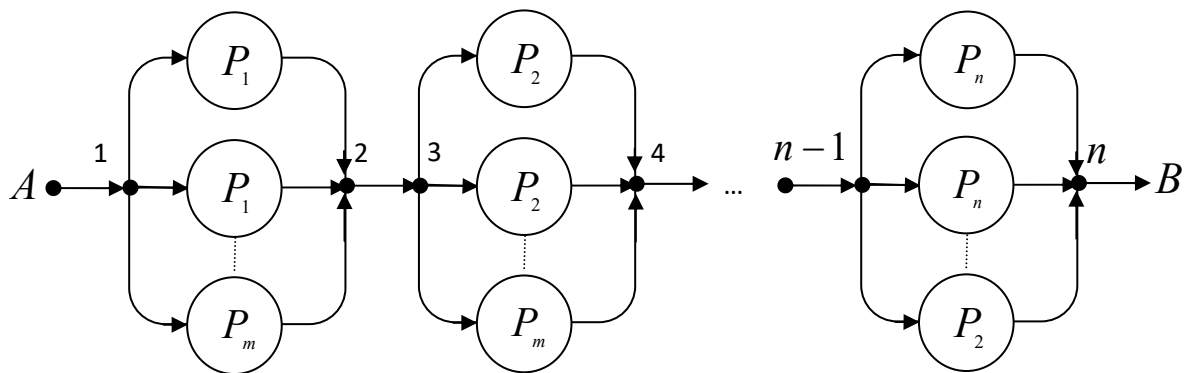


Рисунок 2 – Мережа послідовно-паралельних маршрутів
Figure 2 – Network of sequential-parallel routes

Для варіанту побудови мережі маршрутів за схемою (рисунок 3), n відрізків маршрутів утворюють m паралельних гілок.

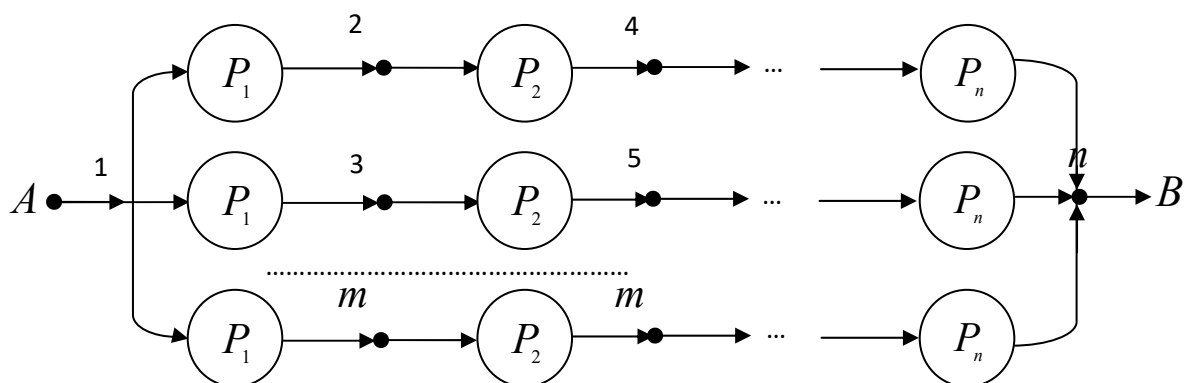


Рисунок 3 – Мережа паралельно-послідовних маршрутів
Figure 3 – Network of parallel-sequential routes

Для варіанту (рисунок 4) показаний фрагмент побудови мережі відрізків маршрутів, що складається зі з'єднань дубльованих і не дубльованих ділянок маршрутів.

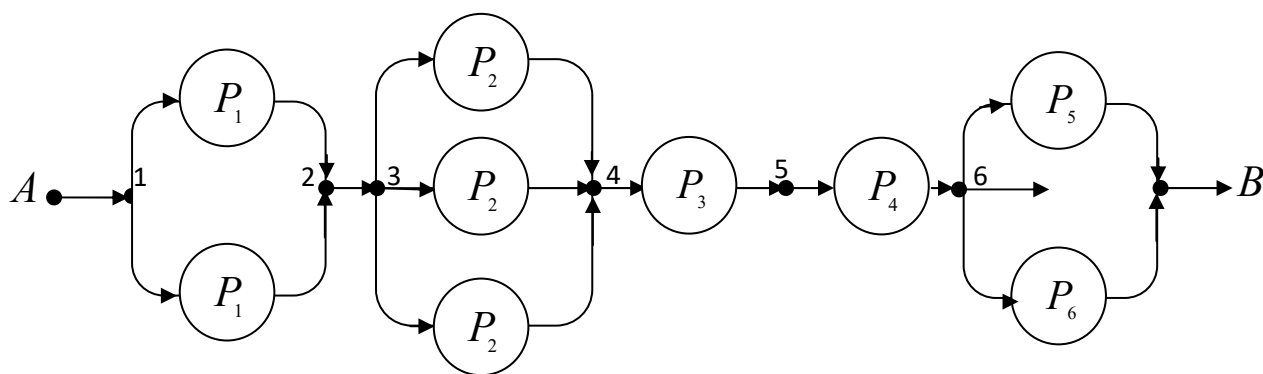


Рисунок 4 – Мережа комбінованих маршрутів
Figure 4 – Network of combined routes

Для варіанту побудови мережі маршрутів за схемою (рисунок 4) ймовірність безперешкодного проїзду P_j з урахуванням виразу (5) може бути представлена у вигляді моделі:

$$P_{r1} = \left[1 - (1 - \prod_{i=1}^m P_{\delta_i}) \right]^n \quad (6)$$

де P_{δ_i} – імовірності безперешкодного проїзду автотранспорту по i -й ділянці маршруту.

Відповідно для другого варіанту побудови мережі маршрутів (вулиць, доріг) модель оцінки імовірності безперешкодного проїзду прийме вигляд:

$$P_{r2} = \left[1 - (1 - \prod_{j=1}^n P_{\delta_j}) \right]^m \quad (7)$$

а кожний відрізок маршруту пронумерований з зазначенням відповідних ймовірностей безперешкодного проїзду транспорту.

$$P_{r3} = [1 - (1 - P_{\delta_1})^2] \cdot [1 - (1 - P_{\delta_2})^3] \cdot P_{\delta_3} \cdot P_{\delta_4} \cdot [1 - (1 - P_{\delta_5})^2] \quad (8)$$

Отримані варіанти мереж (рисунки 2-4) для узагальнених моделей оцінки ймовірностей безперешкодного проїзду автомобільного транспорту можуть бути безпосередньо використані для аналізу, вибору і оптимізації маршрутних мереж руху транспорту на вулицях міст, а також для мереж шосейних міжміських маршрутів у великих регіонах країни.

Проведемо, зокрема, порівняльний аналіз варіантів побудови мереж маршрутів, зображених на рисунках 2-4, приймаючи для спрощення, що n ділянок маршрутів в схемі на рисунку 3 відповідно дубльовані на дві гілки маршрутів, що складаються з n ділянок кожна.

Вважаючи, що $n > 1$ і $0 < P < 1$ одержимо наступні вирази:

$$\begin{cases} P_{r1} = [1 - (1 - P_{\delta})^2]^n = P_{\delta}^n \cdot (2 - P_{\delta})^n \\ P_{r2} = 1 - (1 - P^n)^2 = P^n \cdot (2 - P^n) \end{cases} \quad (9)$$

Покажемо, що за заданих умов $P_{r1} > P_{r2}$ для чого достатньо доказати нерівність

$$(2 - P_{\delta})^n > (2 - P^n) \quad (10)$$

Позначимо $q = 1 - P_{\delta}$; ($q > 0$) нерівність (10) представимо у вигляді

$$(2 - 1 + q)^n > 2 - (1 - q)^n \quad (11)$$

або

$$(1 + q)^n + (1 - q)^n > 2$$

Застосовуючи формулу бінома до останнього виразу, отримаємо

$$\begin{aligned} (1 + q)^n + (1 - q)^n &= 1 + nq + \frac{n \cdot (n-1)}{2} q^2 + \dots + \\ &+ 1 - nq + \frac{n(n-1)}{2} q^2 \dots = 2 + n(n-1) \cdot q^2 + \dots > 2, \end{aligned} \quad (12)$$

що доводить нерівність (11), а також те, що $P_{r1} > P_{r2}$.

Отже, запропоновані вище моделі оцінки ймовірностей безперешкодного проїзду мережі маршрутів є достатньо обґрунтованими і можуть бути використані для розробки алгоритмів вибору та оптимізації маршрутних мереж і транспортних потоків як у містах, так і на міжнародних перевезеннях.

Переходячи до вирішення задачі знаходження оптимальних шляхів між початковими та кінцевими пунктами маршрутів, можна показати, що ця задача може бути зведена до оцінки логарифмів ймовірностей безперешкодного проїзду.

Оскільки алгоритми пошуку найкоротших маршрутів передбачають під час розрахунків виконання операцій додавання відстаней ділянок маршрутів і пошук мінімальної з них, то їх використання для оптимізації маршрутів за ймовірностями безперешкодного проїзду без додаткових перетворень не можливе [4, 8]. Тому пропонується задачу знаходження максимальної ймовірності безперешкодного проїзду P_{ik} звести до оцінки від'ємних логарифмів ймовірностей безперешкодного проїзду $-\lg p_i$ на ділянці від i -го до k -го вузлів

$$-\lg P_{ik} = \sum_{i=1}^n (-\lg p_i) \quad (13)$$

Розглянемо конкретний приклад оцінки та вибору оптимальних маршрутів руху транспорту за ймовірностями безперешкодного проїзду, а також із забезпечення найкоротшого шляху транспортних перевезень від початкових до кінцевих пунктів. Для цього на маршрутній схемі (рисунок 5) проставлені ймовірності p_i безперешкодного проїзду між усіма вузлами мережі маршрутів, а також величини логарифмів ймовірностей p_i зі знаком «-», тобто $-\lg p_i$.

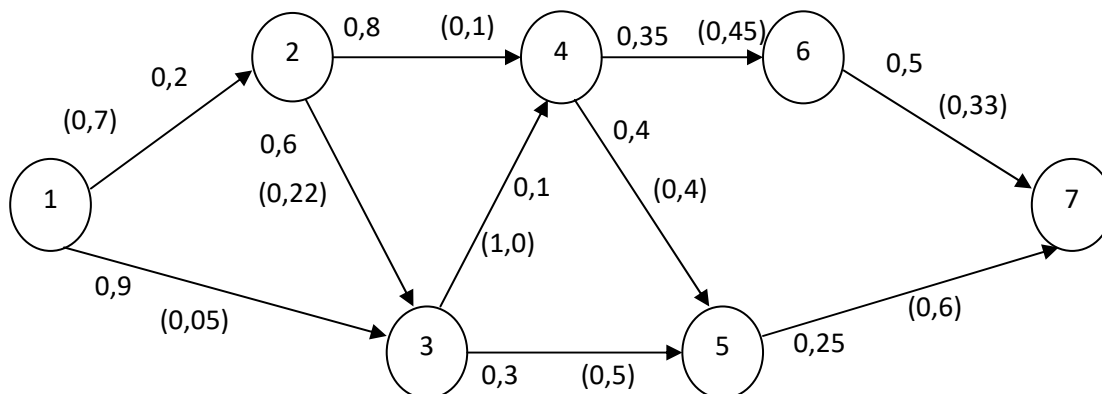


Рисунок 5 – Маршрутна схема з ймовірностями безперешкодного проїзду

Figure 5 – Route scheme with probabilities of unconstrained passing

Наприклад, оптимальним маршрутом з пункту 1 в пункт 7 є маршрут $1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 7$, оскільки сума $-\lg p_i = 1,2$ – мінімальна, а ймовірність безперешкодного проїзду на ньому максимальна і складає $P_m = 0,9 \times 0,3 \times 0,25 = 0,0679$.

Отже, пропонується одночасно використовувати пошук оптимальних маршрутів як за відстанями так і за ймовірностями безперешкодного проїзду в залежності від часу доби.

Один із можливих алгоритмів передбачає представлення мережі транспортних маршрутів у вигляді квадратної матриці з n рядками та n стовпцями. Елемент (i, j) дорівнює відстані d_{ij} від вузла i до вузла j , що має кінцеве значення, якщо існує дуга (i, j) , та дорівнює нескінченності у протилежному випадку.

Покажемо спочатку основну ідею цього алгоритму. Нехай є три вузли i, j, k та задані відстані між ними (рисунок 6).

Якщо виконується нерівність $d_{ij} + d_{jk} < d_{ik}$, тоді доцільно замінити шлях $i \rightarrow k$ шляхом $i \rightarrow j \rightarrow k$. Така заміна, яку в подальшому будемо умовно називати трикутним оператором, виконується систематично у процесі виконання даного алгоритму, що вимагає виконання наступних дій:

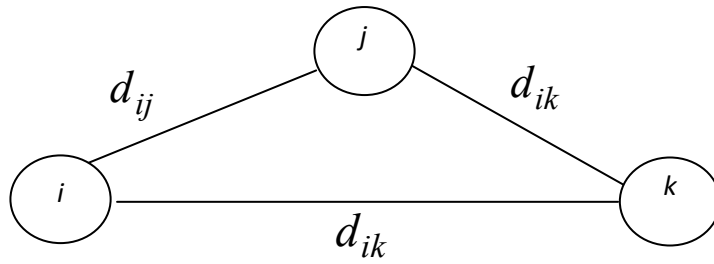


Рисунок 6 – Трикутний оператор
Figure 6 – Triangular operator

Підготовчий етап 0. Визначаємо початкову матрицю ймовірностей безперешкодного проїзду P , потім розраховуємо матрицю логарифмів ймовірностей безперешкодного проїзду $D_0 = -\lg P$ і матрицю послідовності вузлів S_0 . Діагональні елементи обох матриць помічаються знаком “—”, що показує, що ці елементи у обчисленнях участі не беруть (рисунок 7). Вважаємо $k=1$.

	1	2	...	j	...	n
1	—	d_{12}	...	d_{1j}	...	d_{1n}
2	d_{21}	—	...	d_{2j}	...	d_{2n}
...	...	...	...	...	...	...
i	d_{i1}	d_{i2}	...	d_{ij}	...	d_{in}
...	...	...	...	...	...	...
n	d_{n1}	d_{n2}	...	d_{ni}	...	—

Рисунок 7 – Матриця логарифмів ймовірностей безперешкодного проїзду
Figure 7 – Matrix of logarithms of probabilities of unconstrained passing

Основний етап k. Задаємо рядок k та стовпчик k як ведучий рядок та ведучий стовпчик. Розглядаємо можливість застосування трикутного оператора до всіх елементів d_{ij} матриці D_{k-1} . Якщо виконується нерівність

$$d_{ik} + d_{kj} < d_{ij}, (i \neq k, j \neq k, i \neq j), \quad (14)$$

тоді виконуємо наступні дії:

- Створюємо матрицю D_k шляхом заміни у матриці D_{k-1} елемента d_{ij} на суму $d_{ik} + d_{kj}$,
- Створюємо матрицю S_k шляхом заміни у матриці S_{k-1} елемента s_{ij} на k . Вважаємо $k = k + 1$ та повторюємо етап k .

Пояснимо дії, що виконуються на k -му етапі алгоритму, представивши матрицю D_{k-1} на рисунку 8.

Після реалізації n етапів алгоритму визначення за матрицями D_n та S_n максимальної ймовірності безперешкодного проїзду між вузлами i та j виконується за наступними правилами:

- Ймовірність безперешкодного проїзду між вузлами i та j дорівнює елементу d_{ij} у матриці D_n .

$$S_0 =$$

	1	2	...	j	...	n
1	—	2	...	j	...	n
2	1	—	...	j	...	n
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
i	1	2	...	j	...	n
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	1	2	...	j	...	—

Рисунок 8 – Матриця послідовності вузлів
Figure 8 – Node sequence matrix

2. Проміжні вузли шляху від вузла i до вузла j визначаємо за матрицею S_n . Нехай $S_{ij} = k$, тоді маємо шлях $i \rightarrow k \rightarrow j$. Якщо у подальшому $S_{ik} = k$ та $S_{kj} = j$, тоді вважаємо, що весь шлях визначений, так як знайдені всі проміжні вузли. У протилежному випадку повторюємо описану процедуру для шляхів від вузла i до вузла k та від вузла k до вузла j .

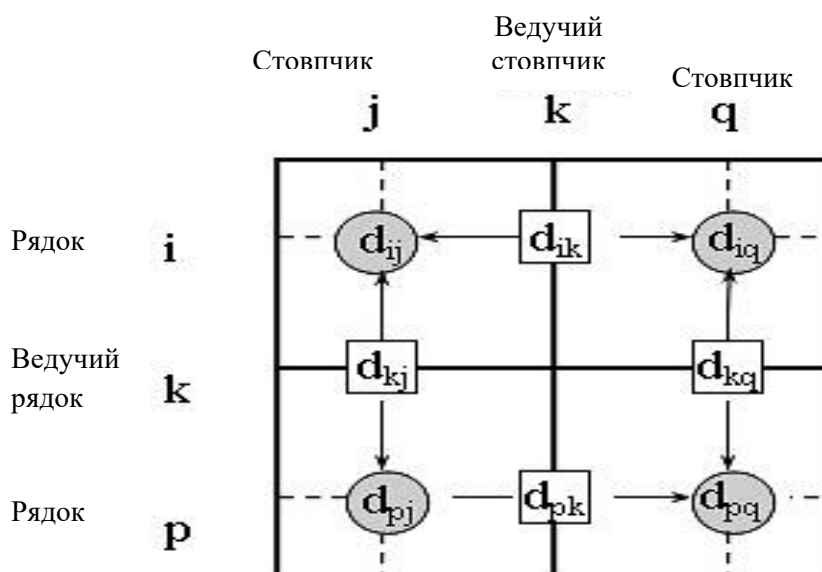


Рисунок 9 – До реалізації алгоритму пошуку максимальної ймовірності безперешкодного проїзду
Figure 9 – Regarding the implementation of the algorithm for finding the maximum probability of unconstrained passing

На рисунку 9 рядок k та стовпчик k є ведучими. Рядок i – це будь-який рядок з номером від 1 до $k-1$, а рядок p – довільний рядок з номером від $k+1$ до n . Аналогічно стовпчик j являє собою стовпчик з номером від 1 до $k-1$, а стовпчик q – довільний стовпчик з номером від $k+1$ до n . Трикутний оператор виконується наступним чином. Якщо сума елементів ведучих рядка та стовпчика (показані у квадратах) менше суми елементів, що знаходяться на перетині стовпця та рядка (показані у кільцях), відповідних тим, що розглядаються як ведучі елементи, тоді від'ємний логарифм ймовірності безперешкодного проїзду (елемент у кільці) замінюється на суму логарифмів, представлених ведучими елементами.

Висновки.

Таким чином, обґрунтовані моделі та алгоритм, що враховує найкоротші шляхи та ймовірності безперешкодного проїзду від початкових до кінцевих пунктів маршруту, рекомендується реалізувати в рамках програмного модуля маршрутизації автоматизованої системи GPS моніторингу автотранспортних перевезень з метою зменшення експлуатаційних витрат і забезпечення вчасної доставки вантажів та пасажирів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гуляницький Л. Ф. До класифікації задач маршрутизації транспортних засобів / Л. Ф. Гуляницький, А. А. Коткова // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Математика та інформатика», 1(36), 73–84. [https://doi.org/10.24144/2616-7700.2020.1\(36\).73-84](https://doi.org/10.24144/2616-7700.2020.1(36).73-84)
2. Огурцов М.І. Розробка алгоритмів розв'язання задач маршрутизації транспортних засобів з часовими вікнами / М.І. Огурцов, О.М. Ходзінський // Комп'ютерна математика. Збірник наукових праць Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України. – 2016. – Вип. 1. – С.134.
3. Передерій А.О. Алгоритми та системи оптимальної автоматичної кільцевої маршрутизації / А.О. Передерій, О.Ф. Кір'янов // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. Випуск 3/2013 (80).
4. Сердюк А.А. Алгоритми маршрутизації автотранспорту у мережних моделях // А.А. Сердюк, Є.О. Топольськов // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал. Вип. 2.– К.: НТУ, ТАУ. – 2005.
5. Беляєвський Л.С. Аналіз впливу умов експлуатації систем інформаційно-навігаційного забезпечення на ефективність роботи диспетчерських центрів управління автотранспортом / Л.С. Беляєвський, А.А. Сердюк, Є.О. Топольськов // Вісник Північного наукового центру ТАУ. – 2006. Вип. 9. – С. 15.
6. Беляєвський Л.С. Обґрунтування методик і алгоритмів просторово-часової обробки навігаційної інформації в автоматизованих супутникових системах управління наземним транспортом / Л.С. Беляєвський, Є.О. Топольськов // Вісник Північного наукового центру ТАУ. – 2004. – Вип.7. – С. 51-55.
7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей – М.: Наука, 1964. – 576 с.
8. Вентцель Е.С. Прикладные задачи теории вероятностей / Е.С Вентцель, Л. А. Овчаров – М.: Радио и связь, 1983. – 226 с.

REFERENCES

1. Huliannytskyi L.F. Do klasyfikatsii zadach marshrutyzatsii transportnykh zasobiv [Regarding the classification of vehicle routing tasks] / L.F. Huliannytskyi, A.A. Kotkova // Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu. Serii «Matematyka ta informatyka», 1(36), 73–84. [https://doi.org/10.24144/2616-7700.2020.1\(36\).73-84](https://doi.org/10.24144/2616-7700.2020.1(36).73-84)
2. Ohurtsov M.I. Rozrobka alhorytmiv rozv'iazannia zadachi marshrutyzatsii transportnykh zasobiv z chasovymy viknami [Development of algorithms for solving the problem of vehicle routing with time windows] / M.I. Ohurtsov, O.M. Khodzinskiy // Kompiuterna matematika. Zbirnyk naukovykh prats Instytutu kibernetiky im. V.M. Hlushkova NAN Ukrainy. – 2016, Vyp. 1. – S.134
3. Perederii A.O. Alhorytmy ta systemy optimalnoi avtomatichnoi kiltsevoi marshrutyzatsii [Algorithms and systems of optimal automatic ring routing] / A.O. Perederii, O.F. Kir'ianov // Visnyk KrNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho. Vypusk 3/2013 (80).
4. Serdiuk A.A. Alhorytmy marshrutyzatsii avtotransportu u merezhnykh modeliakh [Vehicle routing algorithms in network models] / A.A. Serdiuk, Ye.O. Topolskov // Upravlinnia proektamy, systemnyi analiz i lohistyka: Naukovyi zhurnal. Vyp. 2.– K.: NTU, TAU. – 2005.
5. Bieliaievskyi L.S. Analiz vplyvu umov ekspluatatsii system informatsiino-navihatsiinoho zabezpechennia na efektyvnist roboty dyspetcherskykh tsentriv upravlinnia avtotransportom [Analysis of the influence of operating conditions of information and navigation support systems on the efficiency of operation of dispatch centers for motor vehicle management] / L.S. Bieliaievskyi, A.A. Serdiuk, Ye.O. Topolskov // Visnyk Pivnichnoho naukovooho tsentru TAU. – 2006. Vyp. 9. – S. 15.
6. Bieliaievskyi L.S. Obgruntuvannia metodyk i alhorytmiv prostorocho-chasovoi obrobky navihatsiinoi informatsii v avtomatyzovanykh suputnykovykh systemakh upravlinnia nazemnym transportom [Justification of the methods and algorithms of space-time processing of navigation information in automated satellite land transport management systems] / L.S. Bieliaievskyi, Ye.O. Topolskov // Visnyk Pivnichnoho naukovooho tsentru TAU. – 2004. – Vyp.7. – s.51-55.
7. Ventcel' E.S. Teoriya verojatnostej [Theory of probability] – M.: Nauka, 1964. – 576 s.

8. Ventcel' E.S. Prikladnye zadachi teorii veroyatnostej [Applied tasks of the theory of probability] / E.S. Ventcel', L.A. Ovcharov. – M.: Radio i svjaz', 1983. – 226 s.

РЕФЕРАТ

Топольськов Є.О. Моделі і алгоритм маршрутизації перевезень з урахуванням відстаней та ймовірностей безперешкодного проїзду автотранспорту / Є.О. Топольськов, М.Б. Вітер, С.С. Федін // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Об'єкт дослідження – процеси організації та планування маршрутизованих перевезень автомобільним транспортом.

Мета роботи – обґрунтування моделей і алгоритмів маршрутизації перевезень з урахуванням імовірнісних факторів.

У дослідженні використаний комплексний метод моделювання, аналізу та синтезу.

На сьогоднішній день в умовах зростання цін на паливо та ускладнення логістичних ланцюгів вкрай важливим завданням є застосування навігаційних технологій та комп'ютерних систем, які, використовуючи ефективні алгоритми маршрутизації перевезень, дозволяють заощаджувати паливо та сприяють вчасній доставці вантажів і пасажирів автомобільним транспортом. Тому важливою частиною програмного забезпечення системи GPS моніторингу маршрутизованих перевезень є спеціалізований модуль, призначений для складання оптимальних маршрутів, планування і контролю графіка проходження автотранспортними засобами контрольних зон.

Для успішної реалізації усіх функцій модуля маршрутизації важливим завданням є розробка ефективних алгоритмів складання оптимальних маршрутів перевезень автотранспортом, що придатні для застосування у реальних дорожніх умовах при випадковому виникненні аварій та заторів. Проте існуючі методики та алгоритми побудови та вибору оптимальних маршрутів руху автотранспорту в основному передбачають знаходження найкоротшого (найдешевшого) шляху автотранспортних перевезень без формалізованого врахування виникнення транспортних заторів і порушення запланованого графіку руху автотранспорту.

У статті наведено формалізований опис моделей маршрутизації транспортних потоків, що забезпечуватимуть побудову та вибір оптимальних маршрутів за ймовірностями безперешкодного проїзду автотранспорт, а також з урахуванням найкоротшого шляху між початковим та кінцевим пунктами. Також запропоновано матричний метод і алгоритм пошуку максимальної ймовірності безперешкодного проїзду, який доцільно реалізувати в рамках програмного модуля маршрутизації автоматизованої системи GPS моніторингу автотранспортних перевезень задля зменшення експлуатаційних витрат і забезпечення вчасної доставки вантажів та пасажирів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ МАРШРУТИЗАЦІЇ, МАРШРУТНА МЕРЕЖА, ЙМОВІРНІСТЬ БЕЗПЕРЕШКОДНОГО ПРОЇЗДУ, ТРИКУТНИЙ ОПЕРАТОР, МАТРИЦЯ ЛОГАРИФМІВ ЙМОВІРНОСТЕЙ, МАТРИЦЯ ПОСЛІДОВНОСТІ ВУЗЛІВ, АЛГОРИТМ ПОШУКУ МАКСИМАЛЬНОЇ ЙМОВІРНОСТІ БЕЗПЕРЕШКОДНОГО ПРОЇЗДУ, GPS МОНІТОРИНГ ПЕРЕВЕЗЕНЬ АВТОТРАНСПОРТОМ.

ABSTRACT

Topolskov Yevhenii, Viter Mykhailo, Fedin Serhii. Models and algorithm of transportation route taking into account distances and probabilities of unconstrained passing for road transport. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – K.: NTU, 2022. – Issue 3 (53).

The object of research is the processes of organization and planning of routed transportation by road transport.

The purpose of the work is to substantiate the models and algorithms of transport routing, taking into account probabilistic factors.

The research used a complex method of modeling, analysis and synthesis.

Today, in the context of rising fuel prices and complicated logistics chains, the use of navigation technologies and computer systems is extremely important, which, using efficient routing algorithms, save fuel and facilitate the timely delivery of goods and passengers by road transport. Therefore, an important part of the software of the GPS system for monitoring routed traffic is a specialized module designed for optimal routes planning and control of the schedule of vehicles passing through control zones.

An important task for the successful implementation of all functions of the routing module is the development of effective algorithms for computing optimal routes for transportation, suitable for use in real road conditions in case of accidents and congestion. However, the existing methods and algorithms for

constructing and selecting the optimal routes of traffic mainly involve finding the shortest (cheapest) way of road transport without formalized taking into account the occurrence of traffic jams and turning aside the planned schedule.

The article provides a formalized description of traffic flow routing models that will ensure the construction and selection of optimal routes for the probability of unconstrained passing of vehicles, as well as taking into account the shortest path between the starting and ending points. A matrix method and algorithm for finding the maximum probability of unconstrained passage are also proposed, which should be implemented within the routing software module of the automated GPS system for monitoring traffic in order to reduce operating costs and ensure in time delivery of goods and passengers.

KEY WORDS: SOFTWARE MODULE OF ROUTING, ROUTE NETWORK, PROBABILITY OF UNCONSTRAINED PASSING, TRIANGULAR OPERATOR, MATRIX OF PROBABILITY LOGARITHMS, MATRIX OF SEQUENCE OF NODES, ALGORITHM OF FINDING THE MAXIMUM PROBABILITY OF UNCONSTRAINED PASSING, GPS MONITORING OF TRANSPORTATION BY ROAD TRANSPORT.

АВТОРИ:

Топольськов Євгеній Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: dreugent@gmail.com, тел.: +380442807066, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 347а, orcid.org/0000-0001-5587-3069.

Вітер Михайло Богданович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: mbviter@gmail.com, тел.: +380442807066, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 347а, orcid.org/0000-0003-4109-005X.

Федін Сергій Сергійович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: sergey.fedin1975@gmail.com, тел.: +380442807066, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 347а, orcid.org/0000-0001-9732-632X.

AUTHORS:

Topolskov E.A., Ph.D., Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of information systems and technologies, e-mail: dreugent@gmail.com, tel.: +380442807066, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko Str., 1, of. 347a, orcid.org/0000-0001-5587-3069.

Viter M.B., Ph.D., Associate Professor, National Transport University, Professor of the Department of information systems and technologies, e-mail: mbviter@gmail.com, tel.: +380442807066, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko Str., 1, of. 347a, orcid.org/0000-0003-4109-005X.

Fedin S.S., Ph.D., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Professor of the Department of information systems and technologies, e-mail: sergey.fedin1975@gmail.com, tel.: +380442807066, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko Str., 1, of. 347a, orcid.org/0000-0001-9732-632X.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Івохін Є.В., доктор фіз.-мат. наук, професор, Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, професор кафедри системного аналізу та теорії прийняття рішень факультету комп'ютерних наук та кібернетики, Київ, Україна.

Гавриленко В.В., доктор фіз.-мат. наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри інформаційних систем і технологій, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Ivohin E.V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Taras Shevchenko National university of Kyiv, Professor of the Department of systems analysis and decision theory, Faculty of computer science and cybernetics, Kyiv, Ukraine.

Gavrylenko V.V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, National Transport University, Professor of the Department of information systems and technologies, Kyiv, Ukraine.

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ МІЦНОСТІ ПОЛІМЕРНИХ ГЕОГРАТОК В АРМОГРУНТОВИХ КОНСТРУКЦІЯХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Усиченко О.Ю. кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, fbbk@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7482-8420

Плутус Р.М. Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, rostmuh@gmail.com, orcid.org/0000-0001-7319-4094

ANALYSIS OF STRENGTH PARAMETERS OF POLYMER GEOGRIDS IN REINFORCED SOIL STRUCTURES OF ROADS AND HIGHWAYS

Usychenko O.Y. Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, fbbk@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7482-8420

Plytus R.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine, rostmuh@gmail.com, orcid.org/0000-0001-7319-4094

Постановка проблеми. З розвитком науково-технічного прогресу з'являються нові технології та матеріали, які широко застосовуються в будівництві армогрунтових підпірних стін. Одним із варіантів таких технологій є будівництво армогрунтових конструкцій з використанням геосинтетичних матеріалів у якості армування. Основним завданням таких конструкцій є забезпечення стійкості масиву ґрунту. Як правило в якості армуючих прошарків в проектах інженерами пропонуються геогратки різних орієнтацій та різної міцності.

На даний момент на ринку України геограток, що пропонується різними виробниками. Їх механічні характеристики суттєво відрізняються залежно від матеріалів з яких вони виготовлені та способу виробництва. Зважаючи на велику кількість різновидів геограток доцільно проаналізувати їх властивості та механізм роботи залежно від сировини та технології виготовлення.

Відомими вченими та інженерами в галузі геосинтетичних матеріалів Д. Джоунсом [1], Д. Кувано [2], Майком Добі [3] та іншими дослідниками було доведено, що ґрунт, підсилений геогратками утворює новий композитний матеріал, який при значних статичних навантаженнях поводить себе як пластичний матеріал і сприймає напруження без деформацій завдяки сумісній роботі геогратки з ґрунтом. Це забезпечує виконання найважливішої вимоги щодо надійності роботи конструкцій.

Ґрунт має низьку міцність на розтяг, але високу міцність на стиск. Армогрунтова конструкція це композит ґрунту та армуючого прошарку у вигляді геограток різних орієнтацій та міцності. На конструкцію діють навантаження від власної ваги ґрунту та від зовнішніх навантажень на поверхні насипу. Мета армування в конструкції полягає в сприйнятті напружень розтягу та зусиль зсуву, що призводить до зменшення деформацій ґрунту під цією цих сил. Ефект армування подібний до армування бетону металевою арматурою, оскільки поведінка армованого ґрунту під навантаженням аналогічна до композитного матеріалу, що має підвищені міцність на розтяг та опір зсуву.

Армогрунтові підпірні конструкції розраховують різними методами, в основі всіх методів – перевірка на внутрішню та зовнішню стійкість. Співвідношенням утримуючих та зсувних зусиль розраховують коефіцієнт стійкості. Значення коефіцієнта стійкості повинне бути забезпечене в усіх розрахунках не менше, ніж 1,00. Для армуючих прошарків у вигляді геограток, які взаємодіють з ґрунтом та фіксуються в тілі облицювання, значення міцності на розрив є основним до розрахунку на внутрішню стійкість. Проте враховуючи терміни служби транспортних споруд слід враховувати особливості поведінки армуючого матеріалу в довгостроковій перспективі.

Враховуючи вищенаведене, постає питання про довгострокову міцність геограток, оскільки зміна міцності може мати критичний вплив та стійкість всієї конструкції, особливо в складних проектах із значними навантаженнями. Предметом аналізу цієї роботи є порівняння геосинтетичних матеріалів – геограток різних типів, що мають однакові значення міцності на розрив і відрізняються технологією виготовлення, структурою, сировинним матеріалом тощо. Метою даної статті є порівняльний аналіз основної характеристики геограток – значення міцності на розрив порівняно з їх довгостроковою міцністю та поправочних коефіцієнтів, які враховують зміну міцності з плином часу при певних умовах.

Вирішення проблеми. Фактор міцності на розрив – значення яке використовують при розрахунках різними методиками для перевірки на внутрішню стійкість армоґрунтових конструкцій. В довгостроковій перспективі зміна міцності залежить від матеріалу сировини та технології виготовлення.

Ткани геосинтетичні матеріали складаються із волокон, які є вразливими до дії таких факторів як рН, гранулометричний склад ґрунту, температура, вологість, наявності кисню та мікроорганізмів. Тканий матеріал з часом швидко втрачає свої механічні властивості та має високі значення відносного видовження при навантаженні. Від типу полімеру з якого виготовлена георатка та кислотності або лужності ґрунту залежить ступінь хімічного руйнування (розривання ланцюгів полімерів, руйнування тканих вузлів полімерів, набухання, втрата складових полімерного з'єднання). Зниження міцності поліестеру та поліефіру за рахунок лужного гідролізу за значення рН більше 10, отже тривалість експлуатації матеріалів з такої сировини підлягає обмеженню. Також через свою ткану основу георатки швидко втрачають свої механічні властивості в агресивному середовищі, тому з ціллю збільшення їх довговічності їх обробляють додатковими захисними матеріалами, що в свою чергу призводить до їх значного удорожчання як виробу. На відміну від Tensar RE 540, який є однорідним виробом та який ніяким чином не піддається хімічному та біологічному впливу.

Вітчизняні нормативні документи [5] регламентують застосування термінів «міцність геосинтетика на розтяг R_p » та «міцність повзучості при розтягуванні R_{cr} », причому показник міцності R_p слід використовувати при розрахунках конструкцій в яких геосинтетики виконують визначені функції на короткотривалий термін або в тимчасових спорудах. В іншому випадку, при розрахунках на довгостроковий термін служби слід використовувати показник міцності R_{cr} . Для зручності та більшої інформативності в тексті статі пропонується користуватися відповідними термінами «короткотривала» та «довгострокова» міцність на розрив. Значення довгострокової міцності георатки будуть тим більші, чим матеріал більш стійкий до дії таких факторів як ультрафіолетове опромінення, пошкодження під час монтажу, дія хімічного та біологічного впливів. Довгострокова міцність відповідно до [5] визначається або експериментально [6], або шляхом урахування часткових коефіцієнтів запасу по матеріалу, а саме – повзучості матеріалу, пошкодження при влаштуванні, способу з'єднання та впливу зовнішнього середовища (A_1, A_2, A_3 та A_4 , відповідно). Сукупність цих часткових коефіцієнтів це загальний коефіцієнт запасу по матеріалу γ'_3 та γ''_3 . Їх значення для різних сировинних матеріалів наведено в таблиці 5.13 [5]. Значення коефіцієнтів надається для двох випадків, перший коли розрахункова довгострокова міцність визначається відносно короткотривалої, другий відносно експериментальної довгострокової. Таким чином при відсутності експериментальних даних розрахункова довгострокова міцність геосинтетичного матеріалу визначається шляхом урахування коефіцієнтів з таблиці 5.13 [5], проте якщо експериментальні дані є їх визначають тим самим шляхом тільки з використанням інших коефіцієнтів з таблиці яка була згадана вище. Розрахункову довгострокову міцність геораток визначають за залежностями:

- для отримання розрахункових значень довгострокової міцності при відсутності експериментальних досліджень

$$R_{c1} = \frac{R_p}{\gamma'_3} \quad (1)$$

- для отримання розрахункових значень довгострокової міцності при наявності експериментальних значень номінальної довгострокової міцності:

$$R_{c2} = \frac{R_{cr}}{\gamma''_3} \quad (2)$$

де R_p – короткотривала міцність георатки на розрив, кН/м; γ'_3 – загальний коефіцієнт запасу по матеріалу для приведення короткотривалої міцності до розрахункової довгострокової міцності георатки; γ''_3 – загальний коефіцієнт запасу по матеріалу для приведення номінального значення довгострокової міцності, що отримана експериментально, до розрахункової довгострокової міцності георатки.

Для з'ясування співвідношення між експериментальними та розрахованими відповідно до [5] значеннями довготривалої міцності геораток авторами були проаналізовані результати випробувань

за даними сертифікатів британського офіційного органу сертифікації матеріалів та виробів British Board of Agrément (BBA) [4] ряду геораток різних виробників. До порівняння були прийняті георатки Tensar RE540, Heusker Fortrac 55/30-20, Tencate Miragrid GX55/30 та Bonar Enkagrid G55/30 які мають однакове значення короткострокової міцності на розрив. Матеріалом сировини для Tensar RE540 є поліетилен високої щільності, Tencate Miragrid та Bonar Enkagrid виготовлені з поліефірних ниток а Heusker Fortrac з поліестеру. В таблиці 1 наведено їх основні характеристики.

Таблиця 1 – Характеристика та властивості геораток, які аналізувалися
Table 1 – Characteristics and properties of the analyzed geogrids

№ з/п	Характеристика георатки
1	Bonar Enkagrid G55/30 – тканина георатка, матеріал: високоміцні поліефірні нитки, покриття: полівініл хлорид. Має ткану основу, зниження довготривалої міцності через вплив ультрафіолету на волокна. Знижена стійкість поліестеру до пошкоджень при монтажі. Суттєвий хімічний та біологічний вплив оскільки спосіб виготовлення – тканий.
2	Tencate Miragrid GX55/30 – тканина георатка, матеріал: високоміцні поліефірні нитки, покриття: полімерне. Має ткану основу, зниження довготривалої міцності через вплив ультрафіолету на волокна. Має тонкі ребра висока пошкоджуваність при монтажі. Суттєвий хімічний та біологічний вплив оскільки спосіб виготовлення – тканий.
3	Heusker Fortrac 55/30-20 – тканина георатка, матеріал: поліестер, покриття: полімерне. Захищена від ультрафіолетового випромінювання вмістом сажі (2%). Суттєва стійкість до деформацій та руйнувань при монтажі. Значна стійкість до хімічного та біологічного впливів завдяки наявності полімерного покриття.
4	Tensar RE540 – нетканна георатка, матеріал: поліетилен високої щільності, покриття: полімерне. Георатка захищена від ультрафіолетового випромінювання вмістом сажі (2%). Повна стійкість поліетилену високої щільності до деформацій та руйнувань при монтажі – жорсткі ребра та вузли. Виключна стійкість від хімічного та біологічного впливу у зв'язку з однорідністю виробу.

Випробування матеріалів проводились BBA за стандартизованою методикою [6] яка полягає в оцінці ключових основних механічних характеристик геораток, а саме взаємодія з ґрунтом, механічні властивості (короткострокова та довготривала міцність) та розрахункові значення довготривалої міцності на розтяг. Також було проаналізовано подібні методики випробувань згідно [7] та [8]. Показники міцності, що отримані в результаті експериментальних досліджень відповідно до сертифікатів BBA (із розрахунку на 60 років служби, та при температурі 20 °C) наведені, в таблиці 2.

В таблиці прийняті такі позначення: R_p – короткотривала міцність георатки на розрив; R_{cr} – номінальна довгострокова міцність на розрив визначена експериментальним шляхом з урахуванням повзучості при заданому розрахунковому строку служби і розрахунковій температурі; чотири часткові коефіцієнти запасу на матеріал – по сировині виготовлення (RF_s), погодних умов (включаючи вплив ультрафіолетового опромінення, RF_w), пошкодження при влаштуванні та монтажі (RF_{ID}), хімічного та біологічного впливу (RF_{ch}); R_{cz} – розрахункова довгострокова міцність георатки на розрив з урахуванням коефіцієнтів запасу на матеріал.

Коефіцієнти запасу на матеріал RF_s , RF_w , RF_{ID} , RF_{ch} були визначені в результаті експериментальних випробувань та підтверджені відповідними сертифікатами BBA [4]. Для кожного виробу значення коефіцієнтів є різними оскільки матеріали в процесі випробувань піддають критичним температурам відповідно до методики [6] ступінчастим ізотермічним методом (суперпозиції).

Таблиця 2 – Значення короткотривалої (R_p), експериментальної довгострокової (R_{cr}), та розрахункової довгострокової міцності (R_{c3}) аналізованих геораток різних виробників за результатами експериментальних випробувань [6]

Table 2 – Values of short-term (R_p), experimental long-term (R_{cr}), and design long-term strength (R_{c3}) of the analyzed geogrids of different manufacturers based on the results of experimental tests [6]

Георатки	R_p , кН/м	R_{cr} , кН/м	RF_s	RF_w	RF_{ID}	RF_{ch}	R_{c3} , кН/м
Tensar RE540	55,00	31,20	1,00	1,00	1,00	1,00	31,20
Heusker Fortrac 55/30-20	55,00	35,20	1,05	1,00	1,06	1,03	30,51
Tencate Miragrid GX55/30	55,00	35,80	1,01	1,25	1,12	1,09	21,49
Bonar Enkagrid G55/30	55,00	34,80	1,07	1,25	1,07	1,07	21,01

Випробування геораток проводять задля детальної оцінки ключових факторів які впливають на георатку. Накладення часу і температури є добре прийнятим методом прискорення для оцінювання поведінки полімерних матеріалів під час повзучості, а ступінчастий ізотермічний метод розробили в останні дванадцять років переважно для скорочення часу випробувань і мінімізації невизначеності, пов'язаної з мінливістю, притаманною випробуванням із кількома зразками. Випробування ступінчастим ізотермічним методом зазвичай проводиться з використанням одного ребра георатки з кроком температури 14 градусів Цельсія і часом витримки 10 000 секунд. Умови при яких випробовують георатку наведені в таблиці 4.

Разом з тим, авторами були виконані розрахунки значень довготривалої міцності наведених вище матеріалів відповідно до вимог [5] за залежностями (1) та (2). Таблиця 5.13 [5] містить значення часткових коефіцієнтів для поліетилену та поліефіру. Оскільки сировиною для Tensar RE540 є поліетилен високої щільності, значення часткових коефіцієнтів по матеріалу для Tensar RE540 були взяті як для поліетилену. Георатка Huskers Fortrac 55/30-20 виготовлена з поліестеру який є одним із видів поліефіру. Отже, для Heusker Fortrac 55/30-20, Tencate Miragrid GX55/30 і Bonar Enkagrid G55/30 значення часткових коефіцієнтів по матеріалу виявилися однаковими. Відповідно загальний коефіцієнт запасу по матеріалу γ'_3 для Tensar RE540 складає 20, для інших матеріалів – 10. Різниця значень загального коефіцієнта запасу у два рази отримана за рахунок значення A_1 – часткового коефіцієнта запасу повзучості матеріалу, який в свою чергу значно знижує реальне значення міцності виробу з поліетилену. Аналогічно було визначено значення загального коефіцієнту запасу по матеріалу γ''_3 , який для Tensar RE540 склав 3,40, а для інших матеріалів – 2,21. Різницю значень розрахункової довгострокової міцності геораток наведено в таблиці 3, 9й та 10й колонках.

Для зручності порівняння отриманих результатів розрахунків сформовано порівняльну таблицю 3.

Аналізуючи отримані дані приходимо до висновку про значні розбіжності отриманих значень розрахункової довготривалої міцності геораток R_{c1} , R_{c2} та R_{c3} . Зниження розрахованих за [5] значень становить від 1,33 до 11,35 разів порівняно з розрахунковими значеннями, що встановлені експериментально. Найбільш значний вплив на такі результати має високе для поліетилену значення часткового коефіцієнта запасу повзучості A_1 , що значно понижує розрахункові значення для георатки Tensar RE540. Разом з тим, аналізуючи зниження розрахункових значень довготривалої міцності R_{c3} , що отримані експериментально, по відношенню до короткострокової R_p приходимо до висновку що для матеріалів Tensar RE540 та Heusker Fortrac 55/30-20 таке зниження є найменшим незважаючи на різницю в матеріалі сировини (поліетилен високої щільності та поліестер, відповідно).

Експериментальні дані міцнісних характеристик геораток які були аналізовані в цій статті наведені на 60 років служби. Аналогічно результати можуть бути отримані і на 120 років (строк служби поліетилен). Враховуючи наведені в таблиці 2 значення часткових коефіцієнтів запасу на матеріал при потенційному розрахунку на 120 років служби в георатках Tensar втрати міцності не буде, а для інших геораток втрата буде експоненціальною.

При розрахунках внутрішньої стійкості армогрунтових конструкцій розрахункове значення довготривалої міцності впливає на вибір інтервалу армування що, в свою чергу, визначає кількість шарів армування. Зниження розрахункових значень довготривалої міцності призводить до збільшення в проєкті кількості шарів армування, а в результаті – до перевитрати матеріалу, збільшення трудомісткості робіт по укладанню армуючих прошарків та збільшення загальної вартості армогрунтової споруди. Враховуючи вищенаведене при проєктуванні конструкцій з використанням геораток в якості армуючих прошарків, слід використовувати розрахункові значення довготривалої

міцності, що отримані в результаті експериментальних досліджень та підтверджені відповідними сертифікатами. З огляду на відсутність в Україні сертифікованих лабораторій з відповідними можливостями випробувань геосинтетичних матеріалів постачальникам, які насичують ринок України матеріалами з інших країн, доцільно було б надавати сертифіковані результати випробувань пропонуваніх матеріалів.

Таблиця 3 – Зведена порівняльна таблиця отриманих розрахункових значень короткотривалої та довгострокової міцності георіток за [5] та [6]

Table 3 – Summary comparative table of the design values of short-term and long-term strength of geogrids according to [5] and [6]

Георітки	Короткотривала міцність георітки, R_p , кН/м	Загальний коефіцієнт запасу по матеріалу γ'_3 для приведення, R_p до R_{c1}	Розрахункова довготривала міцність георітки R_{c1} кН/м, за формулою (1)	Номинальна довготривала міцність георітки отримана експериментально за [4], R_{ct} , кН/м	Загальний коефіцієнт запасу по матеріалу γ''_3 для приведення, R_{ct} до R_{c2}	Розрахункова довготривала міцність георітки R_{c2} кН/м, за формулою (2)	Розрахункова довготривала міцність георітки визначена експериментально за [4], R_{c3} , кН/м	Співвідношення розрахункової довготривалої міцності R_{c1} та R_{c3}	Співвідношення розрахункової довгострокової міцності R_{c2} та R_{c3}	Зниження розрахункових значень довготривалої міцності R_{c3} по відношенню до короткотривалої міцності георітки
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tensar RE540	55,00	20,00	2,75	31,20	3,40	9,18	31,20	11,35	3,40	43,27%
Heusker Fortrac 55/30-20	55,00	10,00	5,50	35,20	2,21	15,93	30,51	5,55	1,92	44,53%
Tencate Miragrid GX55/30	55,00	10,00	5,50	35,80	2,21	16,20	21,49	3,91	1,33	60,92%
Bonar Enkagrid G55/30	55,00	10,00	5,50	34,80	2,21	15,75	21,01	3,82	1,33	61,80%

Таблиця 4 – Умови перевірки георіток на короткотривалу та довготривалу міцність

Table 4 – Conditions for testing geogrids for short-term and long-term durability

Фактор	Короткотривала міцність	Довготривала міцність	Довготривала міцність з урахуванням коефіцієнтів
Тривалість випробування	< 1 хвилини	> 10 000 годин	Немає даних розрахунку
Результати випробування	Руйнування/розрив георітки	Руйнування георітки при довготривалому випробуванні на повзучість	Зменшення значення шляхом включення поправочних коефіцієнтів R_{ct}
Мета проведення випробування	Перевірка якості виготовлення	Поведінка матеріалу в довгостроковій перспективі	Можливість проектування конструкції на довгострокову перспективу відповідно до вимог нормативних документів

В подальших дослідженнях планується проведення аналізу економічної складової щодо доцільності використання саме більш точних розрахункових значень довготривалої міцності геосинтетичних геораток R_{cz} при розрахунках армогрунтових конструкцій для більш предметного відображення можливої перевитрати матеріалу та ймовірного збільшення вартості конструкції.

Висновки.

1. Міцність геораток на розрив та довгострокова міцність можуть суттєво відрізнятися залежно від матеріалу сировини георатки, технології її виробництва; структури, форми вічок, товщини ребер тощо.

2. При проектуванні армогрунтових конструкцій значної висоти та в обмежених або ускладнених умовах в розрахунках на внутрішню стійкість слід використовувати значення розрахункової довгострокової міцності R_{cz} з урахуванням запасу на матеріал.

3. При використанні нормативних значень часткових коефіцієнтів запасу на матеріал спостерігається необґрунтоване заниження розрахункових значень довгострокової міцності геосинтетичного матеріалу від 1,33 до 11,35 разів.

4. При проектуванні армогрунтових конструкцій для отримання оптимальних параметрів армування необхідно використовувати результати сертифікованих лабораторій щодо розрахункових значень міцнісних характеристик геосинтетичних армуючих матеріалів.

5. В проєктах слід виконувати техніко-економічне порівняння варіантів з різними матеріалами, оскільки саме значення розрахункової довготривалої міцності є визначальною при призначенні кроку армування та витрати матеріалів, що впливає на вартість та трудомісткість виконання робіт.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Colin J. F. P. Jones. Earth Reinforcement and Soil Structures. Butterworths Advanced Series in Geotechnical Engineering, first published 1985, revised reprint 1988;

2. Aung Aung Soe, Shinya Tachibana and Jiro Kuwano. Influences of geogrid stiffness and its aperture shape on load-settlement behavior and surface deformation of reinforced sand. Journal of Geosynthetics, Volume 30 (2015.12), [in English];

3. Michael Dobie. Internal stability of reinforced soil structures using a two-part wedge method. December 2011, Volume: 1, [in English];

4. The BBA certificates for grids that were discovered in this article link. URL: <https://www.bbacerts.co.uk/search/>

5. ГБН В.2.3-37641918-544:2014 Автомобільні дороги. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги.

6. ISO/TR 20432:2007 Guidelines for the determination of the long-term strength of geosynthetics for soil reinforcement.

7. ДСТУ 8693:2016 Геосинтетичні матеріали для армування ґрунту. Настанови щодо визначення тривалої міцності геосинтетичних матеріалів для армування ґрунту.

8. ДСТУ 8607:2015 Матеріали геосинтетичні дорожні. Методи випробування.

REFERENCES

1. Colin J. F. P. Jones. Earth Reinforcement and Soil Structures. Butterworths Advanced Series in Geotechnical Engineering, first published 1985, revised reprint 1988;

2. Aung Aung Soe, Shinya Tachibana and Jiro Kuwano. Influences of geogrid stiffness and its aperture shape on load-settlement behavior and surface deformation of reinforced sand. Journal of Geosynthetics, Volume 30 (2015.12), [in English];

3. Michael Dobie. Internal stability of reinforced soil structures using a two-part wedge method. December 2011, Volume: 1, [in English];

4. The BBA certificates for grids that were discovered in this article link. URL: <https://www.bbacerts.co.uk/search/>.

5. GBN B.2.3-37641918-544: 2014 Roads. Application of geosynthetic materials in road structures. Basic requirements.

6. ISO/TR 20432:2007 Guidelines for the determination of the long-term strength of geosynthetics for soil reinforcement.

7. DSTU 8693: 2016 Geosynthetic materials for soil reinforcement. Guidelines for determining the long-term strength of geosynthetic materials for soil reinforcement;
8. DSTU 8607:2015 Geosynthetic road materials. Test methods.

РЕФЕРАТ

Усиченко О.Ю. Аналіз показників міцності полімерних геораток в армоґрунтових конструкціях автомобільних доріг / О.Ю. Усиченко, Р.М. Плитус // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Метою запропонованої статті є оцінка значень міцності на розрив та довготривалої міцності з урахуванням повзучості полімерних геораток в армоґрунтових конструкціях, їх подальший аналіз в довгостроковій перспективі на об'єктах транспортної інфраструктури з обмеженими умовами будівництва. Авторами виконано порівняльний аналіз ряду геораток різних типів, які широко застосовуються в армоґрунтових конструкціях, мають однакові значення міцності на розрив, проте відрізняються технологією виготовлення, структурою та матеріалом сировини. Наведено порівняльні таблиці зміни значень довгострокової міцності геораток у довгостроковій перспективі. Проаналізовано величину зниження номінальної та розрахункової довготривалої міцності геораток.

Достатній попередній досвід проектування ґрунтових конструкцій з геосинтетичним армуванням георатками дає можливість до більш детального розуміння механіки роботи та методів розрахунку таких конструкцій. Авторами доведено, що застосування при проектуванні саме розрахункової довготривалої міцності георатки із урахуванням часткового коефіцієнту запасу на матеріал дозволяє виконати більш точний розрахунок конструкцій високого класу відповідальності, які проектуються в обмежених та ускладнених умовах. Такий підхід зменшує перевитрату геораток в армоґрунтових конструкціях, та оптимізує проектні параметри а саме крок армування та довжину закладання армуючого прошарку, що впливає на вартість проекту та трудомісткість виконання робіт.

Проведений аналіз дозволив визначити фактор для гармонізації вітчизняного нормативного документу із європейським аналогом який є рекомендаційним. А саме – приведення номінальної довготривалої міцності до розрахункової шляхом введення коефіцієнту запасу на матеріал який включає в себе урахування коефіцієнтів повзучості матеріалу, пошкодження при влаштуванні, способу з'єднання, та впливу зовнішнього середовища.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АРМОґРУНТОВІ КОНСТРУКЦІЇ, ГЕОРАТКИ, ГЕОСИНТЕТИЧНІ МАТЕРІАЛИ, НОМІНАЛЬНА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ДОВГОСТРОКОВА МІЦНІСТЬ, РОЗРАХУНКОВА ДОВГОСТРОКОВА МІЦНІСТЬ.

ABSTRACT

Usychenko O.Y., Plytus R.M. Current assets management at a modern enterprise. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The purpose of the proposed article is to evaluate the tensile strength and long-term strength values, taking into account the creep of polymer geogrids in reinforced soil structures, their further long-term analysis at transport infrastructure facilities with limited construction conditions. The authors have performed a comparative analysis of polymeric geogrids with different types and orientations, which are widely used in reinforced soil structures, have the same tensile strength values depending on the manufacturing technology, structure and raw material. Comparative tables with all changes of a long-term strength those geogrids are given. The value of reduction and nominal long-term strength of geogrids is analyzed.

Sufficient previous experience in the design of soil structures with geosynthetic reinforcement with geogrids provides an opportunity for a more detailed understanding of the mechanics, operation and calculation methods of such structures. The authors have proved that the use of the long-term strength value of the geogrid in the design, taking into account the partial safety factor for the material, allows for a more accurate calculation of structures with high responsibility class, which are designed in limited and difficult conditions. This approach reduces the overconsumption of geogrids in reinforced soil structures, and optimizes the design parameters, namely the reinforcement step and the length of the reinforcing layer, which affects the projects cost and the labor intensity of the work.

The analysis made it possible to determine a factor that is of a recommendatory nature for a harmonization of the national regulatory document with the European analogue. Namely – bringing the nominal long-term strength to the design long-term value of durability by introducing a safety factor for the material, which includes consideration of materials creep and coefficients like, damage during installation, the connection method, and the external environment influence.

KEYWORDS: REINFORCED SOIL STRUCTURES, GEOGRIDS, GEOSYNTHETIC MATERIALS, NOMINAL EXPERIMENTAL LONG-TERM STRENGTH, DESIGN LONG-TERM STRENGTH.

АВТОРИ:

Усиченко Олена Юріївна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, e-mail: fbbk@ukr.net, тел. +380503114182, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 218, orcid.org/0000-0002-7482-8420

Плитус Ростислав Михайлович, аспірант, Національний транспортний університет, e-mail: rostmuh@gmail.com, тел. +380683023326, Україна, 01042, м. Київ, вул. Джона Маккейна, 32, orcid.org/0000-0001-7319-4094

AUTHORS:

Usychenko Olena Y., Candidate of Technical Sciences, National Transport University, e-mail: fbbk@ukr.net, tel. +380503114182, Ukraine, 01010, Kyiv, 1 Omelyanovycha-Pavlenka str., bldg. 218, orcid.org/0000-0002-7482-8420

Plytus Rostyslav M., postgraduate student, National Transport University, e-mail: rostmuh@gmail.com, tel. +380683023326, Ukraine, 01042, Kyiv, 32, John McCain Str., orcid.org/0000-0001-7319-4094

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Рутковська Інесса Анатоліївна – кандидат технічних наук, професор, завідувача аспірантурою та докторантурою НТУ, Київ, Україна.

Хлапук Микола Миколайович, Директор навчально-наукового інституту водного господарства та природооблаштування Національного університету водного господарства та природокористування, Рівне, Україна.

REVIEWER:

Rutkovska Inessa A., Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of Postgraduate and Doctoral Studies, NTU, Kyiv, Ukraine.

Khlapuk Mykola M., Director of the Educational and Research Institute of Water and Environmental Management, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine.

ЗМЕНШЕННЯ РІВНЯ ВНУТРІШНЬОГО ШУМУ БРОНЕАВТОМОБІЛЯ «НОВАТОР»

Федоров В.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, fedorov.volodymyr@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1085-5112

Філіпова Г.А., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, galina_gaj@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3427-7633

INTERNAL NOISE LEVEL REDUCTION OF THE ARMORED VEHICLE «NOVATOR»

Fedorov, V.V., Candidate of Science (Engineering), National Transport University, Kyiv, Ukraine, fedorov.volodymyr@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1085-5112

Filipova, G.A., Candidate of Science (Engineering), National Transport University, Kyiv, Ukraine, galina_gaj@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3427-7633

Постановка проблеми. Актуальність зниження внутрішнього шуму військового автомобіля диктується не лише екологічними вимогами, а й необхідністю забезпечити розбірливість мови. Ця необхідність стосується тих військових автомобілів, які виконують функції командно-штабних або розвідувальних. Шум у салоні бронеавтомобіля створюється цілим рядом джерел: двигуном, колесами, підвіскою, корпусом тощо. Є ряд шляхів зменшення рівня внутрішнього шуму: встановлення вібророзв'язок у місцях передачі потужних вібрацій (двигун-рама), покриття внутрішніх поверхонь віброізолюючими та шумопоглинальними матеріалами. Також можливе застосування активних методів гасіння шуму в салонах автомобілів.

Аналіз наявних публікацій.

Проблеми внутрішнього шуму військових автомобілів

Трансформація зовнішнього шуму автомобіля у внутрішній показана на рис. 1. У даній роботі зупиняти свою увагу на передаточних функціях не будемо.

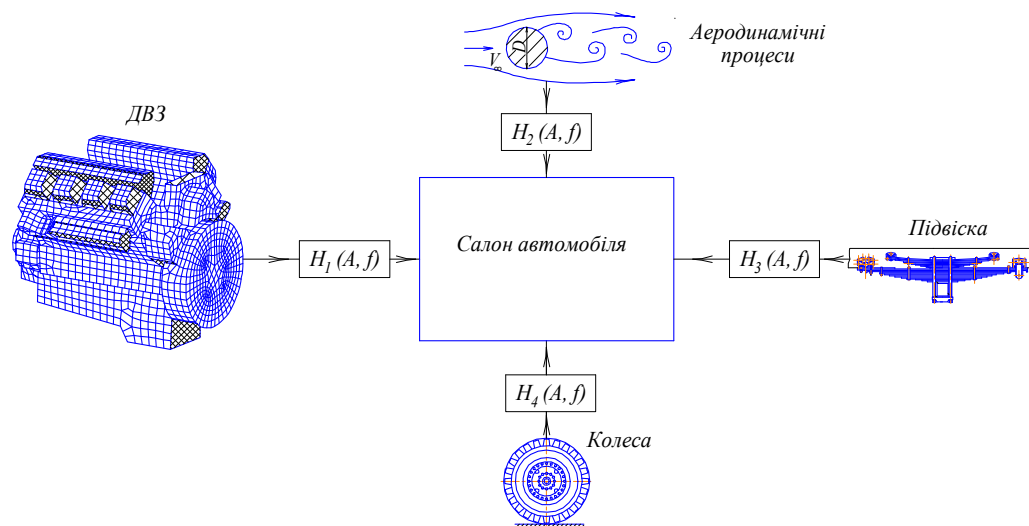


Рисунок 1 – Трансформація зовнішнього шуму автомобіля у внутрішній: $H_1(A, f)$ – передаточна функція шляху «двигун внутрішнього згорання – салон автомобіля»; $H_2(A, f)$ – передаточна функція шляху «аеродинамічні процеси при взаємодії корпусу автомобіля з довкіллям – салон автомобіля»; $H_3(A, f)$ – передаточна функція шляху «підвіска – салон автомобіля»; $H_4(A, f)$ – передаточна функція шляху «колеса – салон автомобіля»

Figure 1 – Transformation of external vehicle noise into internal noise: $H_1(A, f)$ is the transfer function of the path «internal combustion engine – interior of the vehicle»; $H_2(A, f)$ is the transfer function of the path «aerodynamic processes during the interaction of the vehicle body with the environment – the interior of the vehicle»; $H_3(A, f)$ is the transfer function of the path «suspension – interior of the vehicle»; $H_4(A, f)$ is the transfer function of the path «wheels – interior of the vehicle»

Внутрішній шум військового (броньованого) автомобіля чинить шкідливий вплив на здоров'я людей, які знаходяться у ньому, та знижує рівень розбірливості їхньої мови.

Відомо [1], що при тривалій дії шум викликає необоротну втрату слуху (туговухість), шкідливо впливає на нервову систему, руйнує шлунково-кишковий тракт, згубно впливає на психіку людини, понижує зір, порушує діяльність серцево-судинної системи (збільшує кров'яний тиск та частоту ударів серця), порушує сон, знижує продуктивність праці, створює небезпеку нещасних випадків через невиразність звукових сигналів та нерозуміння усної мови, знижує концентрацію уваги (рис. 2).

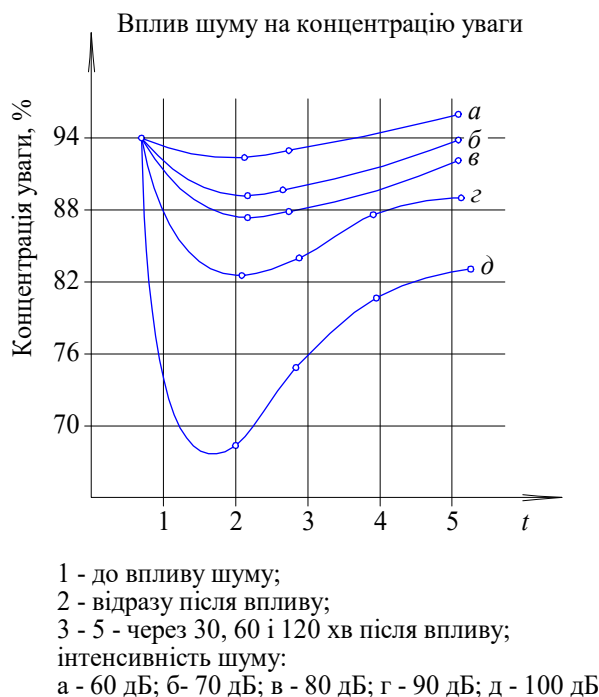


Рисунок 2 – До проблеми шкідливого впливу шуму на здоров'я людини

Figure 2 – To the problem of harmful effects of noise on human health

Розбірливість мови оцінюється шляхом абсолютного розпізнавання фраз, слів, складів і окремих фонем при наявності факторів, що заважають (шумів, обмеження частотного діапазону тощо) [2].

Вимірювання розбірливості мови здійснюється за допомогою так званих артикуляційних випробувань систем передачі мови. В процесі цих випробувань бригада спеціально підібраних і тренуваних людей (артикуляційна бригада) слухає таблиці складів, слів і фраз, які читаються диктором. Потім розраховується процент вірно прийнятих елементів мови. Одержаний результат називають процентом артикуляції. У кожному конкретному випадку він залежить від ряду факторів, таких як характер елементів мови, що передаються (звуки, склади, слова, фрази), а також їх властивості, пов'язані з вірним відображенням статистики даної мови; добір складу артикуляційної бригади і ступінь її тренуваності; якість голосу диктора, його дикція; методика проведення вимірювань; довкілля.

Тому процент артикуляції вважається не абсолютним, а відносною мірою якісних показників системи передачі або запису мови. Але при виконанні певних правил проведення артикуляційних іспитів вплив цих факторів може бути зведеним до мінімуму, тоді чисельні результати іспитів набувають стабільності необхідної для абсолютної оцінки якості випробувальної системи. Ці правила перш за все стосуються добору випробувального матеріалу, тобто спеціально складених таблиць фраз, слів або складів. Залежно від типу елементів мови, що передаються, розрізняють звукову, складову, словесну і фразову розбірливість. Всі вони при випробуванні однієї й тієї ж системи будуть виражатися різними чисельними значеннями.

Для всіх видів мовного матеріалу розбірливість наростає із збільшенням рівня інтенсивності звуку від порогового до рівня максимальної розбірливості. Іншими словами, для розбірливості мови також існує психометрична функція, як і для інших психоакустичних феноменів. Як правило, при

досягненні для даного виду мовного матеріалу максимальної розбірливості подальше наростання інтенсивності стимуляції не призводить до підвищення розбірливості, а інколи, навпаки, фактична розбірливість зменшується.

На рис. 3 наведені психометричні функції для різних видів мовного матеріалу, які вказують процент вірних відповідей як функцію співвідношення сигнал/шум (С/Ш). На низьких рівнях інтенсивності звуків (низьке співвідношення С/Ш) цифри сприймаються більш розбірливо, ніж слова в реченнях, які в свою чергу більш розбірливі, ніж окремі склади, що не несуть ніякого змістовного навантаження. Крім того, при будь-якому співвідношенні С/Ш процент вірних відповідей найбільш високий для цифр, менший для слів в реченні і найнижчий для окремих складів. Розрізнявальність цифр стає асимптотичною при 100 % вірних відповідей на більш низькому рівні інтенсивності, ніж інші види мовного матеріалу. З іншого боку, 100 % розбірливість слів у реченні настає при співвідношенні С/Ш, що дорівнює 18 дБ, а розрізнявальність окремих складів не досягає і 70 % розбірливості при співвідношеннях С/Ш, що застосовувались у дослідженні. Таким чином, розрізнявальність в умовах невеликої кількості можливостей вища, ніж при великому виборі.

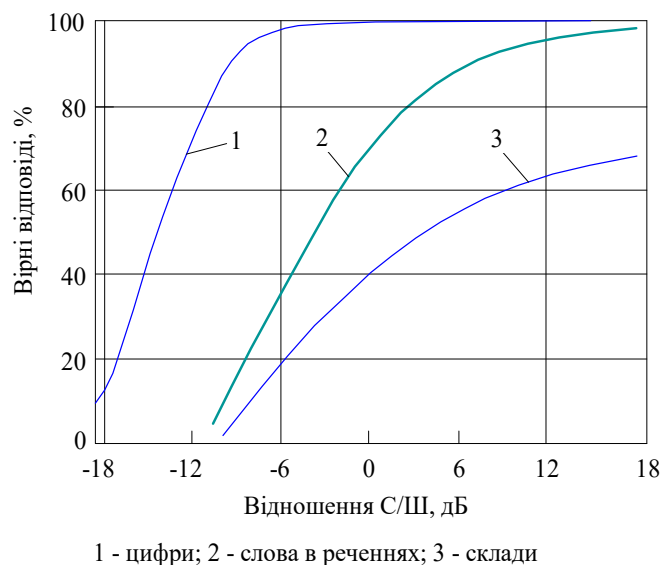


Рисунок 3 – Розбірливість різного мовного матеріалу в залежності від співвідношення сигнал/шум
Figure 3 – The intelligibility of different speech material depending on the signal-to-noise ratio

Очевидно, що для автомобіля військової розвідки необхідне виконання обох вимог: нешкідливий вплив шуму та високий рівень розбірливості мови.

Метод активного шумоглушіння в салонах автомобілів

Метод активної боротьби з акустичним шумом базується на використанні додаткового штучного керованого джерела акустичних хвиль, якому надається енергія [3].

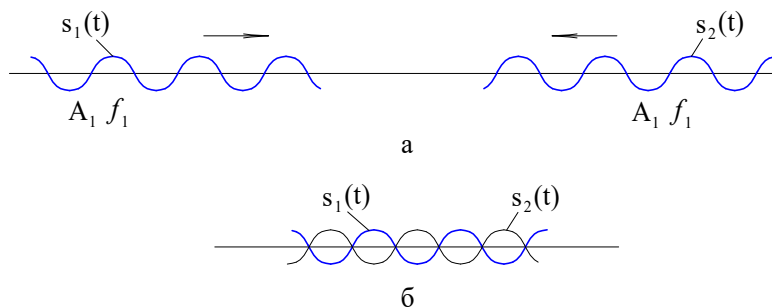


Рисунок 4 – До пояснення активного шумоглушіння («одновимірний» варіант): а – акустичні хвилі $s_1(t)$ і $s_2(t)$ рухаються назустріч; б – акустичні хвилі $s_1(t)$ і $s_2(t)$ «наклалися» одна на одну у протифазі
Figure 4 – To the explanation of active noise cancellation («one-dimensional» version): а – acoustic waves $s_1(t)$ and $s_2(t)$ move towards each other; б – acoustic waves $s_1(t)$ and $s_2(t)$ «overlaid» each other in antiphase

Принцип активного шумоглушіння пояснюється таким чином. Дві акустичні хвилі $s_1(t)$ і $s_2(t)$ рухаються назустріч одна одній (рис. 4, а), причому ці хвилі мають однакові амплітуди A_1 і частоту f_1 . У деякому місці простору ці хвилі накладаються у протифазі (рис. 4, б), і тоді шум відсутній.

На рис. 5 процес активного шумоглушіння показаний у «плоскому» варіанті.

На рис. 6 показано процес активного шумоглушіння в автомобілі («плоский» варіант).

Мета дослідження. Зменшення рівня внутрішнього шуму автомобіля військової розвідки завдяки застосуванню вдосконаленої системи активного шумоглушіння.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Як об'єкт дослідження нами був вибраний спеціалізований бронеавтомобіль «Новатор» (СБА «Новатор») [4, 5] (рис. 7).

Автомобіль створений для підрозділів швидкого реагування, на посиленому шасі, за своїми характеристиками (таблиця 1) близький до КраЗ «Спартан» і Богдан «Барс-8». СБА «Новатор» може використовуватися як автомобіль військової розвідки.

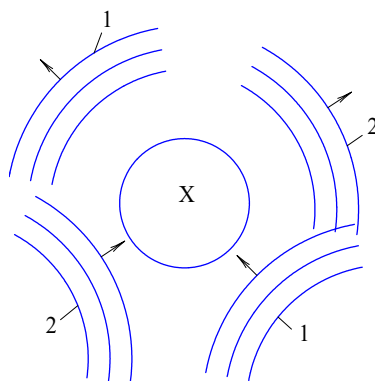


Рисунок 5 – До пояснення активного шумоглушіння: «плоский» варіант активного шумоглушіння (вид зверху): 1 – «шумові» акустичні хвилі; 2 – «антишумові» акустичні хвилі;

X – зона, в якій відбувається накладання «шумових» та «антишумових» акустичних хвиль

Figure 5 – To the explanation of active noise cancellation: «flat» version of active noise cancellation (top view): 1 – «noise» acoustic waves; 2 – «anti-noise» acoustic waves; X is a zone in which «noise» and «anti-noise» acoustic waves overlap

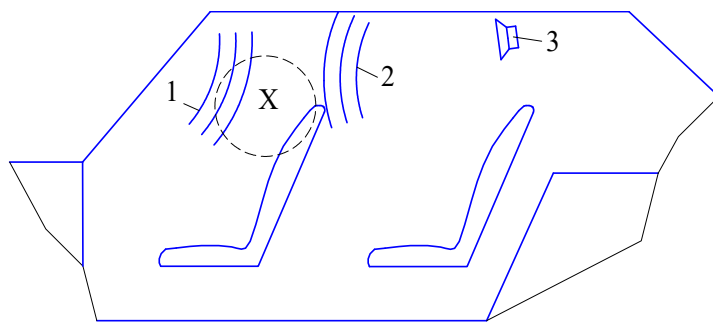


Рисунок 6 – До пояснення принципу дії активного шумоглушіння в автомобілі:

1 – «шумові» акустичні хвилі; 2 – «антишумові» акустичні хвилі; 3 – акустична установка активного шумоглушіння

Figure 6 – To explain the principle of action of active noise cancellation in a vehicle: 1 – «noise» acoustic waves; 2 – «anti-noise» acoustic waves; 3 – acoustic installation of active noise cancellation

Для зниження рівня внутрішнього шуму СБА «Новатор» нами було запропоновано використати систему активного шумоглушіння [3], що складається з динаміків 2 у нижній частині передніх дверей, мікрофонів 3, сабвуфера 4, електронного блоку керування 5 та аудіосистеми 6 (рис. 8). Працює система активного шумоглушіння за описаним вище принципом.

Ефективність активної системи шумоглушіння може значно зменшуватись у моменти, коли різко змінюється частота обертання колінчастого вала двигуна, якщо активна система не встигатиме зреагувати на ці зміни.

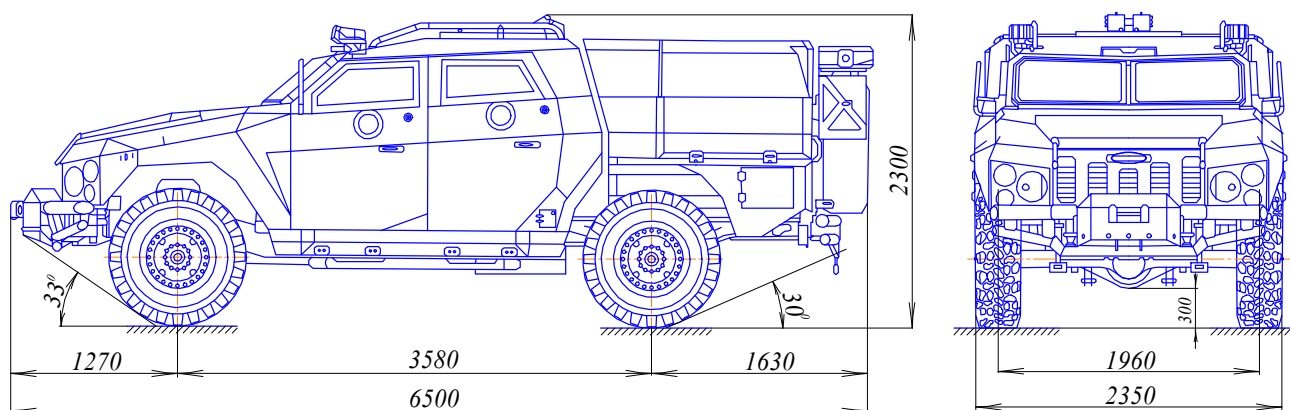


Рисунок 7 – Військовий автомобіль «Новатор»
Figure 7 – Military vehicle «Novator»

Таблиця 1 – Коротка тактико-технічна характеристика СБА «Новатор» [4, 5]
Table 1 – Brief tactical and technical characteristics of the SAV «Novator» [4, 5]

Шасі	Ford F-550
Тип кузова	пікап
Повна маса, кг	9 000
Колісна формула	4×4
Двигун	турбодизель Ford F8
Потужність, кВт (к.с.)	221 (300)
Максимальний крутний момент, Н·м	995
Трансмісія	механічна
Кількість передач	6
Максимальна швидкість, км/год	120
Запас ходу, км	700
Витрата палива (по шосе), л/100 км	30
Кількість місць (екіпаж + десант), осіб	5 (2 + 3)
Озброєння	кулемет КТ-7,62 мм або кулемет НСВ-12,7 мм; дистанційно керований бойовий модуль «Іва»

*Система активного шумоглушіння як засіб для зниження внутрішнього шуму СБА «Новатор»
Вдосконалення системи активного шумоглушіння*

Нами пропонується вдосконалення існуючої системи активного шумоглушіння шляхом включення до її складу активних резонаторних глушників шуму. Під поняттям «активні» мається на увазі, що останні змінюють свої резонансні частоти завдяки зворотному зв'язку з двигуном.

Знайдемо значення основних гармонік f_1 шуму відпрацьованих газів ДВЗ броневих автомобілів «Новатор» на різних швидкостях руху:

$$f_1 = \frac{ni}{60\tau},$$

де n – частота обертання колінчастого вала, хв^{-1} ; i – кількість циліндрів ДВЗ; τ – коефіцієнт тактності (для чотиритактних ДВЗ $\tau = 2$).

Як видно із табл. 2, в якій наведено результати розрахунків частот основних гармонік шуму відпрацьованих газів ДВЗ для різних швидкостей руху СБА «Новатор», у діапазоні швидкостей його руху 45–85 км/год частоти резонансу знаходяться в діапазоні від 60 Гц до 140 Гц.

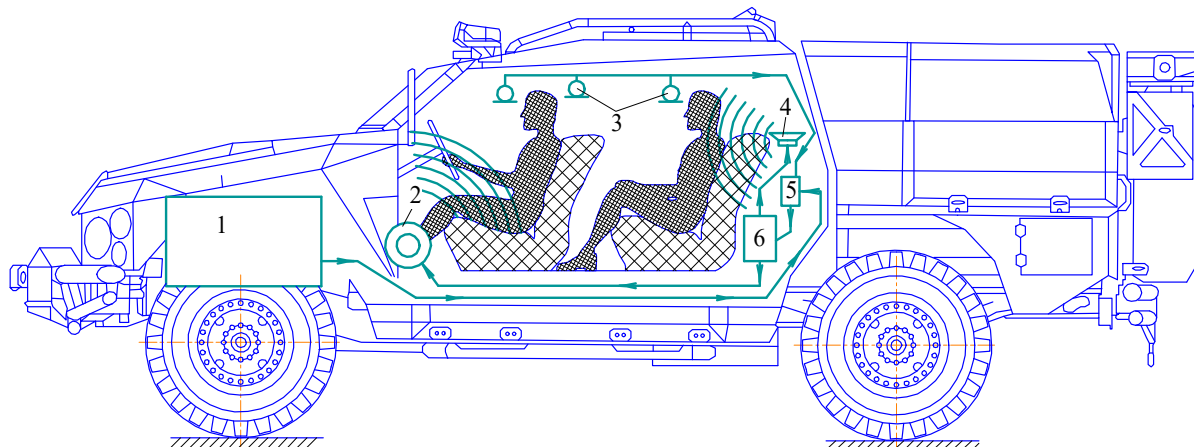


Рисунок 8 – Схема системи активного шумоглушіння як засіб зменшення шуму в салоні СБА «Новатор»: 1 – двигун внутрішнього згорання; 2 – динаміки у нижній частині передніх дверей; 3 – мікрофони; 4 – сабвуфер; 5 – електронний блок керування; 6 – аудіо система

Figure 8 – Scheme of the active noise cancellation system as a means of noise reduction in the interior of the SAV «Novator»: 1 – internal combustion engine; 2 – speakers in the lower part of the front door; 3 – microphones; 4 – subwoofer; 5 – electronic control unit; 6 – audio system

Таблиця 2 – Частоти основних гармонік шуму відпрацьованих газів ДВЗ для різних швидкостей руху СБА «Новатор»

Table 2 – Frequencies of the main harmonics of the exhaust gas noise of the internal combustion engine for different speeds of the SAV «Novator»

Швидкість руху, км/год	45	50	75	85
Частота основної гармоніки шуму відпрацьованих газів ДВЗ, Гц	60	65	130	140

Нами була зроблена пропозиція: для кожної гармоніки шуму відпрацьованих газів необхідно створити окремий активний резонаторний глушник шуму, який би «вів» свою гармоніку у всьому діапазоні швидкостей руху СБА «Новатор».

Кількість таких глушників відповідатиме кількості «енергетичних» гармонік, яку встановити можуть, як на нашу думку, лише експериментальні дослідження ДВЗ. Ми ж зробимо розрахунки для одного активного резонаторного глушника шуму для вже розрахованої першої гармоніки.

За великим рахунком необхідно розрахувати резонаторний глушник, який мав би нижчу частоту резонансу $f_n = 60$ Гц і вищу $f_s = 140$ Гц.

Перш за все нагадаємо будову резонаторного глушника шуму.

Резонаторні глушники (рис. 9) – це газові порожнини, сполучені з трубопроводом за допомогою отвору [1]. Ці глушники можуть бути конструктивно оформлені у вигляді одиничного або групи резонаторів. Вони застосовуються для придушення дискретних складових шуму.

Глушники резонаторного типу є елементарною коливальною системою із затуханням, яка, будучи збуджена звуковою хвилею, що падає на неї, відбирає від цієї хвилі акустичну енергію на частотах, близьких до власної частоти резонатора. Максимальне поглинання енергії для одиничного резонатора буде спостерігатися на резонансній частоті f_p .

Враховуючи конструктивні особливості СБА «Новатор», ми розробили активний резонаторний глушник таким чином. Резонаторну камеру було вирішено створити у формі паралелепіпеда з розмірами $150 \times 150 \times 50$ мм (рис. 10), горловину – у вигляді телескопічного стакану, висота якого, тобто довжина горловини, змінюється синхронно зі зміною частоти обертання колінчастого вала двигуна і це змінювання керується відповідними механізмами. Для зручності екіпажу автомобіля нами також було запропоновано горловину розмістити всередині резонаторної камери (це не змінює принцип роботи резонаторного глушника і впливає на об'єм камери не значно).

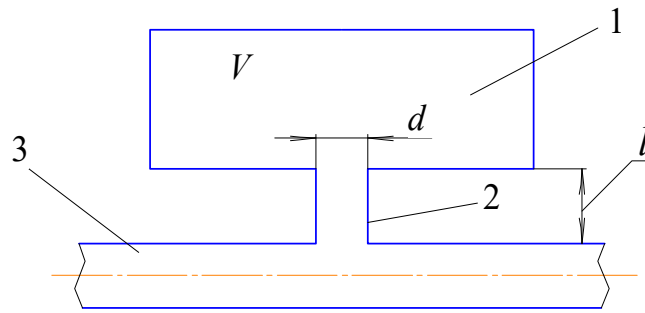


Рисунок 9 – Резонаторний глушник шуму: 1 – резонаторна камера об'ємом V ;

2 – горловина довжиною l та діаметром d ; 3 – трубопровід

Figure 9 – Resonator muffler: 1 – resonator chamber with volume V ;

2 – neck length l and diameter d ; 3 – pipeline

$$f_p = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{lV}} \quad (1)$$

де c – швидкість звуку в середовищі; $S = \frac{\pi d^2}{4}$ – площа перерізу горловини резонатора;

l – довжина горловини резонатора; V – об'єм резонаторної камери.

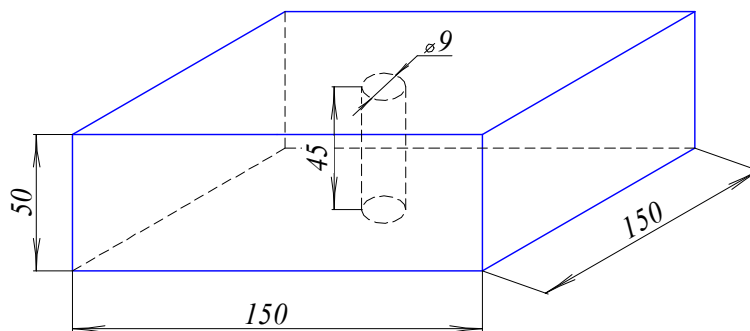


Рисунок 10 – Активний резонаторний глушник шуму з частотою резонансу $f_n = 60$ Гц

Figure 10 – Active resonator muffler with resonance frequency $f_n = 60$ Hz

Довжина горловини для нижчої частоти резонансу була обрана одразу ж $l_{60} = 45$ мм.

Для визначення діаметру горловини d_{60} ми скористались формулою (1), де практично були вже відомі всі параметри, окрім d_{60} (об'єм резонаторної камери $V = (150 \times 150 \times 50) \cdot 10^{-9} = 1,125 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, швидкість звуку приймаємо $c = 340 \text{ м/с}$):

$$d_{60} = \frac{4f_n}{c} \sqrt{\pi l_{60} V} \quad (2)$$

Підставивши числові значення у формулу (2), маємо:

$$d_{60} = \frac{4 \cdot 60}{340} \sqrt{\pi \cdot 45 \cdot 10^{-3} \cdot 1,125 \cdot 10^{-3}} \approx 9 \text{ мм}.$$

Цей же глушник може мати і частоту резонансу $f_e = 140$ Гц.

Діаметр горловини d_{140} для цього випадку вже відомий: $d_{60} \approx d_{140}$. Тепер треба знайти довжину горловини, використовуючи формулу (1):

$$l_{140} = \frac{d_{140}^2 \cdot c^2}{16\pi f_e^2 \cdot V}.$$

Фактом незначного коливання об'єму резонаторної порожнини глушника внаслідок зміни довжини телескопічної горловини можна знехтувати.

Тоді маємо:

$$l_{140} = \frac{(9 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 340^2}{16 \pi 140^2 \cdot 1,125 \cdot 10^{-3}} \approx 9 \text{ мм.}$$

Застосувавши розраховані активні резонаторні глушники шуму до існуючої системи активного шумоглушіння (рис. 8), ми отримаємо вдосконалену систему активного шумоглушіння (рис. 11).

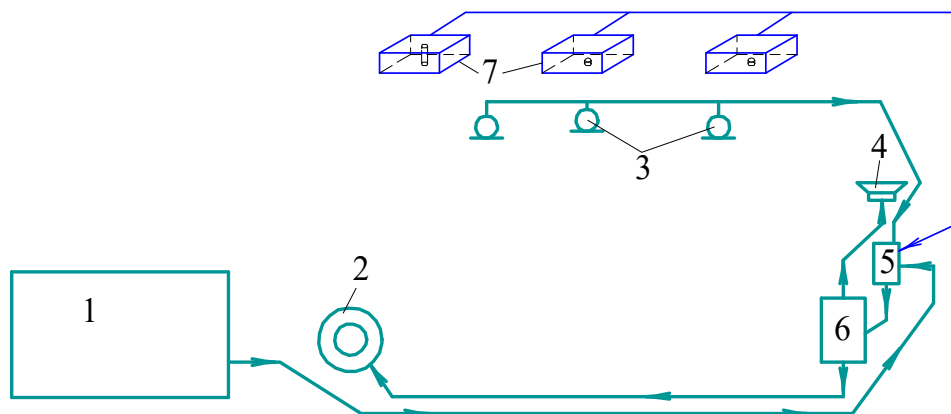


Рисунок 11 – Удосконалена система активного шумоглушіння як засіб зменшення шуму в салоні СБА «Новатор»: 1 – двигун внутрішнього згорання; 2 – динаміки у нижній частині передніх дверей; 3 – мікрофони; 4 – сабвуфер; 5 – електронний блок керування; 6 – аудіо система; 7 – запропоновані резонаторні глушники шуму

Figure 11 – An improved system of active noise cancellation as a means of noise reduction in the interior of the SAV «Novator»: 1 – internal combustion engine; 2 – speakers in the lower part of the front door; 3 – microphones; 4 – subwoofer; 5 – electronic control unit; 6 – audio system; 7 – proposed resonator mufflers

Прогнозована ефективність вдосконаленої системи активного шумоглушіння

На рис. 12 показана прогнозована залежність рівня внутрішнього шуму СБА «Новатор» від швидкості руху (у магістральному циклі на дорозі), на рис. 13 – прогнозована залежність зменшення рівня внутрішнього шуму СБА «Новатор» від швидкості руху (у магістральному циклі на дорозі) завдяки застосуванню системи активного шумоглушіння.

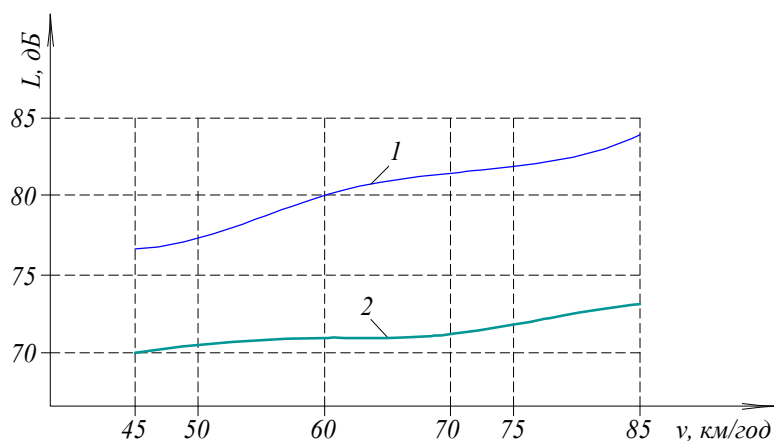


Рисунок 12 – Прогнозована залежність рівня внутрішнього шуму СБА «Новатор» від швидкості руху (у магістральному циклі на дорозі): 1 – існуючий рівень внутрішнього шуму; 2 – рівень внутрішнього шуму при застосуванні вдосконаленої системи активного шумоглушіння

Figure 12 – Predicted dependence of the internal noise level of the SAV «Novator» on the speed of movement (in the highway cycle on the road): 1 – existing level of internal noise; 2 – the level of internal noise when using the improved active noise cancellation system

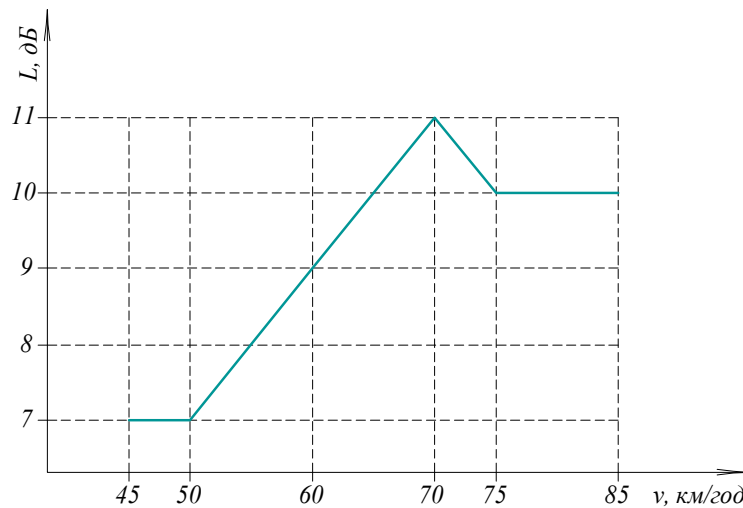


Рисунок 13 – Прогнозована залежність зменшення рівня внутрішнього шуму СБА «Новатор» від швидкості руху завдяки застосуванню вдосконаленої системи активного шумоглушіння (у магістральному циклі на дорозі в діапазоні швидкостей руху 45–85 км/год)

Figure 13 – Predicted dependence of the reduction of the internal noise level of the SAV «Novator» on the speed of movement due to the use of an improved system of active noise cancellation (in the highway cycle on the road in the range of speeds of 45–85 km/h)

Висновки.

Для зниження рівня внутрішнього шуму СБА «Новатор» запропоновано використати систему активного шумоглушіння. Запропоновано вдосконалення системи активного шумоглушіння шляхом застосування комплексу з активних резонаторних глушників шуму. В результаті впровадження вдосконаленої системи активного шумоглушіння прогнозується пониження рівня внутрішнього шуму СБА «Новатор» на 7–11 дБА в діапазоні швидкостей 45–85 км/год.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Федоров В.В. Акустика автомобіля. – К. : Вид-во «Принт», 2008. – 285 с.
2. Дідковський В.С. Основи архітектурної та фізіологічної акустики : навч. посібник / В.С. Дідковський, С.А. Луньова. – К. : Аван-постприм, 2001. – 424 с.
3. Система активного пригнічення зовнішніх шумів [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://hyundai.com.ua/node/2934>.
4. «Новатор» [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://autoconsulting.ua/article.php?sid=46685>.
5. «Новатор» [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://mil.in.ua/uk/broneavtomobil-novator-na-shasi-ford-f-550/>.

REFERENCES

1. Fedorov V.V. (2008). Akustyka avtomobilya [Car acoustics]. Kyiv. : Print, 285. [in Ukraine].
2. Didkovsky V.S., Luneva S.A. (2001). Osnovy arkhitekturnoyi ta fiziologichnoyi akustyky: Navch. posibnyk [Fundamentals of architectural and physiological acoustics: Textbook]. Kyiv. : Avan-postprim, 424. [in Ukraine].
3. Sistema aktivnogo prignichennya zovnishnih shumiv Retrieved from <https://hyundai.com.ua/node/2934>.
4. «Novator» Retrieved from <http://autoconsulting.ua/article.php?sid=46685>.
5. «Novator» Retrieved from <https://mil.in.ua/uk/broneavtomobil-novator-na-shasi-ford-f-550/>.

РЕФЕРАТ

Федоров В.В. Зменшення рівня внутрішнього шуму бронеавтомобіля «Новатор» / В.В. Федоров, Г.А. Філіпова // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

У статті запропоновано використання для зменшення рівня внутрішнього шуму військового автомобіля метода активного шумоглушіння.

Об'єкт дослідження – спеціалізований броневий автомобіль «Новатор» (СБА «Новатор»), який створений для підрозділів швидкого реагування і може використовуватися як автомобіль військової розвідки.

Мета дослідження – зменшення рівня внутрішнього шуму автомобіля військової розвідки завдяки застосуванню вдосконаленої системи активного шумоглушіння.

Метод дослідження – розрахунковий.

Однією із складових будь-якого сучасного війська є військові автомобілі, які виконують різноманітні функції, зокрема функції командно-штабних або розвідувальних. До таких військових автомобілів висуваються високі вимоги щодо рівня внутрішнього шуму, що диктуються не лише екологічними міркуваннями, а й необхідністю забезпечення розбірливості мови та захисту мовної інформації. У даній роботі розглядається застосування для броневий автомобіля «Новатор» метода активного шумоглушіння, суть якого полягає у створенні додатковим штучним керованим джерелом акустичних хвиль саме таких хвиль, які у необхідному місці простору, накладаючись на хвилі шуму, нейтралізують останні. Це можливе за умови, що штучно створені акустичні хвилі будуть тієї ж частоти й амплітуди, що і «шумові» акустичні хвилі, а у необхідному місці простору – ще й у протифазі останнім. Ураховуючи, що ефективність системи активного шумоглушіння може значно зменшуватись у моменти, коли різко змінюється частота обертання колінчастого вала двигуна, якщо активна система не встигатиме зреагувати на ці зміни, було прийнято рішення про вдосконалення останньої. Суть вдосконалення полягає у приєднанні до існуючої системи активного шумоглушіння набору активних резонаторних глушників шуму. Кожен з резонаторних глушників може змінювати свою резонансну частоту. Їх робота синхронізована з роботою двигуна внутрішнього згорання автомобіля. Кількість одиночних резонаторних глушників визначається експериментальним шляхом, виходячи зі спектру прогнозованого внутрішнього шуму. В результаті впровадження вдосконаленої системи активного шумоглушіння прогнозується пониження рівня внутрішнього шуму броневий автомобіля «Новатор» на 7–11 дБА в діапазоні швидкостей 45–85 км/год.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВІЙСЬКОВІ АВТОМОБІЛІ, «НОВАТОР», ВНУТРІШНІЙ ШУМ, ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ, АКТИВНИЙ МЕТОД ШУМОГЛУШІННЯ, РЕЗОНАТОРНИЙ ГЛУШНИК ШУМУ, РЕЗОНАНСНА ЧАСТОТА, ШВИДКІСТЬ РУХУ.

ABSTRACT

Fedorov, V.V., Filipova G.A. Internal noise level reduction of the armored vehicle «Novator». Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv : National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article proposes the use of the active noise cancellation method to reduce the internal noise level of a military vehicle.

The object of the study is the specialized armored vehicle «Novator» (SAV «Novator»), which was created for rapid response units and can be used as a military reconnaissance vehicle.

The purpose of the study is to reduce the internal noise level of a military reconnaissance vehicle through the use of an improved active noise cancellation system.

The research method is computational.

One of the components of any modern army are military vehicles that perform various functions, including command and staff or reconnaissance functions. Such military vehicles have high requirements regarding the level of internal noise, dictated not only by environmental considerations, but also by the need to ensure speech intelligibility and protection of speech information. This work examines the application of the active noise cancellation method for the «Novator» armored vehicle, the essence of which is to create an additional artificial controlled source of acoustic waves, precisely such waves, which, superimposed on the noise waves, will neutralize the latter in the necessary space. This is possible under condition that the artificially created acoustic waves are of the same frequency and amplitude as the «noise» acoustic waves, and in the necessary place of space – also in antiphase with the latter. Taking into account that the effectiveness of the active noise cancellation system can be significantly reduced at times when the frequency of rotation of the crankshaft of the engine changes sharply, if the active system does not have time to react to these changes, a decision was made to improve the latter. The essence of the improvement is to add a set of active resonator mufflers to the existing active noise cancellation system. Each of the resonator mufflers can change its resonance frequency. Their work is synchronized with the work of the vehicle's internal combustion engine. The number of single resonator mufflers is determined experimentally, based on

the spectrum of the predicted internal noise. As a result of the introduction of the improved active noise cancellation system, it is predicted that the internal noise level of the «Novator» armored vehicle will decrease by 7–11 dBA in the speed range of 45–85 km/h.

KEY WORDS: MILITARY VEHICLES, «NOVATOR», INTERNAL NOISE, INTERNAL COMBUSTION ENGINE, ACTIVE NOISE CANCELLATION METHOD, RESONATOR MUFFLER, RESONANT FREQUENCY, SPEED OF MOVEMENT.

АВТОРИ:

Федоров Володимир Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри автомобілів, e-mail: fedorov.volodymyr@gmail.com, тел.: +380996807430, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 306, orcid.org/0000-0002-1085-5112.

Філіпова Галина Андріївна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри автомобілів, e-mail: galina_gaj@ukr.net, тел.: +380954631565, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 306, orcid.org/0000-0003-3427-7633.

AUTHORS:

Fedorov Volodymyr Viktorovych, Candidate of Science (Engineering), National Transport University, Associate Professor of Department of Automobiles, e-mail: fedorov.volodymyr@gmail.com, tel. +380678300680, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka, 1, of. 306, orcid.org/0000-0002-1085-5112.

Filipova Galyna Andriivna, Candidate of Science (Engineering), National Transport University, Professor of Department of Automobiles, e-mail: galina_gaj@ukr.net, tel. +380954631565, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka, 1, of. 306, orcid.org/0000-0003-3427-7633.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Сахно В.П., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

Симоненко Р.В., доктор технічних наук, заступник начальника центру наукових досліджень комплексних транспортних проблем ДП «ДержавтотрансНДІпроект», Київ, Україна.

REVIEWERS:

Sakhno V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of Department of Automobiles, Kyiv, Ukraine.

Symonenko R.V., Doctor of Technical Sciences, Deputy Head of the Centre for Complex Transport Aspects, the State Road Transport Research Institute, Kyiv, Ukraine.

ПРИНЦИПИ ТА МЕТОДИ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОРЕСУРСНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ І ПОСЛУГ В ЇХ ЖИТТЄВИХ ЦИКЛАХ

Хабутдінов Р.А., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, habutd1@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1329-5739

PRINCIPLES AND METHODS OF CONCEPTUAL IMPROVEMENT OF ENERGY-RESOURCE EFFICIENCY OF MOTOR TRANSPORT VEHICLES AND SERVICES IN THEIR LIFE CYCLES

Khabutdinov R.A., doctor of engineering sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, habutd1@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1329-5739

Актуальність. Науково-практична проблема концептуального управління технічно-еволюційним і технологічно-сталим розвитком автотранспорту (АТ) може бути вирішена на основі техно-економічної концепції високо-технологічного відтворення автотранспортних послуг (ВТВАП) у взаємозв'язку з етапно-модернізаційною реалізацією технологічно-інтенсивної та ресурсно-ефективної мікроекономіки автотранспортних підприємств (ТІРЕМАП) [1,3]. Така концепція базується на ідеї методологічного забезпечення експлуатаційно-технологічного енерго-і ресурсозбереження у автотранспортних процесах з урахуванням принципу сполучення знань про етапи життєвих циклів автомобіля (ЖЦА) і відтворення автотранспортних послуг (ЖЦВАП) [2]. Це дозволить, по-перше, на етапі ринкового обігу ЖЦА формувати концептуально-ефективний попит перевізників на стратегічно-необхідні споживчі властивості нових автомобілів як на ресурсно-технічні та технологічно-виробничі засоби автомобільних перевезень. По-друге, на етапі експлуатації технічних ресурсів в ЖЦВАП – в майбутньому отримати високо-технологічний додатковий продукт у кожному процесі автомобільного перевезення, що є матеріально-виробничою основою формування ТІРЕМАП. По-третє, – забезпечуються концептуально-технологічні компетенції майбутніх перевізників при їх навчанні за спеціальністю 275 «Транспортні технології на автомобільному транспорті».

Для реалізації техно-економічної концепції ВТВАП-ТІРЕМАП потрібне використання нової транспортно-виробничої і технологічно-інноваційної (ТВТІ) парадигми знань про автотранспорт як сферу матеріально-парадоксального виробництва і модернізаційного відтворення автотранспортних послуг. Існуюча спрощена, сервісно-комерційна і нетехнологічна (ССКН) парадигма знань про транспорт як сферу техно-емпіричного транспортного обслуговування була вперше прийнята економістами залізничного транспорту у кінці 19 сторіччя. Пізніше спеціалісти автотранспорту на основі спрощеної ССКН-парадигми знань і теоретичної схеми віртуального транспортування предметів в нематеріальному середовищі розробили методи економічного і організаційного аналізу процесів автомобільної доставки вантажів і пасажирів рухомим складом [4,5]. Вчені залізничного транспорту, крім того, вперше розробили теорію локомотиву, на основі якої акад. Чудаков Е.А. у 50-х роках 20-го сторіччя запропонував теорію автомобіля [6]. Велика кількість подальших досліджень в напрямку теорії автомобіля була направлена на вдосконалення методів передпроектного аналізу конструктивно-технічних властивостей нових автотранспортних засобів. Ці методи широко використовуються на першому етапі ЖЦА-промислового створення автомобілів. На другому етапі ЖЦА здійснюється обіг нових автомобілів як складних науково-технічних товарів. Цей етап ЖЦА співпадає з першим етапом ЖЦВАП- ринкового забезпечення автотранспортного виробництва новими технічними ресурсами (автомобілями). Останні в автомобільних перевезеннях використовуються як багатофункціональні ресурсно-технічні та технологічні засоби для: транспортного труда, адаптивного транспортування предметів у конфліктному середовищі, ресурсоперетворювального і конфліктно-безаварійного створення автотранспортних послуг та їх споживання, а також для їх технічно-еволюційного відтворення.

Але на першому етапі ЖЦВАП (на ринку автомобілів) перевізники-покупці формують неконцептуальний і неефективний попит на спрощений рухомий склад, а не на концептуально-потрібний носій технічних ресурсів. Такий попит обумовлений тим, що вони використовують спрощену ССКН-парадигму знань, а також методи економічного і організаційного аналізу моделей нематеріальних процесів автомобільної доставки вантажів і пасажирів рухомим складом (фактично-

віртуально-мобільним кузовом) [4]. Крім того, в методах економічного і організаційного аналізів автотранспортного процесу прийняті декілька принципових аксіом нехтування властивостями натуральних автомобільних перевезень: їх матеріально-виробничої сутності, техніко-технологічної і енергоресурсної причинності, їх техніко-технологічної модернізації, а також технологічно-інноваційного відтворення автотранспортних послуг.

Далі, в цих методах не враховуються важливі експлуатаційно-технологічні особливості автомобільних перевезень: а) залучення в автотранспортні операції багатофункціональних технічних ресурсів автотранспорту (АТ)- але не спрощеного рухомого складу; б) висока енерго-і ресурсоемність автотранспортних послуг при відносно високому рівні їх аварійності; в) широкий діапазон змінних конструктивно-технічних характеристик АТЗ на світовому ринку автомобілів при високої динаміці змін їх параметрів; г) різноманіття станів дорожньо-трафікових і термінальних факторів транспортно-технологічної експлуатації АТЗ, що ускладнює методи управління розвитком ресурсно-технологічної бази і транспортних процесів АТ; д) недосконалість структур ресурсно-технічної та технологічної бази на АТ та низькі рівні енерготехнологічної ефективності автотранспортних процесів; е) фрагментарність і суперечливість видів знань (фізичних, технічних, організаційних, технологічних і економічних) про автомобільні перевезення із-за неврахування вищезазначених особливостей і технологічної парадоксальності автотранспортного процесу.

Основна частина. На основі існуючих технологічно недосконалих методів спеціалісти автотранспорту не можуть вирішити перспективне-актуальну проблему концептуального управління технічно-еволюційним і технологічно-сталим розвитком автотранспорту згідно системного призначення останнього і принципу ЖЦВАП. В автотранспортній системі (АВТС) автомобільний транспорт (АТ) має три призначення: а) як ринкова корпорація перевізників і автовласників для технологічно-парадоксального матеріального виробництва автотранспортних послуг та їх технологічно-інноваційного відтворення згідно етапів реалізації науково-технічного прогресу на АТ; б) як активно-транспортуюча підсистема АВТС, що реалізує автомобільні перевезення в інфраструктурних траєкторіях АВТС для транспортно-енергетичного перетворення (шляхом перевезень) потенційних ресурсів економіко-соціальної макросистеми (ЕСМ) країни в реальні, згідно попиту її суб'єктів; в) як сфера транспортного обслуговування і самообслуговування суб'єктів ЕСМ.

Завдяки якісній реалізації своїх призначень АТ є важливим компонентом АВТС і системоформуючим фактором для ЕСМ країни. В рамках механізмів матеріальної взаємодії технічних ресурсів АТ з двома інфраструктурними підсистемами АВТС (термінальною і дорожньо-трафіковою) реалізуються **технологічні процеси автомобільних перевезень** (ТПАП). В останніх, шляхом використання двох груп властивостей технічних ресурсів (конструктивно-технічних [6] і ресурсно-технічних [1,3]), реалізується базисна і екзистенційна функція ФА1- транспортно-технологічного виробництва на АТ. Вона є матеріальною основою для здійснення інших функцій АТ: ФА2-автотранспортного сервісу, ФА3- автотранспортного капіталообігу, ФА4-ринкового ресурсозабезпечення ФА1 (технічні, енергетичні і трудові ресурси; запасні частини і експлуатаційні матеріали), ФА5-технологічно-інноваційного відтворення автотранспортних послуг, ФА6-автосервісу і ремонту для підтримки технічного стану автомобілів. В наслідок транспортно-технологічної недостатності методів економіки і організації перевезень [4,5] перевізники, не враховують такі важливі функції АТ як: ФА1, ФА3.1 і ФА4.1 (тобто -технологічні схеми капіталооберту і ринкового ресурсозабезпечення), а також функцію технологічно-інноваційного розвитку ФА5.

Таким чином, по-перше, виявлено, що в існуючих методах аналізу третього етапу ЖЦА, тобто- транспортно-організаційної [4] та технічної [8] експлуатації рухомого складу відображено тільки третє –допоміжне призначення АТ як сфери автотранспортного обслуговування суб'єктів країни з урахуванням потреб в технічному автосервісі на АТ. При цьому, відсутні методи аналізу технологічно-сталого розвитку таких принципово-важливих функцій АТ як: ФА1, ФА3.1, ФА4.1 і ФА5. По-друге, на третьому етапі ЖЦА відсутні методи декомпозиційного аналізу автомобільно-транспортної технології та її концептуально-композиційного синтезу для можливості переходу на АТ від тактичних проєктів низько-технологічного відтворення автотранспортних послуг до їх високо-технологічного відтворення у часі згідно техно-економічної концепції розвитку ВТВАП-ТІРЕМАП. По-третє, на першому етапі ЖЦА (передпроектний аналіз АТЗ) при обґрунтуванні конструктивно-технічних властивостей автомобіля [6] не розглядаються питання концептуальної придатності проєктованих автомобілів до їх майбутньої транспортно-технологічної експлуатації як багатофункціональних технічних ресурсів АТ згідно вищезгаданої концепції розвитку ВТВАП-ТІРЕМАП на АТ.

Крім того, в існуючій методології економічного і організаційного аналізу експлуатації рухомого складу АТ в ЖЦА відсутні транспортно-технологічні аспекти її гносеологічного потенціалу щодо автотранспортної: дискриптивності, достовірності, співставленості, пояснювальності, аналітичності моделей. Із-за неврахування негативного впливу технологічних парадоксів АТ види знань про натуральні автомобільні перевезення (фізичні, технічні, організаційні, технологічні та економічні) є фрагментарними і суперечливими [4]. Ці розриви обумовлюють неможливість формалізації причинно-наслідкових механізмів як на автотранспорті, так і в АВТС. Далі, в теорії та практиці організації автомобільних перевезень поступово сформувалися прості, немодернізаційні, господарче-комфортні методи повзучого техніко-технологічного емпіризму [4]. Тому неможливе концептуальне-цільове управління сталим розвитком АТ як сферою технологічно парадоксального матеріального виробництва та інноваційного відтворення автотранспортних послуг. У зв'язку з викладеним представлені основи управління технологічно-сталім розвитком на автотранспорті виходячи з важливих принципів: а) експлуатаційно-технологічного енерго-і ресурсозбереження; б) виробничо-енергологічної формалізації знань про ТПАП і етапи ЖЦВАП; в) врахування експлуатаційно-технологічних умов автомобільних перевезень; г) енергологічної інтеграції та гармонізації знань про технологічно-інноваційні процеси автомобільних перевезень (ТПАП). В структуру ЖЦВАП входять три етапи: а) ринкового ресурсо-забезпечення функції ФА1-транспортно-технологічного виробництва на АТ; б) транспортно-технологічної експлуатації багатофункціональних технічних ресурсів (автомобілів); в) післяексплуатаційного обґрунтування нових автомобілів як складних товарів, а також як ресурсно-технічних і технологічних засобів інноваційного відтворення автотранспортних послуг. Для забезпечення концептуального управління технологічно-сталім розвитком на АТ необхідна актуалізація моделі стратегічно-функціональної структури автотранспортних підприємств (АТП) $S_{сф}$:

$$S_{сф} \in (ТКУНА, РТТБ, ТПАП), \quad (1)$$

де: ТКУНА – технологічно-компетентні управління АТП; РТТБ – ресурсно-технічний і технологічний базис АТП (технічні, трудові та енергетичні ресурси, а також методи удосконалення автомобільно-транспортної технології); ТПАП – технологічні процеси автомобільних перевезень.

Для забезпечення високо-технологічного відтворення автотранспортних послуг до елементів РТТБ висуваються такі вимоги: а) придбані автомобілі як ресурсно-технічні та технологічні засоби (АРТТЗ) транспортного виробництва в ТПАП повинні бути: транспортно-продуктивними, високо-технічними, транспортно-енергоєфективними, а також малотоксичними; б) забезпечення підвищення енерготехнологічної ефективності автотранспортних операцій; в) забезпечення підвищення енергоресурсної ефективності інноваційних проектів ТПАП.

Для аналізу конструктивно-технічних і товарно-технічних інновацій на АТ вирішена задача **експлуатаційної ідентифікації нових АТЗ**, яка реалізується на основі моделі модульної структурно-параметричної організації технічних ресурсів АТ (МСПОТРА) та її множини K_{jr} . Для аналізу конструктивно-технічних (NVKT) і товарно-технічних новацій (NVGT) на першому етапі ЖЦВАП ця множина має такий вигляд [1,9]:

$$K_{jr}^N(t) \in (x_{imp}^N, y_{iml}^N)_{jr}, \quad t=t_1, t_2, t_3 \dots t_n, \quad (2)$$

де – x_{imp}^N оновлена підмножина p -их параметрів m -го конструктивно-функціонального модуля в i -му пристрої МСПОТРА; N – верхній індекс ознаки інноваційності МСПОТРА; y_{iml}^N – оновлена підмножина l -их характеристик структури m -го конструктивно-функціонального модуля i -го пристрою МСПОТРА, ($i = 1, 2, 3, 4$), ($m = 1, 2, 3, 4$), ($l=l_1, l_2, l_3 \dots$); j – індекс класу рухомого складу ($j = 1, n_k$), де n_k – кількість класів автомобіля; r – індекс різновидів автомобіля в j -му класі ($r = 1, n_b$, де n_b – число варіантів автомобілів з реалізованими технічними новаціями); t – змінні періоди інновацій.

Далі представлені деякі методи, які базуються на положеннях теорії управління [7], а також на комплексній теорії енергоресурсної ефективності транспортно-технологічної експлуатації автомобілів і процесів інноваційного відтворення автотранспортних послуг [1,3,9]. Замість «чорно-ящикової» моделі [4] використовується модель багатофазної автотранспортної операції (АО), що реалізуються в умовах дорожньо-трафікового руху АРТТЗ. До елементів АО відносяться такі режими керованого і адаптивно-дискретного переміщення АРТТЗ, як: розгін, усталений рух, накат, гальмування. В рамках АО керований АРТТЗ забезпечує адаптивне формування трьох її фізико-технічних механізмів (ФТМ АО): а) автомобільно-дорожньої взаємодії – ФТМ1 АО; б) трафіко-

інтерактивної мобільності- ФТМ2 АО; в) адаптивно-енерговитратного транспортування предметів- ФТМ3 АО. В результаті такого функціонування АТЗ, як АРТТЗ АП, значно підвищуються рівні енергоємності АО (в 2...4 рази) при суттєвому зниженні транспортної продуктивності АТЗ. Тобто, в умовах адаптивного руху АТЗ в дорожньому трафіку, реалізується негативне явище експлуатаційної анергічності технічних ресурсів АТ, яке не враховується в існуючих теоріях, які використовуються на різних етапах ЖЦА [6,5,4,8].

Для виявлення феноменологічних і онтологічних закономірностей керованого функціонування АРТТЗ у взаємозв'язку з формуванням трьох ФТМ АО (ФТМ1, ФТМ2, ФТМ3) необхідна універсальна модель його дорожньо-трафікового руху. Така модель отримана на основі розв'язку системи рівнянь руху модульно-узагальненого АТЗ (як МСПОТРА) з урахуванням закономірностей взаємодії його багатоколісного рушія з поверхнею кочення [6]. Як основа прийняте рівняння зміни кінетичної енергії АТЗ модульно-узагальненого типу, який експлуатаційне ідентифікується як варіативна модель структурно-параметричної організації технічних ресурсів АТ (МСПОТРА):

$$d\left(G_{jr} * \delta_{jr} * \frac{v^2}{2}\right)/dt = \sum_{k=1}^{na} \sum_{i=1}^{nkz} \sum_{z=1}^{nsg} (M_{kzi} * \omega_{kzi} - N_{fkzi}) - \sum_{k=1}^{na} N_{ofk} - \sum_{m=1}^m N_{fm} - N_h - N_w, \quad (3)$$

де G_{jr} – експлуатаційна маса АРТТЗ; δ_{jr} – коефіцієнт збільшення кінетичної енергії АТЗ (від обертових мас); N_{fkzi} – потужність сил опору коченню kzi -го колісного тягового модуля (КТМ); N_{ofk} – потужність сил опору коченню ведених коліс k -го активного перевізного модуля (АПМ); N_{fm} – потужність сил опору коченню коліс m -го пасивного перевізного модуля (ППМ); N_h і N_w – потужність сил опору підйому дороги і повітряного середовища; ω_{kzi} – кутова швидкість коліс КТМ.

Кожний kzi -й КТМ, з одного боку, працює як приймач потоку внутрішньої енергії $N_{kzi} = M_{kz} * \omega_{kzi} * \Delta t$, а з іншого боку, він є джерелом зовнішньої сили тяги, що формується на основі балансу активних і пасивних сил, що діють у зонах контактів ведучих пневмоколіс колісно-тягових модулів (КТМ) з дорогою. З урахуванням закономірностей кочення еластичних коліс [6] у рамках заданої схеми МСПОТРА ($k=1, n_{ap}, m=1, n_{pp}, i=1, n_{tkz}, z=1, n_{xvk}$) складена система рівнянь руху АТЗ модульно-узагальненого типу.

Важливими елементами моделі автотранспортно-операційного і дорожньо-трафікового функціонування АРТТЗ є розрахункові схеми транспортно-технологічної та енергоєквівалентної операцій, в яких закладена теоретична схема енерго-дисипативного транспортування предметів перевезень в конфліктному середовищі з використанням властивостей АРТТЗ для автомобільних перевезень. В технологічній розрахунковій схемі автотранспортної операції враховуються конструктивно-технічні та ресурсно-технічні властивості АТЗ, на основі реалізації яких формуються: а) важливі компоненти автотранспортної технології (АТТ): трудо-машинні процедури Π_{tm} і продуктотвірні процеси ETRW-енергетичного перетворення технологічних ресурсів (в фізичний продукт АТ- W_{ϕ} [1,3,9]; б) технологічний спосіб інфраструктурно-інтерактивного залучення АРТТЗ в фізико-технічні механізми автотранспортної операції з урахуванням зміни варіантів МСПОТРА та процедурного забезпечення якісно-операційного функціонування експлуатаційно-технологічних ресурсів АТ (машинна сукупність окремих носіїв технічних, енергетичних і трудових ресурсів АТ, а також предметів перевезення- це є навантажений і руховий автомобіль). Енергоєквівалентна модель автотранспортної операції дозволяє, по-перше, інтегрувати знання про три розрахункові схеми: сталого руху АТЗ (теорія автомобіля), транспозиційної операції (з теорії організації автомобільних перевезень) і транспортно-технологічної операції (з теорії технологічних процесів автомобільних перевезень); по-друге, забезпечує інтеграцію та гармонізацію парадоксально-фрагментарних знань про модернізаційні проекти автомобільних перевезень [3].

Математичні моделі показників взаємодії АРТТЗ модульно-узагальненого типу згідно наданого варіанту МСПОТРА з траєкторними елементами дорожньо-трафікової інфраструктури мають наступний вигляд:

$$Q_{jr} = \sum_{k=1}^{na} q_k + \sum_{m=1}^m q_m, \quad G_{jr} = \sum_{k=1}^{na} q_k * (\eta_k + \gamma_k) + \sum_{m=1}^m q_m * (\eta_m + \gamma_m), \quad (4)$$

$$G_{\phi jr} = \sum_{k=1}^{na} \sum_{i=1}^{nkz} \sum_{z=1}^{nsg} (G_{kzi}), \quad P_{\phi j} = \sum_{k=1}^{na} \sum_{i=1}^{nkz} \sum_{z=1}^{nsg} (M_{kzi}/r_{kzi}), \quad (5)$$

$$P_{\varphi j} = \sum_{k=1}^{n_{k1}} \sum_{i=1}^{n_{kz}} \sum_{z=1}^{n_{k6}} (\varphi_{kzi} * G_{kzi}), \quad M_{kzi} = (a1_{kzi} + a2_{kzi} * M_k), \quad (6)$$

$$\omega_{kzi} * (a3_{kzi} + a4_{kzi} * M_{kzi}) \rightarrow idem, \quad (7)$$

$$G_{kzi} = ((1 - \gamma_k) * G_{0kz} + \gamma_k * G1_{kzi}) / n_{kz} \rightarrow idem, \quad (8)$$

де Q_{jr} , G_{jr} , $G_{\varphi jr}$, P_{tj} , $P_{\varphi j}$ – значення: вантажопідйомності (пасажиромісткості) АТЗ модульно-узагальненого типу, його експлуатаційної маси, його зчіпної маси, його сили тяги (від двигуна) та його зчіпної сили тяги відповідно; q_k і q_m – вантажопідйомності активного (АПМ) і пасивного (ППМ) перевізних модулів; η_k і η_m – коефіцієнти спорядженої маси АПМ і ППМ; γ_k і γ_m – коефіцієнти використання вантажопідйомності АПМ і ППМ; n_a і n_n – кількість АПМ і ППМ у структурі АТЗ (як МСПОТРА); $n_{\text{вс}}$ – кількість ведучих ходових модулів у к-му АПМ; n_{kz} – число КТМ у АПМ; G_{kzi} , M_{kzi} , ω_{kzi} та Γ_{kz} – зчіпна маса, обертаючий момент, кутова швидкість та радіус і-тої ведучої вісі у kz -му КТМ; φ_{kzi} – коефіцієнт зчеплення коліс і-тої ведучої вісі КТМ із поверхнею кочення; $a1_{kzi}$ і $a2_{kzi}$ – параметри, що залежать від характеристик структури і параметрів модулів ЕППА; M_k – обертаючий момент двигуна к-го АПМ; $a3_{kzi}$ і $a4_{kzi}$ – параметри, що залежать від характеристик структури і параметрів елементів kz -х КТМ та і-тих ведучих вісей КТМ; G_{0kz} і $G1_{kzi}$ – маси, що припадають на і-ті вісі у kz -му КТМ у станах порожнього і повністю навантаженого АТЗ.

На основі закономірностей (4)...(8) вирішені диференціальні рівняння керованого руху АРТТЗ модульно-узагальненого типу (3) з урахуванням фізико-технічних механізмів натуральної автотранспортної операції (механізми взаємодії, мобільності та енерговитратного транспортування).

В результаті, одержана універсальна модель адаптивно керованої швидкості модульно-узагальненого АРТТЗ $-V(K_{jr}, t, u)$ у функції варіанту МСПОТРА K_{jr} , часу t , множини параметрів управління АТЗ -у (двигуном- u_1 , коробкою передач- u_2 , гальмами АРТТЗ- u_3):

$$V(t, u) = [V_0(u_v) + \dot{A}_1(K_{jr}, u_v)] * \exp(\dot{A}_2(K_{jr}, u) * t) - \dot{A}_1(K_{jr}, u_v), \quad (9)$$

$$t \in (t_0, t_0 + \Delta t), \quad V \in (V_0, V_0 \pm \Delta V), \quad l \in (l_0, l_0 + \Delta l),$$

де $V_0(u_v)$ – початкова постійна швидкість АТЗ в операції; $A_1(u)$ і $A_2(u)$ – параметри моделі швидкості АТЗ; Δt , Δl і ΔV – величини збільшення часу, пробігу АТЗ, а також зміни його швидкості ($\pm \Delta V$) в операції; $u \in (u_1, u_2, u_3)$; t – час операції; K_{jr} – множина характеристик АТЗ (як МСПОТРА).

Отримано аналітичні залежності для визначення величин параметрів $A_1(u)$ і $A_2(u)$ для аналізованих фаз руху АРТТЗ варіанту K_{jr} . Крім того, параметри $A_1(u)$ $A_2(u)$ залежать від станів множин транспортно-експлуатаційних M_{te} і дорожніх D факторів. На основі (8) розроблені експлуатаційні моделі різноманітних режимів руху АТЗ: із постійною швидкістю, розгонів, гальмувань і накатів. Єдність у їхній математичній інтерпретації забезпечує зручність формування моделей багатofазних тестових циклів за даними умовами узгодження характеристик кінематики, динаміки та енергетики адаптивно-дискретного руху АТЗ і параметрів технології автотранспортної операції. Зіставлення результатів різноманітних розрахунків на ЕОМ, що проводилися для різних варіантів СПОКА АТЗ і ряду типів поверхонь кочення, з експериментальними даними показали достатню для інженерних розрахунків точність цих моделей.

Для режимів V_c сталого руху АТЗ отримано:

$$l_v = V_c * T_v, \quad V_c = \text{const}, \quad E_v = l_v * (B_0 + B_1 * V_c + B_2 * V_c^2), \quad (10)$$

$$Q_v = T_v * (B_3 + B_4 * V_c + B_5 * V_c^2 + B_6 * V_c^3 + B_7 * V_c^4 + B_8 * V_c^5), \quad (11)$$

де l_v , E_v і Q_v – значення пробігу, енерговитрат і витрати палива АТЗ при його сталому русі; $B_0, B_1, \dots, B_8$ – параметри, що залежать від стану множин K_{jr} (конструкції АТЗ), D (дорога), M_{te} (транспортно-експлуатаційних) параметрів управління двигуном u_1 , трансмісією u_2 і гальмами u_3 .

Для режимів несталого руху маємо:

$$Tl(\Delta V, u) = [\ln A_1(u) + V_0(u) + \Delta V - \ln(A_1(u) + V_0(u))] / A_2(u), \quad (12)$$

$$l_i = A_1(K, \ddot{A}, V_c, u) * T_i + \Delta V / A_2(K, \ddot{A}, V_c, u), \quad (13)$$

$$E_i = B_9 * \Delta V + B_{10} * \Delta V^2 + B_{11} * \Delta V^3 + T_i(B_{12} + B_{13} * \Delta V + B_{14} * \Delta V^2), \quad (14)$$

$$Q_n = B_{16} * \Delta V + B_{17} * \Delta V^2 + B_{18} * \Delta V^3 + T_i(B_{15} + B_{19} * \Delta V + B_{20} * \Delta V^2 + B_{21} * \Delta V^3), \quad (15)$$

де A_1 і A_2 – параметри рівняння швидкості руху АТЗ (4.8); $T_n(\Delta V, u)$ – час змінення керованої швидкості руху АТЗ в залежності від величини приросту (або зниження) ΔV ; $B_9 \dots B_{21}$ – параметри, що залежать від стану множин: K_{jr} (моделі АТЗ як МСПОТРА), D (дорога), M_{te} (транспортно-експлуатаційні характеристики), а також від- параметрів управління двигуном u_1 , трансмісією u_2 і гальмами u_3 , початкової швидкості V_0 ; $l_n, \Delta V, T_n, E_n$ і Q_n – характеристики дискретної кінематики та енергетики несталого керованого руху АТЗ: пробігу, приросту (або зменшення) швидкості АТЗ, часу зміни швидкості АТЗ, енерговитрат і витрати палива відповідно.

Рівняння (9)...(15) дозволяють формувати тестову модель узагальненої автотранспортної операції (АО) з гнучкою режимно-фазовою структурою, що забезпечує врахування закономірностей феноменологічного і онтологічного функціонування модульно-модернізаційного АТЗ у рамках трьох фізико-технічних механізмів АО (ФТМ АО), а також можливість адаптувати цю модель до локально-наданих станів дорожньо-трафікової інфраструктури АВТС. Таки особливості моделей (9)...(15) дозволяють забезпечувати вимоги їх транспортно-технологічної достовірності стосовно трьох аспектів пізнавального потенціалу запропонованої теорії автотранспортної технології: феноменологічного, онтологічного і гносеологічного. Параметри тестової операції визначаються таким чином:

$$t_{\Pi} = \sum_1^{n_{\delta c}} t_{v^3} + \sum_1^{n_{\delta i}} t_{f^3}, \quad (16)$$

$$l_{\Pi} = \sum_1^{n_{\delta c}} l_{v^3} + \sum_1^{n_{\delta i}} l_{f^3}, \quad (17)$$

$$A_{\Pi} = \sum_1^{n_{\delta c}} E_{v^3} + \sum_1^{n_{\delta i}} E_{f^3}, \quad (18)$$

$$Q_{\Pi} = \sum_1^{n_{\delta c}} Q_{v^3} + \sum_1^{n_{\delta i}} Q_{f^3}, \quad (19)$$

де: $t_{оп}$, $l_{оп}$, $E_{оп}$, $Q_{оп}$ – величини часу, пробігу АТЗ, енерговитрат, витрат палива в тестовій операції, відповідно; $n_{\phi c}$ і $n_{\phi n}$ – кількості фаз сталого і несталого руху АТЗ в тестовій операції.

Важливі для управління інтенсивним розвитком автомобільно-транспортної технології показники енерговіддачі та ресурсовіддачі АТЗ в тестовій операції визначаються як:

$$\rho_E = \frac{W_{\hat{a}i}}{E_A} \rightarrow \max, \quad \rho_R = \frac{W_{\hat{a}i}}{Q(R_{TX})} \rightarrow \max, \quad (20)$$

де E_A і $Q(R_{TX})$ – значення сумарних енерговитрат і втрачених виробничих ресурсів в тестових транспортних операціях для заданих умов перевезень з урахуванням механізмів: взаємодії АРТТЗ з дорогою, технологічного транспортування і транспортного виробництва.

На основі методу тестово-симулятивного і еталонно-порівнювального аналізу функціонування АРТТЗ [3,9] визначається безрозмірний показник транспортної енергоефективності нових (також ненових) АТЗ j -го виду $\Pi_{e(jr)}$:

$$\dot{I}_{E(jr)} = \rho_E(K_{jr}) / \rho_{ET} \rightarrow \max, \quad (21)$$

де ρ_E та ρ_{ET} – показники тестової енерговіддачі АРТТЗ та його еталонного прототипу.

На основі (22) розроблено дві математичні моделі для експлуатаційного і транспортно-технологічного аналізу показника Π_E у двох формах:

$$\dot{I}_{E1}(t) = K_{v\delta}(t) * \gamma_{\Pi\delta} / (K_{\hat{a}\delta}(t) * (\eta_q(t) + \gamma_{\Pi\delta})) \rightarrow \max, \quad (22)$$

$$\dot{I}_{E2}(t) = K_{\hat{a}\hat{a}i}(t) * K_{\hat{a}\delta i}(t) * K_{\hat{a}\hat{a}\hat{a}}(t) \rightarrow \max, \quad (23)$$

де γ_{ct} – коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності АТЗ; η_q – коефіцієнт спорядженої маси АТЗ. K_{ep} – паливний коефіцієнт пробігу АТЗ на розрахунковому маршруті; Π_{E1} – транспортно-експлуатаційна енергоефективність АТЗ; Π_{E2} – мультиплікативна функція транспортної енергоефективності АТЗ при аналізі принципу транспортно-технологічного синергізму на автотранспорті; $K_{вем}$, $K_{вмн}$ і $K_{вев}$ – коефіцієнти: використання експлуатаційної маси АТЗ, відносної

транспортної продуктивності і енерговіддачі АРТТЗ в технологічних процесах автотранспортної операції як різні фактори синергізму; t – етапи інновацій у часі, $t = t_1, t_2, t_3, t_4, \dots$

Далі представлені три стратегії концептуального управління технологічно-сталім розвитком на автотранспорті. Перша стала стратегія комплексного управління рівнями раціональної продуктивності, концептуально-технологічної якості та енергоефективності нових АТЗ (як АРТТЗ)-реалізується на основі критеріїв (22) і (23) з урахуванням експлуатаційно-ідентифікованих варіантів конструктивно-технічних і товарно-технічних інновацій $K_{jr}(t) \rightarrow \text{var}$. При цьому, стратегія (23) відображає технічні, технологічні та дорожні умови синергізму автотранспортної операції. Друга стратегія передбачає інноваційне підвищення рівня транспортно-виробничої інтенсивності автотранспортної операції на основі показника операційної інтенсивності ОІ машинних процедур автотранспортної технології в тестових операціях:

$$\hat{I}^2(t) = \frac{M_i \cdot V(t)}{P_{\text{нб}}(t) \cdot t^3} \rightarrow \max, \quad t = t_1, t_2, t_3, \dots, t_n \quad (24)$$

де $M_{\text{п}}$ – партійна маса вантажу або пасажирів; V і t – швидкість та час руху АТЗ в наданій фазі тестової операції; $P_{\text{ср}}$ – середня сила тяги АТЗ в наданій i -ї фазі тестової операції;

Третя стратегія сталого зросту базується на використанні енергоеквівалентних критеріїв енерготехнологічної ефективності автомобільних перевезень, в яких забезпечується комплексна інтеграція техніко-технологічних і організаційно-економічних знань:

$$\begin{cases} K_w(K_{jr}, \hat{O}_a, NVTT, t) * W_a(\hat{O}_a, t_0) \rightarrow \max \\ K_s(K_{jr}, \hat{O}_a, NVTT, t) * S_w(\hat{O}_a, t_0) \rightarrow \min \end{cases}, \quad t = t_1, t_2, t_3, \dots, t_n \quad (25)$$

де W_r 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 [4]; K_w і K_s – енергетичні коефіцієнти годинної продуктивності автомобілів як носіїв технічних ресурсів R_T АТ і собівартості інноваційного виробництва автотранспортних послуг [4,5]; Φ_e – множина експлуатаційних факторів віртуально-спрощеної розрахункової схеми транспортного процесу [4]; t – змінний час.

При реалізації стратегій (21)...(25) використовуються нові принципи теорії автомобільно-транспортної технології: інтеграції та гармонізації парадоксально-фрагментарних знань про автомобільні перевезення та про проекти життєвого циклу відтворення автотранспортних послуг; синтезу високої автомобільно-транспортної технології; експлуатаційної ідентифікації модульної структурно-параметричної організації технічних ресурсів; технологічної інтенсифікації автотранспортних операцій; забезпечення транспортно-операційного (на АТ) та міжпідсистемного (в АВТС) синергізму при взаємодії технологічних ресурсів автотранспорту з маршрутними елементами дорожньо-трафікової інфраструктури автотранспортної системи. На основі критеріїв (22)...(25) тестово аналізуються різні аспекти синергізму. На АТ- оцінюються транспортно-операційний і енергоресурсно-технологічний аспекти. На основі широкого поширення проєктів високотехнологічних автомобільних перевезень підвищуються рівні синергізму двох механізмів АВТС: а) операційно-технологічної взаємодії технічних ресурсів АТ з маршрутними елементами термінально-дорожньої інфраструктури; б) транспортно-матеріальної цілісності розривного термінального простору країни.

Висновки: 1. Встановлено, що в автотранспортних операціях і в умовах конфліктного інфраструктурного середовища автомобіль (АТЗ) функціонує як багатофункціональний, ресурсно-технічний, технологічний та енергоємний засіб (АРТТЗ) для забезпечення на автотранспорті (АТ): процесів труда, адаптивно-енергоємного транспортування предметів, ресурсоємного виробництва фізичного продукту та його споживання, а також для модернізаційного відтворення автотранспортних послуг. 2. Встановлена актуальність методів концептуального управління сталим розвитком транспортно-відтворювальної та процесно-креативної основи автотранспорту, що включає: ресурсно-технічний і технологічний базис АТ, технологічні процеси автомобільних перевезень і комплекс виробничо-економічних функцій АТ; методи такого управління повинні відповідати техно-економічній концепції високо-технологічного відтворення автотранспортного продукту, що необхідно для формування технологічно-інтенсивної та ресурсно-ефективної мікроекономіки АТ (концепція ВТАП-ТІРЕМА). 3. Сформовані: концептуальна ідея, принципи, поняттєво-критеріальний апарат і стратегії концептуального управління з урахуванням принципів

енергологічного сполучення знань про життєві цикли автомобіля і відтворення автотранспортних послуг, а також – експлуатаційно-технологічних і гносеологічних особливостей натуральних автомобільних перевезень. 4. Розроблено алгебраїчні моделі для аналізу показників кінематики, динаміки та енергетики адаптивно-дискретного функціонування АТЗ як АРТТЗ у технологічних процесах автомобільних перевезень; це дозволяє реалізувати принцип ізоморфності вказаних моделей стосовно вирішення концептуальних задач системного аналізу і синтезу проектів технологічно-інноваційних процесів автомобільних перевезень. 5. Запропоновано аналітичний апарат для системно-концептуального вдосконалення важливих механізмів на АТ і в АВТС: а) синергізму процесу операційного використання технічних ресурсів АТ для енергоефективного виробництва автотранспортних послуг; б) маршрутного синергізму системного процесу автотранспортно-енергетичної інтеграції розривного термінального простору країни.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Хабутдінов Р.А. Системна концепція енергоресурсної синергії та методологія технологічно інноваційного управління на автотранспорті / Р.А. Хабутдінов. *Вісник НТУ. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник.* – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46). – С 365-374. DOI: 10.33744/2308-6645-2020-1-46-365-374.
2. Хабутдінов Р.А. Концептуальна методологія транспортно-технологічного обґрунтування автомобіля в його життєвому циклі / Р.А. Хабутдінов. Друк. ж. "Автошляховик України" // К.: Вісник ПНЦ ТАУ. – 2005. – Вип. 8. – С 168-170.
3. Хабутдінов Р.А. Науково-практична проблема автотранспортної технології та системна концепція техно-інноваційного управління на автотранспорті./ Р.А. Хабутдінов. *Вісник НТУ. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник.* – К.: НТУ, 2021. – Вип. 1 (48). – С 345-357. DOI: 10.33744/2308-6645-2021-1-48-345-357.
4. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки /А.И. Воркут, К.: Вища школа, 1986, 447 с. (рус)
5. Савицька Г. В. Економічний аналіз діяльності підприємства: Навч. посіб. – 3-тє вид., випр. і доп. – К.: Знання, 2007. – 668 с.
6. Литвинов А.С., Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств/ А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин: учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
7. Фрейдина Е.В, Исследование систем управления /Е.В. Фрейдина; под ред. Ю.В. Гусева, М. : Изд-во «Омега-Л» . – 2008. – 367 с. (рус)
8. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія: Підручник/ О.А. Лудченко . – К.: Вища школа. – 2008. – 527 с.
9. Хабутдінов Р.А. Методологічні основи транспортно-технологічної енергології // 36. наук. праць "Проблеми транспорту". К.: НТУ. – 2006. – Вип.3. – С 164–168. (укр)

REFERENCES

1. Khabutdinov, R. A. (2020). Sistemna koncepcia energorsurnoi sinergii ta metodologia tekhnologichno innovacinogo upravlynya na avtotransporti [The system concept of energy resource synergy and technological methodology of innovative management on Motor Transport]. Kyiv: Visnyk NTU. – vol.46. – 2020. – part.1. – p. 365-374. DOI: 10.33744/2308-6645-2020-1-46-365-374. [in Ukrainian].
2. Khabutdinov, R. A. (2005). Konceptualna metodologiya transportno-tekhnologichnogo obgruntuvannia avtomobilia v ego cgittevomu cikli [Conceptual methodology of transport and technological substantiation of the car in its life cycle]. Kyiv: Visnyk of PNC TAU. – 2005. – Issue 8. – p. 168-170. [in Ukrainian].
3. Khabutdinov, R. A. (2021). Naukovo-prakticna problema avtotransportnoi tekhnologii ta sistemna koncepcia tekno- innovacinogo upravlynya na avtotransporti [The scientific and practical problem of avtotransport technology and the system concept of techno-innovative management on motor transport]. Kyiv: Visnyk NTU. – vol.48. – 2021. – part.1. – p. 345-357. DOI: 10.33744/2308-6645-2021-1-48-345-357. [in Ukrainian].
4. Vorkut, A.I. (1986). Gruzovy avtomobylny perevozky [Road transportation of goods]. Kyiv: High-school. – 1986. – 447 p. (in Russian).
5. Savitska G.V. (2007). Ekonomichny analiz dialnosti pidpriemstva [Economic analysis of enterprise activity: Education. manual – 3rd ed., ed. and additional]. – К.: Znannia, 2007. – 668 p.

6. Lytvynov A.S., Y.E. Farobyn Y.E (1989). Avtomobil: Teoria ekspluatatsionyk svoistv [Automobile: Theory of operational properties: textbook for universities]. – M.: Mashinostroenie, 1989. – 240 p. (in Russian)
7. Freidina, E. B. (2008). Isledovanya system upravlynia [Study of control systems]. Moskva: Omega-L Publishing House . – 2008 . – 367 p. (in Russian)
8. Ludchenko O.A (2008). Teknichna ekspluatacia i obslugovuvannia avtomobiliv [Technical operation and maintenance of cars: Technology: Textbook] . – K.: Vyshcha shkola. – 2008. – 527 p.
9. Khabutdinov, R.A. (2006) Metodologychny osnovy transportno-tekhnologichnoi energology [Methodological bases of transport-technological energology]. Kyiv: Problemy transportu, K.: NTU. – 2006. – Vol.3. – P 164–168. [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Хабутдінов Р.А. Принципи і методи концептуального підвищення енергоресурсної ефективності автотранспортних засобів і послуг в їх життєвих циклах / Р.А. Хабутдінов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

У статті розглядаються принципи і методи підвищення енергоресурсної ефективності автотранспортних засобів і послуг в їх життєвих циклах, які відповідають техно-економічній концепції високо-технологічного відтворення автотранспортних послуг для формування технологічно-інтенсивної та ресурсно-бережливої мікроекономіки автотранспорту (концепція ВТВАП-ТІРЕМА) згідно принципу експлуатаційно-технологічного ресурсозбереження в життєвих циклах автомобіля (АТЗ) і відтворення автотранспортних послуг. Показано, що існуючі техно-емпіричні методи організації та економіки автотранспортного процесу не забезпечують реалізацію техно-економічної концепції. Виходячи з нової матеріально-виробничої та технологічно-інноваційної парадигми знань про автотранспорт як сферу матеріального виробництва запропоновано поняттєво-критеріальний апарат та комплекс стратегій для концептуального управління технологічно-стійким розвитком елементів ресурсно-технічного базису та технологічних процесів автомобільних перевезень на автотранспорті. При цьому, показано, що враховуються експлуатаційно-технологічні та ґносеологічні особливості натуральних автомобільних перевезень.

Об'єкт дослідження – технічні ресурси та технологічний процес автомобільних перевезень.

Мета роботи – формування принципів і стратегій розвитку, а також поняттєво-критеріального апарату для концептуального управління технологічно-стійким розвитком на автотранспорті.

Метод дослідження – еволюційно-симулятивний та тестовий аналіз розвитку елементів ресурсно-технічної і технологічної основи автотранспорту згідно концепції ВТВАП-ТІРЕМА. Результати статті може бути використані технологічно компетентними управліннями автотранспорту для реалізації стратегій концептуального управління розвитком вказаних елементів. Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – реалізація в автотранспортних підприємствах методів та стратегій концептуального управління технологічно-сталим розвитком процесів автомобільних перевезень та комплексу їх виробничо-економічних функцій.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КОНЦЕПЦІЯ, ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ІННОВАЦІЇ, АВТОТРАНСПОРТ, ФУНКЦІЇ, ТЕХНІЧНІ РЕСУРСИ, АВТОТРАНСПОРТНА ТЕХНОЛОГІЯ, ПРОЦЕСИ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ, КЕРУВАННЯ, ЕНЕРГОРЕСУРСНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ, АВТОТРАНСПОРТНІ ПОСЛУГИ, СТАЛИЙ РОЗВИТОК.

ABSTRACT

Khabutdinov R.A. Principles and methods of conceptual improvement of energy resource efficiency of motor vehicles and transport services in their life cycles. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv : National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article considers the principles and methods of conceptual improvement of the energy resource efficiency of motor vehicles and transport services in their life cycles, which correspond to the techno-economic concept of high-tech reproduction of motor transport services for the formation of a technologically intensive and resource-saving micro-economy of the motor transport (VTVAP-TIREMA concept) according to the principle operational and technological resource saving in the life cycles of the car (LCC) and reproduction of the motor transport services. It is shown that the existing techno-empirical methods of organization and economy of the motor transport process do not ensure the implementation of the techno-economic concept. Based on the new material-production and technological-innovation paradigm of knowledge about motor transport as a sphere of material production, a conceptual-criterial apparatus and a

set of strategies for conceptual management of technologically sustainable development of elements of the resource-technological base and technological processes of automobile transportation by motor vehicle are proposed. At the same time, it is shown that technological and epistemological features of natural road transportation are taken into account.

The object of research is technical resources and the technological process of motor transportation.

The purpose of the work is the formation of development principles and strategies, as well as conceptual and critical apparatus for the conceptual management of technologically sustainable development in motor transport.

The research method is an evolutionary-simulation and test analysis of the development of the elements of the resource-technical and technological basis of the motor transport according to the VTAP-TIREMA concept.

The results of the article can be used by technologically competent motor vehicle managers to implement conceptual management strategies for the development of the specified elements. Prognostic assumptions regarding the development of the object of research - the implementation in motor vehicle enterprises of methods and strategies of conceptual management of the technologically sustainable development of the motor transport processes and the complex of their production and economic functions.

KEY WORDS: CONCEPT, TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL INNOVATIONS, MOTOR TRANSPORT, FUNCTIONS, TECHNICAL RESOURCES, MOTOR TRANSPORT TECHNOLOGY, PROCESSES OF AUTOMOBILE TRANSPORTATION, 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. Омеляновича-Павленка,1, orsid.org/ 0000-0002-1329-5739.

AUTHOR:

Khabutdinov Ramazan A., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head. Department of Transport Technologies, e-mail: habutd1@gmail.com, tel. +380962290869, Ukraine, 01010, Kyiv, str. Omelyanovich-Pavlenko, 1, orsid.org/ 0000-0002-1329-5739

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. Омеляновича-Павленка,1, e-mail: olp47@ukr.net, тел. +380996092476, Київ, Україна.

REVIEWER:

Mnatsakanov R., Doctor of Technical Sciences Engineering (Dr.), professor, National Aviation University, department of maintaining the airworthiness of aircraft, Kyiv, Ukraine .

Petrashchevski O., Doctor of Technical Sciences, professor, National Transport University, Department of Airports, Kyiv, str. Omelyanovich-Pavlenko, 1,Ukraine.

МАНЕВРЕНІСТЬ АВТОПОЇЗДА З ПРИЧЕПОМ КАТЕГОРІЇ О1

Човча І.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, i.cho@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7299-8063

THE MANEUVERABILITY OF MOTOR TRAIN WITH TRAILOR CATEGORY O1

Chovcha I.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, i.cho@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7299-8063

Постановка проблеми.

Використання автотранспортних засобів характеризується широким різновидом виробничої діяльності людини. Одним із актуальних видів такої діяльності є перевезення пасажирів і вантажів. На сьогодні існує багато різновидів автопричепів, які виготовляються як в Україні, так і за кордоном. Вони відрізняються призначенням, вантажопідйомністю, максимальною масою, габаритними розмірами тощо.

Відповідно категорія причепів О1 – це так звані «легкі» причепа. Крім цього, з автомобілями категорії М1 можуть використовуватися причепа категорії О2, які часто називають «важкими». Для цих причепів, що експлуатуються, як правило, приватними підприємцями і аматорами, дуже важливими є параметри щодо навантаження на тяговий автомобіль і причіп, зокрема розташування вантажу в причепі. Завантажувати причіп необхідно рівномірно по всій площі підлоги вантажного причепа або фургона, а поодинокі вантажі повинні бути розташовані і закріплені над віссю або спареними осями. Розташування центру мас над віссю причепа забезпечує нормальне навантаження на зчипну кулю [1].

Зсув вантажу і, відповідно, центру мас спорядженого причепа вперед від осі коліс причепа викликає збільшення навантаження на тягово-зчипний пристрій автомобіля. Це призводить до більшого, ніж слід, притискання задньої частини автомобіля до дороги, переміщення центру мас автомобіля назад і підняття його передньої частини. Внаслідок такого розподілу маси погіршується зчеплення передніх коліс з дорогою і автомобіль стає менш керованим. Крім того, через ослаблення зчеплення з дорогою на передніх колесах під час гальмування не створюється достатня гальмівна сила, особливо необхідна при русі з причепом.

Завантаження причепа, що викликає зміщення його центру мас назад за осі коліс причепа, теж є неприпустимим. Якщо навантаження на зчипну кулю незначне, причіп буде розгойдуватися у вертикальній площині. Його коливання будуть піднімати задню частину автомобіля, погіршуючи зчеплення задніх коліс з дорогою, що може призвести до заносу на слизькій чи мокрій дорозі і на поворотах.

Якщо питання перевезення великогабаритних вантажів вивчені достатньо добре, то для перевезення малотоннажних вантажів, для яких використовуються малотоннажні автопоїзди з простими одно- або двовісними причепами, питання маневреності вивчені не в повній мірі. Це особливо актуально при перевезенні вантажів пересічною місцевістю, при маневруванні на невеликих майданчиках в міських умовах, характерних частими поворотами та вузькими проїздами. Тому дослідження маневреності малотоннажних автопоїздів на сьогодні є актуальним.

Аналіз літературних джерел.

У практиці експлуатації автопоїзда необхідно знати форму і ширину проїзду, яка гарантувала б їх рух і вписуваність у задану смугу руху, а також геометричні параметри цих автопоїздів, що визначають можливість їх проїзду, якщо відомі характеристики ділянки дороги на в'їзді і виїзді.

Відповідно до досліджень Я.Х. Закіна [2, 3], Я.Є. Фаробіна [4-6], науковців Національного транспортного університету [7-10] показники маневреності автопоїзда попередньо можна визначати за жорстких у бічному напрямку колесах. При цьому похибка у визначенні габаритних радіусів повороту, габаритної смуги руху і зміщень траєкторії ведених ланок щодо ведучої не перевищує 15 %.

Криволінійний рух автопоїзда можна характеризувати основною траєкторією тягового автомобіля [2], тобто траєкторією середини ведучого моста і траєкторією точки причіпної ланки.

Основна траєкторія складається з трьох ділянок: кругової траєкторії і двох перехідних – вхідної і вихідної. Кругова траєкторія з постійним радіусом залежить лише від геометричних параметрів тягового автомобіля і причепа. Форми перехідних траєкторій залежать не тільки від геометричних, але і від кінематичних параметрів тягового автомобіля, а саме – кутової швидкості повороту керованих коліс і від поступальної швидкості руху автопоїзда на повороті [2].

Габаритну смугу руху (ГСР) автопоїзда на повороті визначає *головна траєкторія тягового автомобіля* і зміщення траєкторії причепа від основної траєкторії до центра повороту. Якщо відома або задана траєкторія головної точки тягового автомобіля, то можна тим або іншим методом знайти траєкторію головної точки причепа.

В експлуатаційних умовах головним видом руху є перехідний (нестационарний) рух автопоїзда, так як кут повороту керованих коліс тягового автомобіля γ_0 безперервно змінюється [2]. Форма перехідної траєкторії (вхідної і вихідної) визначається кутовою швидкістю $\dot{\theta}$ повороту керованих коліс тягового автомобіля і його поступальною швидкістю v руху на повороті. При цьому траєкторія руху автопоїзда визначається не абсолютною величиною $\dot{\theta}$, а її відношенням до поступальної швидкості автомобіля (режимний коефіцієнт повороту), тобто співвідношенням [2]:

$$\frac{\dot{\theta}}{v} = K_{\Pi} \text{ м}^{-1} \quad (1)$$

Як показали експериментальні дослідження, значення середньої кутової швидкості $\dot{\theta} = 0,01 - 0,15 \text{ с}^{-1}$ [5,8] і значення K_{Π} на вході і на виході рівні [2].

Визначення показників маневреності автопоїзда виконують за таких припущень [10]:

- опорна поверхня, якою відбувається криволінійний рух автопоїзда, строго горизонтальна і має покращене покриття, яке не створює значного опору рухові;

- елементарні кінематичні ланки, що входять до складу ШЗА, розглядаються в подальшому як абсолютно жорсткі тіла, без врахування можливих внутрішніх деформацій пружних елементів, які входять до його складу, тому вертикальні переміщення центра мас ланок і нахил їх підресорених мас виключається;

- рух елементарної кінематичної ланки, якщо про це не буде сказано особливо, вважається обмеженим неголономним зв'язком, тобто напрям швидкостей усіх точок ходової осі ланки їй перпендикулярні [2].

За таких допущень бокове відведення еластичних шин коліс і рух ланки вздовж її ходової осі вважається неможливим. Це важливе припущення призводить до того, що проекції поздовжньої осі ланки першого роду і діаметральної площини середнього приведенного колеса ланки другого роду на опорну поверхню завжди дотичні до траєкторії головних їх точок – середини ведучого моста автобуса (ведуча ланка) і середини моста причепа (ведена ланка). Поздовжня вісь елементарної кінематичної ланки направлена по дотичній до головної траєкторії саме в цій точці [2].

Якщо відома або задана траєкторія направляючої точки автобуса, можна тим або іншим методом знайти траєкторію головної точки, тобто середини ходової осі ланки і, відповідно, положення елементарної кінематичної ланки буде визначеним [2]. Шарнірні спряження з вертикальною віссю елементарних кінематичних ланок автопоїздів дозволяють їм здійснювати безперешкодне переміщення в горизонтальній площині. За цих припущень визначимо показники маневреності автопоїзда.

Результати досліджень.

Габаритну смугу руху автопоїзда при русі по кривим визначають через кут складання ланок автопоїзда. Диференціальне рівняння кута складання автопоїзда записується у вигляді [2]:

$$\frac{d\varphi_1}{dt} = \omega_0 \left[1 - \frac{L_0 \sin(\varphi_1 - \alpha_0)}{L_1 \operatorname{tg} \theta \cos \alpha_0} \right], \quad (2)$$

де $\omega = \frac{v \times \operatorname{tg} \theta}{L}$ – кутова швидкість повороту тягового автомобіля;

L – база тягового автомобіля;

θ – середній кут повороту керованих коліс тягового автомобіля;

L_2 – база причепа;

c_0 – відстань від характерної точки тягового автомобіля до точки зчипки з причепом;

$R = \frac{L}{\tan \theta}$ – миттєвий центр повороту тягового автомобіля;

$\alpha_0 = \arctg \frac{c_0}{R}$ – кут, що визначає положення точки зчипки тягового автомобіля і причепа.

Розв'язок рівняння (2) можливий лише за умови його лінеаризації, яку можливо виконати, якщо прийняти, що швидкість і кутова швидкість повороту автопоїзда величини сталі і визначена фаза його повороту.

Автопоїзд на повороті може знаходитися в одній із чотирьох фаз руху [2]:

1. Вхідна перехідна траєкторія – рівномірний поворот керованих коліс тягового автомобіля $\theta = \dot{\theta} \times t$. При цьому поворот керованих коліс продовжується до того часу, поки зовнішня габаритна точка автобуса не почне рухатися по дузі кола заданого радіуса. Для першої фази повороту кут складання φ_1 визначається як

$$\varphi_1 = \frac{(L_2 + c_0)}{L} \times \left\{ \theta - L_2 k_1 \left[1 - \exp \left(- \frac{\theta}{L_2 k_1} \right) \right] \right\}, \quad (3)$$

де k_1 – режимний коефіцієнт при вході ШЗА в поворот.

Розв'язок рівняння (3) для типового автопоїзда з причепом категорії О1 загальною довжиною 8,5 м, базою тягового автомобіля 2,5 м і загальною довжиною причепа на рівні 3,5 м на вході в поворот виконаємо з використанням програмного забезпечення Maple 14.

На рисунку 1 наведені результати розрахунку кута складання автопоїзда при вході в поворот.

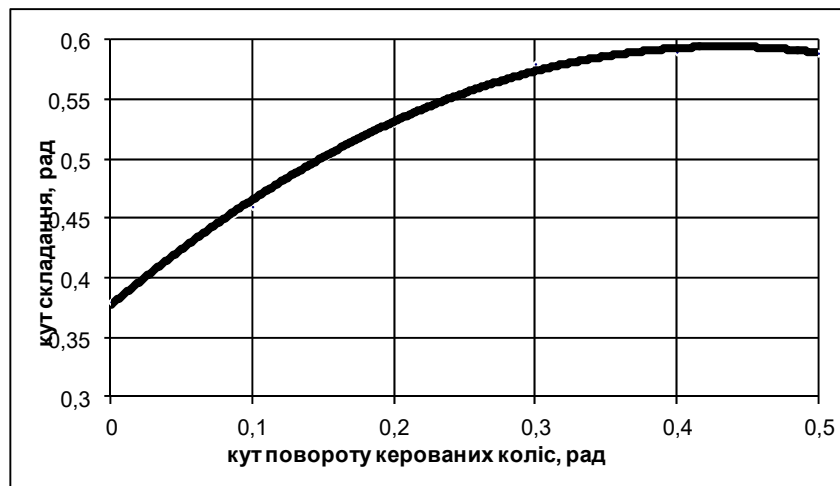


Рисунок 1 – Залежність кута складання ланок автопоїзда від кута повороту керованих коліс тягового автомобіля на вході в поворот

Figure 1 – Dependence of the angle of assembly of the links of the motor train on the angle of rotation of the steered wheels of the traction vehicle at the entrance to the turn

Як впливає з рисунку 1, етап входу в поворот закінчується за кута повороту керованих коліс тягового автомобіля в межах 0,45...0,5 рад.

Для визначення координат характерних точок тягового автомобіля і причепа, а відповідно і габаритної смуги руху (ГСР) автопоїзда, скористаємося методикою розрахунку цих параметрів, наведених у роботі [10].

За цією методикою траєкторія характерної точки тягового автомобіля задається у вигляді

$$\left. \begin{aligned} X_l &= X_l(t) \\ Y_l &= Y_l(t) \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

а траєкторія характерної точки причепа визначається як

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= X_1 - L \times u(t) \\ Y_2 &= Y_1 - L \times v(t) \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

де $u(t)$ і $v(t)$ – допоміжні функції, які визначаються залежностями:

$$u(t) = \frac{1 - \frac{1}{z_n^2} e^{2at}}{1 + \frac{1}{z_n^2} e^{2at}}, \quad (6)$$

$$v(t) = \frac{\frac{2}{z_n} e^{at}}{1 + \frac{1}{z_n^2} e^{2at}}, \quad (7)$$

де $a = \frac{R}{L}$,

$$z = (a - k) - \frac{2k}{\frac{a+k}{a-k} e^{kt} - 1},$$

$$k = \sqrt{1 - a^2}.$$

Цей рух продовжується доти, доки сумарний кут повороту автопоїзда γ , що визначається від початку повороту, не стане рівним $\gamma_2 = \beta - \psi$ (β – заданий кут повороту автопоїзда; ψ – кут повороту тягового автомобіля в кінці першої фази).

2. Рух автопоїзда по колу за умови, що $\theta = \text{const}$ і $R = \text{const}$. Цей рух продовжується доти, доки сумарний кут повороту автопоїзда ψ , що визначається від початку повороту, не стане рівним $\psi_2 = \alpha - \psi_1$ (α – заданий кут повороту автопоїзда; ψ_1 – кут повороту тягового автомобіля в кінці першого фази). Кут складання ланок автопоїзда визначиться як

$$\varphi_1 = \varphi_1(\tau_1) \exp\left(-\frac{R \times \varphi_1}{L_2}\right) + \frac{L_2 + c}{L} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{R \varphi_1}{L_2}\right) - \varphi_0 \right\} \quad (8)$$

Розв'язання рівняння (8) для автопоїзда, що розглядається, за колового руху при різних значеннях кута повороту керованих коліс тягового автомобіля виконаємо з використанням програмного забезпечення Maple 14.

На рисунку 2 наведені результати розрахунку кута складання ланок за колового руху автопоїзда. Помітимо, що розрахунки кута складання ланок автопоїзда починаються за кута повороту керованих коліс тягового автомобіля, досягнутого в кінці першої фази повороту.

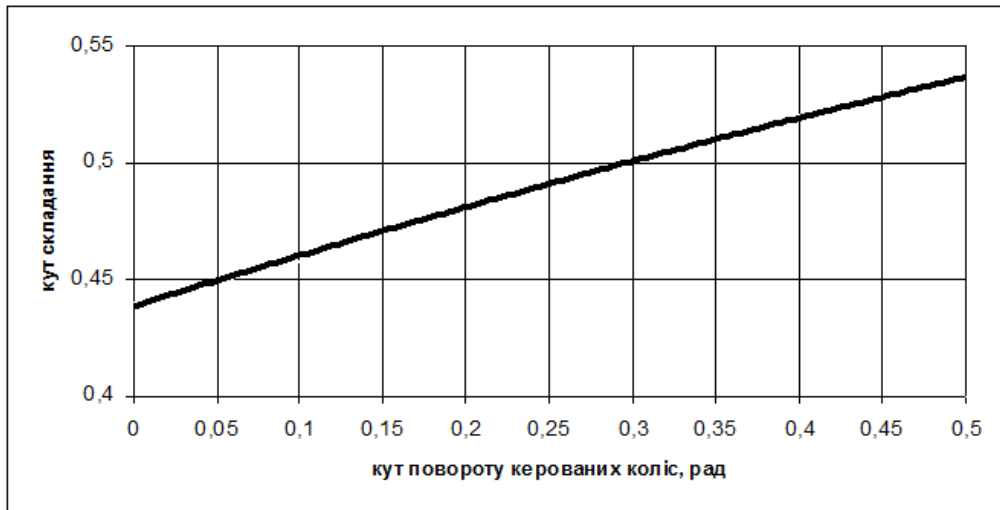


Рисунок 2 – Залежність кута складання автопоїзда від кута повороту керованих коліс тягового автомобіля за колового руху автопоїзда
Figure 2 – Dependence of the angle of assembly of the road train on the angle of rotation of the steered wheels of the traction vehicle in the circular motion of the motor train

Рівняння руху характерних точок тягового автомобіля і причепа при русі автопоїзда по круговій траєкторії [10] записуються у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= R \cos t \\ Y_1 &= R \sin t \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} X_2 &= L[a \cos t - \sin(2 \arctg z - t)] \\ Y_2 &= L[a \sin t - \cos(2 \arctg z - t)] \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

$$\text{де} \quad z = (a - k) - \frac{2k}{\frac{a+k}{a-k} e^{kt} - 1} \quad (11)$$

3. На початку виходу автопоїзда з кругової траєкторії поворот керованих коліс продовжується до моменту, доки $\theta = \theta' - \dot{\theta} \times t = 0$ (θ – кут повороту керованих коліс на круговій траєкторії), тобто кут повороту керованих коліс тягового автомобіля не стане рівним нулю. Кут складання у цій фазі визначиться як

$$\varphi_1 = \varphi_1(\tau_2) \exp\left(-\frac{\theta' - \theta}{L_1 k_{22}}\right) + \frac{L_1 + c}{L_0} \times \left\{ \theta + L_1 k_{22} \times \left[1 - \exp\left(-\frac{\theta' - \theta}{L_1 k_{22}}\right) \right] - (\theta' - \theta) \right\}, \quad (12)$$

де k_2 – режимний коефіцієнт при виході автопоїзда з повороту.

На рисунку 3 наведені результати розрахунку кута складання ШЗА на початку виходу автопоїзда з кругової траєкторії. Зазначимо, що розрахунки кута складання ШЗА починаються за кута повороту керованих коліс автобуса, досягнутого в кінці другої фази повороту, а саме – колового руху автопоїзда.

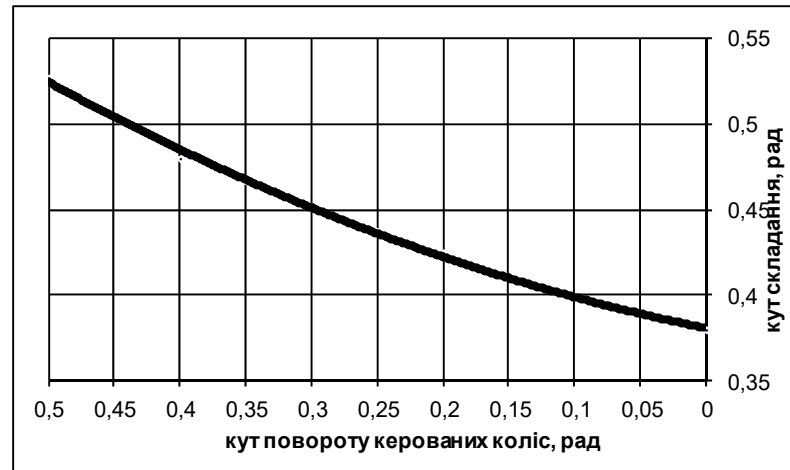


Рисунок 3 – Залежність кута складання ланок автопоїзда від кута повороту керованих коліс тягового автомобіля на початку його виходу з кругової траєкторії

Figure 3 – Dependence of the angle of assembly of the links of the road train on the angle of rotation of the steered wheels of the traction vehicle at the beginning of its exit from the circular trajectory

Координати характерних точок тягового автомобіля і причепа визначаються рівняннями (4....7) за умови, що режимні коефіцієнти на вході в поворот і виході з повороту однакові.

4. За прямолінійного руху автобуса $\theta=0$. Кут складання визначиться як [10]

$$\varphi_1 = \varphi_1(\tau_3) \exp\left(-\frac{S}{L_1}\right) \quad (13)$$

На рисунку 4 наведені результати розрахунку кута складання ланок автопоїзда за прямолінійного руху тягового автомобіля. Зазначимо, що розрахунки кута складання ланок автопоїзда починаються за кута повороту керованих коліс тягового автомобіля, досягнутого в кінці третьої фази повороту, а саме – на початку виходу автопоїзда з кругової траєкторії.

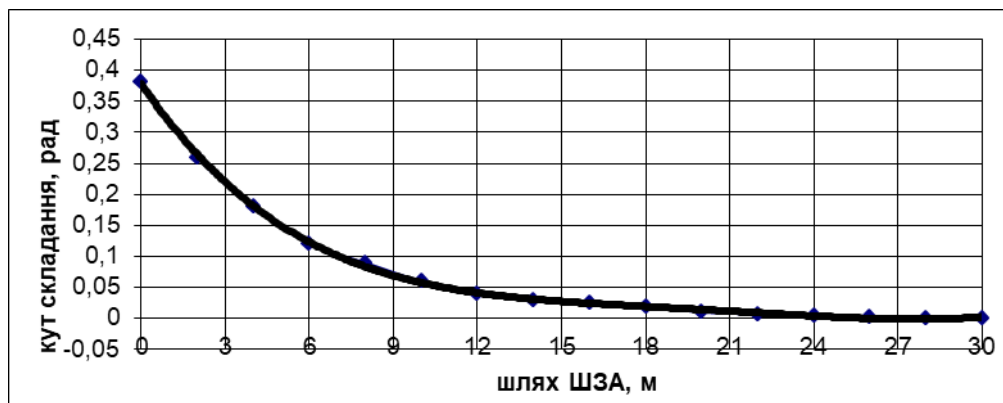


Рисунок 4 – Зміна кута складання ланок автопоїзда за прямолінійного руху тягового автомобіля

Figure 4 – Changing the angle of assembly of the links of the road train in the rectilinear motion of the traction vehicle

На цьому етапі, коли тяговий автомобіль рухається по прямій виходу з повороту, отримаємо:

$$\begin{aligned} Y_1 &= R \\ X_1 &= v_a \times t \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned}
X_2 &= -L[a - (t - \frac{\pi}{2}) + \cos(2\arctg \frac{1}{z_n} e^{a(t - \frac{\pi}{2})})] \\
Y_2 &= L[a - \sin(2\arctg \frac{1}{z_n} e^{a(t - \frac{\pi}{2})})]
\end{aligned}
\tag{15}$$

За отриманими рівняннями для координат характерних точок тягового автомобіля і причепа, кута складання автопоїзда з використанням програмного забезпечення Maple 14 визначені габаритні радіуси автопоїзда і його габаритна смуга руху для різних видів повороту. Зазначимо, що різні види повороту автопоїзда визначаються довжиною перехідної траєкторії, яка визначається часом і швидкістю руху автопоїзда, кутом повороту кругової траєкторії і довжиною вихідної траєкторії.

На рисунку 5 у якості прикладу наведені результати розрахунків кута складання автопоїзда з базовими конструктивними параметрами тягача і причепа для різних стадій повороту, а на рисунку 6 – зміщення траєкторії причепа щодо траєкторії тягового автомобіля-тягача залежно від кута повороту.

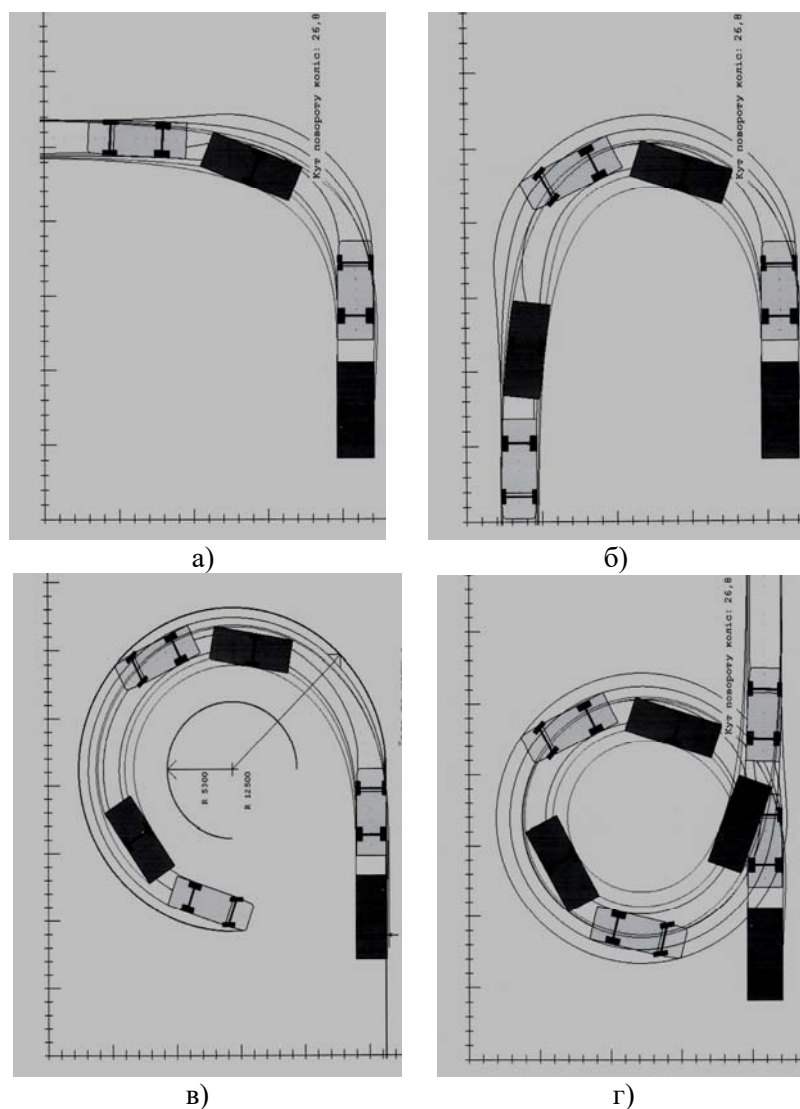


Рисунок 5 – Зміщення траєкторії причепа щодо траєкторії автомобіля і ГСР автопоїзда при повороті на 90° (а), 180° (б), 270° (в) і коловому русі (г)
 Figure 5 – Displacement of the trailer trajectory relative to the trajectory of the car and the GM of the road train when turning on 90° (a), 180° (b), 270° (c) and circular motion (d)

Аналіз результатів розрахунків показав:

– поворот обох елементарних кінематичних ланок здійснюється на першій стадії послідовно, причому причіпна ланка забігає більш інтенсивно у внутрішню сторону повороту, збільшуючи кут складання. Аналогічно змінюються і швидкості обертання ланок причіпного автопоїзда незалежно від режиму його повороту. Співвідношення кутів θ і φ_1 в кінці першої стадії повороту складає близько 0,5;

– кут складання суттєво залежить від режиму криволінійного руху автопоїзда. Зі зменшенням режимного коефіцієнта повороту зменшується і кут складання ланок автопоїзда γ_1 при одному і тому ж значенні приведенного кута повороту γ_0 керованих коліс автомобіля-тягача, оскільки автопоїзд займає при цьому менш “складене” положення;

– при односторонньому повороті траєкторія причіпної ланки зміщується відносно траєкторії автомобіля-тягача до центра повороту, збільшуючи при цьому габаритну смугу руху, причому зміщення траєкторій і ГСР збільшуються зі зменшенням радіусу повороту автопоїзда.

Висновки. Нормоване значення габаритної смуги руху за реальних конструктивних параметрів автопоїзда з урахуванням усіх його можливих обмежень (бази автомобіля-тягача, розташування точки зчіпки, довжини дишла причепа, бази причепа) може забезпечити автопоїзд, що розглядається. Максимальна ГСР за колового руху автопоїзда не перевищує 5,0 м.

Подальший розвиток. В отриманих значеннях габаритної смуги руху автопоїзда не враховано бічне відведення шин, що може суттєво вплинути (в межах 13% [10]) як на маневреність, так і на стійкість руху автопоїзда. Тому необхідно розглянути маневреність автопоїзда на еластичних у бічному напрямку колесах і встановити межі застосування моделі автопоїзда на жорстких у бічному напрямку колесах для визначення показників маневреності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Волгин В.В. Прицепы к легковым автомобилям / В.В. Волгин. – М.: Астрель, 2005. – 89 с.
2. Закин Я.Х. Прикладная теория движения автопоезда. – М.: Транспорт, 1967. – 225 с.
3. Закин Я.Х. Маневренность автомобиля и автопоезда. – М.: Транспорт, 1986. – 137 с.
4. Фаробин Я.Е., Шупляков В.С. Оценка эксплуатационных качеств автопоездов для международных перевозок. – М: Транспорт, 1983. – 200 с.
5. Фаробин Я.Е., Овчаров В.А., Кравцева В.А. Теория движения специализированного подвижного состава. – Воронеж: Изд. Воронежского университета. 1981. – 160 с.
6. Фаробин Я. Е. Трехзвенные автопоезда / Фаробин Я.Е., Якобашвили А.М., Иванов А.М. и др. // М.: Машиностроение, 1993. – 224 с.
7. Сахно В.П. До оцінки маневреності автопоїздів різних компоновальних схем / В.П.Сахно, Р.М. Марчук, В.М. Придюк, В.П. Онищук // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2010. – № 3. – С. 23-25.
8. Сахно В.П. Порівняльна оцінка маневреності триланкових автопоїздів / В.П. Сахно, В.М. Поляков, Р.М. Марчук, П.О. Гуменюк // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – № 2(53). – 2012. – С. 127-134.
9. Сахно В.П. До визначення показників маневреності автопоїзда-контейнеровоза / В.П. Сахно, В.В. Стельмашук, В.М. Придюк // Проблеми автомобільного транспорту: Збірник наукових праць: Випуск 8. – Київ: НТУ, 2011. – С. 157-165.
10. Поляков В.М. Триланкові автопоїзди. Маневреність / В.М. Поляков, В.П. Сахно // Київ. Національний транспортний університет. 2013. – 200 с.: іл.

REFERENCES

1. Volhyn V.V. Prytsepy k lehkovym avtomobylyam [Trailers for cars] / V.V. Volhyn. – M.: Astrel, 2005. – 89 p. [in Russian].
2. Zakyn Ya.Kh. Prykladnaya teoryya dvyzhenyya avtopoezda [Applied theory of the movement of road trains]. – M.: Transport, 1967. – 225 p. [in Russian].
3. Zakyn Ya.Kh. Manevrennost avtomobylya y avtopoezda [Maneuverability of cars and trains]. – M.: Transport, 1986. – 137 p. [in Russian].
4. Farobyn Ya.E., Shuplyakov V.S. Otsenka ekspluatatsyonnykh kachestv avtopoezdov dlya mezhdunarodnykh perevozk [Evaluation of Operation Qualities of Car Trains for International Transit.]. – Moscow: Transport. – 200 p. [in Russian].
5. Farobyn Ya.E., Ovcharov V.A., Kravtseva V.A. Teoryya dvyzhenyya spetsyalyzyrovannoho podvyzhnoho sostava [The theory of movement of specialized rolling stock]. – Voronezh: Yzd. Voronezhskoho unyversyteta. 1981. – 160 p. [in Russian].

6. Farobyn Ya.E. Trekhzvennye avtopoezda [Three-link road trains] / Farobyn Ya.E., Yakobashvily A.M., Yvanov A.M. and others // M.: Mashynostroenye, 1993. – 224 p. [in Russian].
7. Sakhno V.P. Do otsinky manevrenosti avtopoyizdiv riznykh komponoval'nykh skhem [To the estimation the maneuverability of road trains of different layout schemes] / V.P. Sakhno, R.M. Marchuk, V.M. Prydyuk, V.P. Onyshchuk // Visnyk Donetskoyi akademiyi avtomobilnoho transportu. – 2010. – № 3. – P. 23-25 [in Ukrainian].
8. Sakhno V.P. Porivnyal'na otsinka manevrenosti trylankovykh avtopoyizdiv [Comparative estimation of maneuverability three-links of lorry convoys] / V.P. Sakhno, V.M. Polyakov, R.M. Marchuk, P.O. Humenyuk // Visnyk Zhytomyr's'koho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. – № 2(53) – 2012. – P. 127-134 [in Ukrainian].
9. Sakhno V.P. Do vyznachennya pokaznykiv manevrenosti avtopoyizda-konteynerovoza [To identify indicators of maneuverability cars-containertrains] / V.P. Sakhno, V.V. Stelmashchuk, V.M. Prydyuk // Problemy avtomobilnoho transportu: Zbirnyk naukovykh prats: Vypusk 8. – Kyiv: NTU, 2011. – P. 157-165 [in Ukrainian].
10. Polyakov V.M. Trylankovi avtopoyizdy. Manevrenist [Three-axle trains. Maneuverability] / V.M. Polyakov, V.P. Sakhno // Kyiv. Natsionalnyi transportnyi universytet. 2013. – 200 p.: il. [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Човча І.В. Маневреність автопоїзда з причепом категорії О1 / І.В. Човча // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

У статті визначені показники маневреності автопоїзда на жорстких у бічному напрямку колесах тягового автомобіля і причепа категорії О1.

Об'єкт дослідження – показники маневреності автопоїзда на жорстких у бічному напрямку колесах тягового автомобіля і причепа.

Мета роботи – визначення показників маневреності автопоїзда з одновісним причепом на жорстких у бічному напрямку колесах.

Методи дослідження – аналітичний, порівняльний.

Використання автотранспортних засобів характеризується широким різновидом виробничої діяльності людини. Одним із актуальних видів такої діяльності є перевезення пасажирів і вантажів. Якщо питання перевезення великогабаритних вантажів вивчені достатньо добре, то для перевезення малотоннажних вантажів, для яких використовуються малотоннажні автопоїзди з простими одно- або двовісними причепами, питання маневреності вивчені не в повній мірі.

Проведеними на сьогодні дослідженнями встановлено, що показники маневреності автопоїзда попередньо можна визначати за жорстких у бічному напрямку колесах. При цьому похибка у визначенні габаритних радіусів повороту, габаритної смуги руху і зміщень траєкторії ведених ланок щодо ведучої не перевищує 15 %.

Нормоване значення габаритної смуги руху за реальних конструктивних параметрів автопоїзда з урахуванням усіх його можливих обмежень (бази автомобіля-тягача, розташування точки зчипки, довжини дишла причепа, бази причепа) може забезпечити автопоїзд, що розглядається. Максимальна габаритна смуга руху за колового руху автопоїзда не перевищує 5,0 м.

В отриманих значеннях габаритної смуги руху автопоїзда не враховано бічне відведення шин, що може суттєво вплинути (в межах 13 %) як на маневреність, так і стійкість руху автопоїзда. Тому необхідно розглянути маневреність автопоїзда на еластичних у бічному напрямку колесах і встановити межі застосування моделі автопоїзда на жорстких у бічному напрямку колесах для визначення показників маневреності.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОПОЇЗД, ПРИЧІП, КАТЕГОРІЯ, МАНЕВРЕНІСТЬ, ТРАЄКТОРІЯ, ГАБАРИТНА СМУГА РУХУ.

ABSTRACT

Chovcha I.V. The maneuverability of motor train with trailer category O1. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article defines the maneuverability of the road train on the rigid lateral wheels of the traction vehicle and trailer category O1.

Object of research – indicators of maneuverability of an automobile traction on lateral rigid wheels of a traction vehicle and trailer.

The aim of the work is to determine the maneuverability of a road train with a single-axle trailer on rigid lateral wheels.

Methods of research – analytical, comparative.

The use of motor vehicles is characterized by a wide variety of human production activities. One of the current types of such activities is the transportation of passengers and goods. If the issues of transportation of large cargoes are studied well enough, then for the transportation of light cargoes, for which light-duty road trains with simple single- or two-axle trailers are used, the issues of maneuverability are not fully studied.

Studies to date have shown that the maneuverability of a road train can be preliminarily determined by rigid wheels in the lateral direction. The error in determining the overall radii of rotation, dimensional lane and displacements of the trajectory of the driven links relative to the leading does not exceed 15 %.

The normalized value of the overall lane for the actual design parameters of the road train, taking into account all its possible limitations (the base of the tractor, the location of the coupling point, the length of the trailer drawbar, the base of the trailer) can provide the road train under consideration. The maximum GSR for circular traffic of a road train does not exceed 5.0 m.

The obtained values of the dimensional lane of the road train do not take into account the lateral removal of tires, which can significantly affect (within 13 %) both the maneuverability and stability of the road train. Therefore, it is necessary to consider the maneuverability of the road train on the elastic in the lateral direction of the wheels and set the limits of the model of the road train usage on the rigid wheels in the lateral direction to determine the maneuverability.

KEY WORDS: MOTOR TRAIN, TRAILER, CATEGORY, TRAJECTORY, MANEUVERABILITY, DIMENSIONAL LANE.

АВТОРИ:

Човча Ірина Василівна, Національний транспортний університет, аспірантка кафедри автомобілів, e-mail: i.cho@ukr.net, тел.: +380980478368, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 301, orcid.org/0000-0002-7299-8063.

AUTHORS:

Chovcha Iryna V., National Transport University, postgraduate student of the Department of Automobiles, e-mail: i.cho@ukr.net, tel. +380980478368, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelyanovych-Pavlenko str. 1, of. 301, orcid.org/0000-0002-7299-8063.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гутаревич Юрій Феодосійович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри двигунів і теплотехніки.

Макаров Володимир Андрійович, доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту.

REVIEWERS:

Gutarevich Yuriy Feodosiyovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of Engines and Heat Engineering.

Makarov Volodymyr Andriyovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vinnytsia National Technical University, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management.

ЛОГІСТИКА ФУНКЦІОНУВАННЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Чупайленко О.А., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, dozentalexey@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4837-0727

Білокур М.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, maksbilokur@ukr.net, orcid.org/0000-0002-6977-9935

Поліщук Р.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, prv96@ukr.net, orcid.org/0000-0003-1564-7846

Колесник Ю.О., Національний транспортний університет, Київ, Україна, yukgk1@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8079-9961

LOGISTICS OF FUNCTIONING OF MULTIMODAL TRANSPORTATION

Chupaylenko O.A., Phd, National Transport University, Kyiv, Ukraine, dozentalexey@gmail.com, orcid.org/0000-0002-4837-0727

Bilokur M.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, maksbilokur@ukr.net, orcid.org/0000-0002-6977-9935

Polishchuk R.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, prv96@ukr.net, orcid.org/0000-0003-1564-7846

Kolesnyk Y.O., Phd, National Transport University, Kyiv, Ukraine, yukgk1@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8079-9961

Постановка проблеми. За останні роки простежується стійка тенденція зростання вантажопотоків на напрямках, що поєднують Східну та Західну Європу з країнами Азіатсько-Тихоокеанського регіону. При цьому найкоротші шляхи за такими маршрутами проходять через територію України. Відомо, що Україна має значний потенціал щодо інтеграції до світового транспортного процесу, що обумовлюється її вигідним географічним положенням та наявними ресурсними можливостями транспортного сектору країни. Розвиток мультимодальних перевезень є перспективним напрямом розбудови транспортної системи України, оскільки дозволяє значно збільшити обсяги перевезень її територією за участю національних транспортних компаній, сприяючи підвищенню конкурентоспроможності країни на світовому ринку транспортних послуг, розвитку мережі існуючих транспортних коридорів, інтеграції транспортної інфраструктури України до світової транспортної системи.

Встановлено, що на сучасному етапі, мультимодальність як поняття охоплює не лише технологічні аспекти узгодженої роботи різних видів транспорту, а також стосується організаційно-правового забезпечення перевізного процесу, ефективного функціонування транспортної інфраструктури, оптимального використання транспортних засобів та вантажних одиниць під час руху вантажопотоків.

Саме тому, для ідентифікації існуючих проблем, а також розробки ефективних напрямів розвитку мультимодальних перевезень в Україні, важливим завданням є проведення наукового дослідження понятійного апарату мультимодального транспорту та пов'язаних з ним існуючих концептуальних положень логістики мультимодальних перевезень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Мультимодальне перевезення можна трактувати як міжнародне перевезення, що виконується двома або більше видами транспорту, організовується оператором, який бере на себе відповідальність доставки вантажів «від дверей до дверей» за єдиним договором та наскрізною ставкою фрахту [1].

Важливо підкреслити, що саме наявність оператора мультимодального перевезення, який несе відповідальність за вантаж та можливі ризики, пов'язані з доставкою на усьому шляху слідування незалежно від кількості видів транспорту, що приймають участь у процесі доставки при оформленні єдиного транспортного документу, є головною відмінною рисою від усіх інших споріднених концепцій транспортування. У порівнянні з поняттями «комбіновані» та «інтермодальні» перевезення, які характеризують перевізний процес в залежності від технологічних операцій, що виконуються з вантажем або з транспортним засобом, термін «мультимодальні перевезення»

характеризує процес транспортування вантажів з позицій його правового та організаційно-технічного забезпечення [2].

Транспортний процес при мультимодальних перевезеннях складається з декількох послідовних етапів доставки та перевантаження вантажу з одного виду транспорту на інший зі включенням їх до загальної системи транспортування. Саме тому, мультимодальні перевезення необхідно розглядати з точки зору системного підходу в якості складних систем, для яких характерно комплексний розвиток всіх видів транспорту, термінального та складського господарства, митної та фінансової інфраструктури, нормативно-правового забезпечення, технологій інформаційного та телекомунікаційного супроводу вантажопотоку. Наявність оператора мультимодального перевезення дозволяє забезпечити цілісність та єдність системи [3].

Теоретичні та методологічні основи організації системи мультимодальних перевезень представлено в працях Левковця П.Р., Прокудіна Г.С., Міротіна Л.Б., Курганова В.М., Милославської С.В., Беляєва В.М., Мелікова А.З., Ейдес М.Є., Кирпи Г.М., Зайончика Л.Г., Д. Бенсона, Дж. Уайтхеда, Бронштейна О.И., Розенталя Г.О., Бусленко В.Н., Майзер Х., Эйджин Н., Тролл Р., Клейнрока Л., Кенделла Дж., Кліра Дж., Флешимана В.С та інших дослідників.

Спираючись на світовий досвід, можна констатувати, що мультимодальне перевезення є сучасним способом доставки вантажів в основу якого покладено логістичні принципи та концепції, що є невід'ємною умовою розвитку зовнішньоторговельних відносин сьогодення. Перспективність та переваги існування такого способу транспортування вантажів не викликають сумнівів. Так, серед основних переваг мультимодальних перевезень слід відзначити наступні [4]:

1) можливість доставки вантажів за логістичним принципом «від дверей до дверей» за оптимальними витратами (забезпечує вибір оптимальної схеми доставки вантажу, гнучкість складання маршруту та ін.);

2) можливість застосування різних типів контейнерів в залежності від габаритів, хімічних та технічних особливостей вантажу (контейнеризація невід'ємна складова технологічного процесу доставки вантажу мультимодальним транспортом);

3) скоординована та узгоджена робота різних елементів транспортної інфраструктури (дозволяє оптимізувати сукупні витрати усієї схеми доставки вантажу);

4) організація перевезення однією компанією – оператором транспортних послуг (скорочення часу на узгодження різних організаційно-правових та технічних питань; підвищення рівня безпеки транспортування та зберігання вантажу).

Виклад основного матеріалу. Звісно, що сучасним напрямом розвитку економічних відносин стали інтеграція та глобалізація транспортно-розподільчих процесів. Інтеграція напряму зв'язана з глобалізацією ринків виготовлення та збуту матеріальної продукції, та викликана необхідністю забезпечення ефективності виробництва та оптимального розподілу ресурсів.

Інтеграція виробництва та транспортного сектору передбачає досягнення значної взаємної залежності транспортно-виробничого процесу. З однієї точки зору, інтеграція надає можливість гармонізувати виробничі зв'язки та забезпечити ефективному розвитку економічної системи (на думку професіоналів, інтеграції дозволяє зменшити собівартість транспортної продукції на 20-30%). З іншого боку, інтеграція передбачає необхідність виконання низки вимог щодо транспортних процесів, а саме формування та впровадження єдиних європейських стандартів та правових норм регулювання ринку транспортних послуг, уніфікації транспортної документації та ін.

Саме це призводить до технологічної ефективності товарообміну, структурного перетворення всіх складових товаророзподільчих та транспортних мереж, до виконання транспортних процесів на більш якісному рівні. Інтеграція транспортних систем базується на глобальній уніфікації та стандартизації модулів, що включаються до складу транспортної системи, здійснення якої створить передумови для запровадження ефективних методів автоматизації управління транспортними процесами.

Основною метою інтеграції є використання переваг об'єднання, тобто досягнення економії ресурсів або створення нового, більш привабливого для споживачів якості послуг. Основні способи інтеграції процесів доставки на транспорті наступні:

– проста система доставки: прямі контактні відносини між вантажовласником і перевізником;

– змішана система доставки: доставка здійснюється звичайно двома видами транспорту (вантажовласник укладає договори з усіма учасниками транспортного процесу);

– комбінована система доставки: доставка вантажу здійснюється декількома перевізниками (вантажовласник укладає договори з усіма учасниками транспортного процесу);

– інтегральна система доставки: доставка вантажу здійснюється декількома перевізниками (вантажовласник укладає контракти лише з організатором системи доставки).

На підставі існуючого досвіду організації змішаного та комбінованого перевезення вантажовласник складає угоди з усіма учасниками процесу доставки. Кожен учасник здійснює відповідні обрахунки з вантажовласником та несе перед ним матеріальну відповідальність за зберігання вантажу лише на вказаній ділянці маршруту. Вантажовласник самостійно організовує процес доставки. Він організовує взаємодію з усіма учасниками процесу доставки: банківськи установи; митні пости; транспортно-експедиційні компанії термінальні комплекси; перевізники залізничного транспорту; перевізники автомобільного транспорту; перевізники повітряного транспорту; перевізники водного транспорту.

Традиційна схема відносин потребує від вантажовласника значної кількості інформаційних даних від учасників процесу доставки та навпаки, що значно ускладнює та відволікає вантажовласника від його основної діяльності, зв'язаною з виробництвом або збутом продукції.

Якщо говорити про інтегральну систему доставки вантажів, то тут головною перевагою є те, що в якості організатору процесу доставки виступає посередник — транспортний оператор (як правило такі функції виконує транспортно-експедиторська компанія). Складена угода між вантажовласником та оператором звільняє першого від вступу в договірні відносини з іншими учасниками процесу доставки вантажів.

На сучасному етапі виділяють певні види доставки, що здійснюються за принципами інтегральної системи (див. табл. 1).

Таблиця 1 – Способи транспортування за принципами інтегральної системи доставки вантажів

Table 1 – Methods of transportation according to the principles of the integrated system of cargo delivery

Вид транспортування	Коротка характеристика
Унімодальна доставка вантажів	Доставка виконується одним видом транспорту
Інтермодальна доставка вантажів	Доставка виконується декількома видами транспорту, при цьому один з учасників організовує весь процес доставки від пункту відправлення до пункту призначення; за доставку надаються різні транспортні документи в залежності від розподілу відповідальності
Мультимодальна доставка вантажів	Доставка виконується декількома видами транспорту, при цьому оператор несе повну відповідальність на всьому шляху доставки вантажів. При цьому оформляється єдиний транспортний документ, вартість доставки розраховується за єдиною ставкою фрахту.

Взаємодії вантажовласника з учасниками процесу доставки вантажів при застосуванні інтегральної системи транспортування відрізняється від попереднього варіанта доставки вантажів зменшенням кількості інформаційних потоків, які формуються між вантажовласниками та іншими учасниками процесу доставки. Саме це стає значною перевагою інтегральної системи транспортування перед іншими способами організації доставки вантажів.

Світовий досвід організації міжнародних вантажних перевезень свідчить про те, що інтегральні технології є найбільш ефективною формою організації транспортування, що задовольняє вимогам користувачів. Завдяки цим технологіям оператори перевезень мають можливість використовувати переваги різних видів транспорту та пропонувати користувачам послуги за високим рівнем якості на вигідних умовах.

Розглянемо більш детально, термінологічний апарат сучасних інтегральних транспортних технологій. Отже, проведені дослідження показали, що у більшості сучасних науково-практичних джерел, що стосуються транспортування вантажів, при класифікації перевезень та визначенні їх типу, поряд з традиційним для вітчизняної транспортної науки та практики поняттям «змішані перевезення» (ЗП), використовуються словосполучення англомовного походження «комбіновані»

(КП) (combined transport), «інтермодальні» (ІП) (intermodal transport), «мультимодальні» (ММП) (multimodal transport) перевезення.

Питання організації та реалізації ЗП, ММП, ІП і КП розглядаються в багатьох роботах. Однак зміст однойменних понять багато фахівців інтерпретують по-своєму, а вчені дають авторські визначення відповідно до інтересів свого дослідження. Сотні фахівців маніпулюють термінами, не віддаючи звіту в їх предметному сенсі. В результаті сучасні навчальні, довідкові, наукові та періодичні видання характеризуються серйозними різночитаннями в визначеннях і тлумаченнях вищеназваних понять. Розглянемо ряд відомих і загальнодоступних джерел, що містять дефініції, які визначають поняття: «ЗП», «ММП», «ІП» та «КП».

Так, у роботах [1-3] досить узагальнено розкривається суть поняття «ЗП» і робиться акцент на її основну ознаку – участь декількох видів транспорту. У науковій праці [2], поряд з традиційним визначенням, вводиться досить істотне уточнення, щодо існуючих альтернативних схем здійснення ЗП, без найменування їх різновидів: «... прямі ЗП, коли вантаж доставляється кількома видами транспорту за єдиним перевізним документом; ЗП по роздільним вантажним документам; ЗП з повним транспортно-експедиційним обслуговуванням за системою «від дверей до дверей». В роботі [4] автор виділяє дві властивості ЗП: участь декількох видів транспорту та наявність єдиного транспортного документа. Відповідно до визначення, сформульованого в [5], поняття «ЗП», «КП», «ІП» і «ММП» розглядаються як тотожні. Крім того, щодо поняття «змішане міжнародне перевезення» в [5] наводиться досить спірне твердження, про те, що «... невід'ємною умовою такого перевезення є участь в ньому, щонайменше, двох видів міжнародного транспорту». Однак, відомо, що перевезення декількома видами транспорту, з яких хоча б один перетинає державний кордон, ідентифікується як міжнародне. У джерелах [4] поняття «ЗП» та «КП» розмежовуються наступним чином: «КП відрізняється від ЗП наявністю більш ніж двох видів транспорту». Отже, на думку автора, якщо в перевезенні бере участь два види транспорту, то воно є ЗП, а якщо понад двох, то перевезення стає КП. В роботі [5] поняття «ІП» та «ЗП» розглядаються як синоніми: «ІП або перевезення вантажів у змішаних повідомленнях вважаються організаційно-технологічні, ЛС доставки з використанням різних видів транспорту – морського, річкового, повітряного та автомобільного». Виходячи з контексту даного визначення, також слідє і те, що в ІП (ЗП) можуть брати участь всі види транспорту, крім залізничного.

Відповідно до роботи [4]: «КП – змішане перевезення, виконуване без перевантаження вантажу. У цьому випадку вантаж перевозиться на всьому шляху слідування в одному і тому ж контейнері, змінному кузові». У даній дефініції з точки зору теоретико-множинних позицій поняття «КП» і «ЗП» перебувають у відношенні логічного підпорядкування (включення). В якості родового виступає поняття «ЗП», а в якості видового – «КП». Таким чином, на думку авторів, КП, по-перше – це окремий випадок ЗП, по-друге – якщо вантаж з контейнера не перевантажується в процесі перевезення, то перевезення є КП, в іншому випадку – перевезення стає ЗП. У джерелі [4] також встановлено:

«ММП (трансмодальне) – перевезення, при якій особа, яка організує його, несе відповідальність на всьому шляху слідування, незалежно від кількості приймаючих участь видів транспорту при оформленні єдиного перевізного документа». В якості синонімів в даному визначенні виступають терміни «ММП» та «трансмодальне» перевезення. Причому кількість видів транспорту, що беруть участь у перевезенні, відповідно до наведеного визначення, не має ніякого значення.

Отже, ММП, за даною думкою, може вважатися, в тому числі і перевезення вантажів одним видом транспорту при дотриманні інших необхідних умов, зазначених у формулюванні.

Згідно з визначенням, наведеним у [5], синонімами є поняття «ІП» та «інтегроване» перевезення, які, у свою чергу, перебувають у відношенні логічного підпорядкування з поняттям «ЗП»: «ІП (інтегрованим) прийнято називати ЗП вантажів «від дверей до дверей», яке здійснюється під керівництвом оператора за єдиним транспортним документом із застосуванням єдиної (наскрізної) ставки фрахту».

В роботі [5] наводиться розгорнуте визначення: «...перевезенням вантажу в змішаному сполученні сьогодні вважають те, в якому доставку вантажу від відправника до одержувача здійснюють, принаймні, два різних види транспорту, коли вона виконується на цьому маршруті під відповідальністю тільки одного перевізника, за єдиним транспортним документом, що підтверджує укладення договору перевезення, і оплачується за єдиною наскрізною тарифною ставкою».

За кордоном перевезення даного виду отримали найменування «КП» (від англ. дієслова «to combine» – змішувати) або «ММП» (від словосполучення «multi-modal»; «multi» – багато; «modal» – вид, форма), на відміну від перевезень, виконуваних одним видом транспорту – «singlemodal»,

«unimodal» – перевезення в прямому (залізничному, водному і т. п.) сполученні». Автори цього визначення, на відміну від терміну, сформульованого в попередньому дослідженні [5] наполягають на тому, що ЗП виконується «... під відповідальністю тільки одного перевізника ...».

Крім того, в якості синонімів автори використовують поняття «ЗП», «КП» та «ММП». ІП, у свою чергу, в [4] називають «... лише сектором більш широкого поняття комбінованих (мультимодальних, змішаних) перевезень», тобто їх окремим випадком або видовим поняттям.

В [2] терміни «ЗП», «ІП» і «ММП» не тільки використовуються як синоніми, але і ототожнюються з поняттям «транспортний коридор»: «...у сучасній практиці організації та здійснення ЗП, особливо в європейських країнах, термін «ІП (ММП) система» часто замінюється терміном «транспортний коридор», по суті, це синоніми».

В роботі [3] наводяться наступні визначення: «ІП – це система доставки вантажів у міжнародному сполученні декількома видами транспорту за єдиним перевізним документом і передачі вантажів в пунктах перевалки з одного виду транспорту на інший без участі власника вантажу в єдиній вантажній одиниці (ВО) (або транспортному засобі). ММП – це прямі ЗП, щонайменше, двома різними видами транспорту і, як правило, всередині країни». Таким чином, відмінність між ІП та ММП, відповідно до [4], полягає в їх масштабності (міжнародності). При цьому ствердження про те, що ММП – це перевезення, які здійснюються, «... як правило, всередині країни», на наш погляд, є некоректним.

У роботі [5] терміни «ЗП», «КП», «ІП» та «пряме змішане сполучення» трактуються як синоніми. Поняття «ММП» в даному джерелі є видовим по відношенню до поняття «ЗП». Змішані перевезення можуть бути: роздільні і прямі змішані (інтермодальні). У свою чергу інтермодальні поділяються на мультимодальні і роздільні. А мультимодальні можуть бути: внутрішні і міжнародні.

У наведеній вище класифікації в якості родового виступає поняття «ЗП». Поняття «роздільні автономні» та «прямі змішані» перевезення розглядаються в якості видових, а поняття «прямі змішані» та «інтермодальні» перевезення ототожнюються один з одним та визначаються наступним чином: «ІП називаються перевезення вантажів декількома видами транспорту з пункту відправлення до пункту призначення за єдиним транспортним документом. В цьому випадку один з перевізників або операторів організовує весь процес доставки вантажу, беручи відповідальність за все перевезення в цілому або за ту частину перевезення, що виконується їм самим, або за все перевезення в цілому. Залежно від умов розподілу відповідальності в процесі доставки вантажів ІП бувають роздільними або мультимодальними.

ІП вважаються роздільними, якщо кожен перевізник несе відповідальність лише за ту частину перевезення, яку він виконує сам. Мультимодальні є ІП, при виконанні яких перевізник організовує доставку вантажу і бере на себе відповідальність за все перевезення». Таким чином, відповідно до наведених визначень, різновидами «ІП» є «роздільне» та «ММП», які виступають в якості підвидових понять щодо поняття «ЗП». Що стосується «роздільного автономного» та «інтермодального роздільного» перевезень, то, на жаль, автор не пояснює зміст цих понять.

В роботі [1] відзначається, що на Конференції UNCTAD з мультимодальних перевезень 1996 р. було вироблено поняття для кожного з наступних видів перевезень: ІП; ММП; сегментарні; КП. Далі в цієї науковій праці наводяться наступні визначення. «ІП – це родові поняття для всіх перерахованих вище видів перевезень. Вони визначаються як перевезення вантажу декількома видами транспорту, де один з перевізників зобов'язується організувати все перевезення вантажу (від дверей до дверей) з одного пункту відправлення або порту через один або декілька пунктів в кінцевий пункт призначення. Залежно від того, як розподілена відповідальність між включеними в таке перевезення перевізниками, видаються різні транспортні документи. ММП – це перевезення, в яких перевізник, який організовує все перевезення вантажу (від дверей до дверей), бере на себе відповідальність за все перевезення вантажу в цілому. У цьому випадку він може видавати відправнику документ на ММП, який покриває весь шлях прямування вантажу. Сегментарні перевезення – це перевезення, в яких перевізник, який організовує все перевезення вантажу (від дверей до дверей), бере на себе відповідальність тільки за ту частину перевезення, яку здійснює він сам. КП – це перевезення вантажу в одному і тому ж вантажному місці (контейнері), що здійснюються декількома видами транспорту – автомобільним, залізничним і водним».

Таким чином, автори [1] наводять розглянуті вище визначення, роблячи посилання на Конференцію UNCTAD по ММП. Однак, на жаль, в наведеному бібліографічному списку, відсутні реквізити документа, який резюмує результати роботи цієї Конференції, що обмежує можливість пошуку першоджерела та перешкоджає ознайомленню з його змістом. Крім того, якщо у відношенні

наведених термінів все настільки ясно, то з якою метою в цій же роботі наводяться й інші визначення поняття «ІП», а саме:

– «ІП означають просування вантажів на одному і тому ж модулі (УВМ) з використанням декількох видів транспорту без переформування цього модуля». Таким чином, якщо вантаж перевозиться кількома видами транспорту в УВМ без його переформування, то перевезення є ІП, незалежно від його комерційно-правових аспектів, які в даній дефініції не уточнюються. Крім того, ознаки, зазначені в ній, більше відповідають поняттю «КП», наведеному в [1] з посиланням на Конференцію UNCTAD;

– «ІП вважаються організаційно-технологічні, логістичні системи доставки вантажів з використанням різних видів транспорту – морського, річкового, повітряного і автомобільного».

На відміну від попереднього, в даному визначенні, нічого не говориться про використання УВМ, а єдиною умовою, що дозволяє ідентифікувати ІП, є використання різних видів транспорту. У вищенаведеному визначенні, узгодженому з Конференцією UNCTAD, цих умов набагато більше. Крім того, в цьому визначенні, також як і в [4], участь авіаційного транспорту не передбачається;

– «під ІП мається на увазі перевезення з використанням декількох видів транспорту, яке виконується під відповідальністю одного перевізника за єдиним транспортним документом та оплачується єдиною наскрізною ставкою».

Дана дефініція визначає не тільки кількість видів транспорту, які беруть участь у перевезенні, але й уточнює основні комерційно-правові аспекти. Однак також як і в попередньому визначенні, тут нічого не говориться про технологічні аспекти перевезення.

Крім того, дане формулювання більше відповідає визначенню поняття «ММП», наведеному в роботі [1] з посиланням на Конференцію UNCTAD.

Слід також звернути увагу ще на одну суперечність. З одного боку, стверджується, що ІП визначають «як частину більш загального поняття мультимодальних (змішаних) перевезень», тобто поняття «ММП», по-перше, розглядається як синонім поняття «ЗП», по-друге, – як родове стосовно поняття «ІП».

З іншого боку, в цій же роботі з посиланням на Конференцію UNCTAD відзначається зворотне, а саме: «ІП – це родове поняття для всіх перерахованих вище (ММП, сегментарних, КП) видів перевезень».

Не вдаючись в деталі нормативно-правового регулювання ММП та в подробиці змісту термінів, які використовуються в текстах [4] та [5], можна констатувати той факт, що:

– словосполучення «міжнародне змішане перевезення» є офіційним еквівалентом англійського словосполучення «international multimodal transport» – «міжнародне мультимодальне перевезення»;

– словосполучення «документ змішаного перевезення» – еквівалентом англійського словосполучення «multimodal transport document» – «документ мультимодального перевезення».

Отже, відповідно до офіційного перекладу розглянутих вище документів, широко розповсюджене в галузі терміну «мультимодальне перевезення» («multimodal transport») відповідає термін «змішане перевезення», тобто між однойменними поняттями має місце відношення тотожності.

Однак, незважаючи на офіційний переклад Конвенції [4] та Правил [5], відношення тотожності між розглянутими поняттями є досить умовним, оскільки оригінали цих документів не тільки в своїй назві містять термін «multimodal transport» («мультимодальне перевезення»), а й офіційно присвячені міжнародно-правовому регулюванню перевезень саме цього виду. У текстах же вищеназваних документів наведено відповідні дефініції, що визначають саме поняття «multimodal transport» («мультимодальне перевезення»). Таким чином, згідно до правил транслітерації назви вищезазначених документів повинні були б звучати так: «Конвенція ООН про міжнародні мультимодальні перевезення»; «Правила ЮНКТАД щодо документів мультимодальних перевезень» [5]. Крім того, цілком очевидно що, виходячи з основних ознак ММП, сформульованих в вищеназваних документах, не всі перевезення вантажів за участю двох та більше видів транспорту, можуть бути віднесені до мультимодальних. Але це аж ніяк не означає, що вони не можуть бути названі терміном «ЗП». Таким чином, можна підтвердити висунуте раніше припущення про те, що ММП слід розглядати як більш вузьку форму прояви ЗП.

Звернемося ще до одного документу, що з'явився в 2000 р. та був переведений на чотири робочі мови (англ., франц., нім., рос.) під назвою «Термінологія комбінованих перевезень» [5]. Всі визначення, сформульовані в [5], призначені для роботи наступних міжурядових організацій: ЄС, Європейської конференції міністрів транспорту та Європейської Економічної Комісії ООН. У даних документах наводяться наступні визначення розглянутих понять. «ММП (multimodal transport):

перевезення вантажів двома і більше видами транспорту». «ІП (intermodal transport): послідовне перевезення вантажів двома і більше видами транспорту в одній і тій же вантажній одиниці (loading unit) або автотранспортному засобі (road vehicle) без перевантаження самого вантажу при зміні виду транспорту». У свою чергу, «інтермодальною транспортною одиницею» (ІТО) (Intermodal transport unit (ITU)) відповідно до цього документу є: «... контейнери (containers), знімні кузова (swap bodies) і напівпричепи (semi-trailers), придатні для інтермодального перевезення». «КП (combined transport): інтермодальне перевезення, в рамках якого велика частина європейського рейсу припадає на залізничний, внутрішній водний або морський транспорт, а будь-який початковий і/або кінцевий відрізок шляху, на якому використовується автомобільний транспорт, є максимально коротким». Таким чином, поняття «ЗП» в переліку термінів, що містяться в російськомовній частині, відсутня. У цьому документі словосполучення «multimodal transport», на відміну від [1-3], офіційно перекладається вже не як «ЗП», а як «ММП». Причому, серед розглянутих в документах [3] понять саме «ММП» є спільним (родовим).

Слід зазначити, що термін, наведений в [1,3], відбиває всього лише одну істотну ознаку ММП – участь двох та більше видів транспорту, що, по суті, суперечить Конвенції [4] та Правилам [5]. На цю особливість наведених документів також зроблений акцент на Конференції ЮНКТАД, що відбулася 25.06.2001 р. Як вказується в джерелі [2], що відбиває результати роботи цієї Конференції, слід звернути увагу на важливе застереження, що міститься в передмові глосаріїв [1, 4]: «Ці визначення в їх найвужчому сенсі не можуть застосовуватися в сфері права і статистики, де вже існують відповідні довідкові документи». При цьому в документі [5] в якості «найавторитетнішої» дефініції поняття «ММП», яку застосовують в сфері права і статистики, називають дефініцію, сформульовану в Конвенції [4].

Головними особливостями такого перевезення є: міжнародне перевезення вантажу двома або більше видами транспорту за одним контрактом, одним документом і однією відповідальною стороною (ОМП). Таким чином, визначивши відношення логічного підпорядкування між поняттями «ММП», «ІП» та «КП», а також встановивши джерело, в якому міститься поняття «ММП», яку застосовують у сфері права та статистики, слід встановити та визначити відмінні риси між ММП та ІП. Для виявлення відмінних рис між ММП та ІП слід визначити, що є об'єктом в кожному з даних видів перевезень, а, отже, і предметом відповідних договорів. Відповідно до Конвенції, в якості об'єкта ММП, може виступати:

- вантаж, розміщений у ВО (loading unit) – контейнері, знімному кузові або напівпричепі;

- окреме вантажне місце (the unit load), тобто вантаж на піддоні або попередньо упакована ВО, розміри якої по периметру відповідають габаритам піддону і яка може бути поміщена у транспортну одиницю;

- вантаж у пакуваннях, якщо вони надані вантажовідправником.

Отже, в системі ММП, об'єктом перевезення, а, отже, і предметом відповідного договору є вантаж в загальному значенні цього поняття.

Що стосується ІП, слід згадати історію появи цього терміну. Відомо, що термін «ІП» за кордоном виник пізніше, ніж поняття «ММП», а його поява була обумовлена:

- поділом вантажного автомобіля на два модулі: тягач і причіп;

- появою різновидів автодорожніх причепів:

- трейлера (trailer) – причепа з передніми та задніми осями – транспортного засобу без двигуна, який використовується для перевезення вантажів і призначений для зчіпки з автотранспортним засобом;

- семи-трейлера (semi-trailer) – напівпричепа без передніх коліс – транспортного засобу без двигуна, який використовується для перевезення вантажів і призначений для зчіпки з автотранспортним засобом таким чином, щоб значна частина його ваги та навантаження передавалися на цей автотранспортний засіб;

- впровадженням «піггібек» (piggy-back) технології та здійсненням «піггібек» перевезень (piggy-back – transport), які сьогодні називаються «контрейлерними» або «автомобільно-залізничними». У США для позначення даної форми перевезень використовують термін «trailer on flat car» (TOFC). Контрейлерні перевезення передбачають транспортування на залізничних платформах: зчленованих транспортних засобів (articulated vehicle) – автотранспортних засобів з напівпричепами (semi-trailer); автопоїздів (road train) – автотранспортних засобів з причепами (trailer).

Подібне розміщення автотранспортних засобів з причепами (напівпричепами) на залізничних платформах на технологічній схемі перевантаження вантажів при «піггібек» перевезеннях нагадувало вставку над рядком пропущеного слова «interlying». У зв'язку з цим відповідну технологію назвали

«intermodal» – «інтермодальною» («inter» – між, «modal» – вид, форма) [5]. З огляду на історичні аспекти зародження і розвитку ІП, а також орієнтуючись на вищезазначене визначення, ІП є окремим випадком ММП, з притаманними йому основними ознаками (див. рис. 3), згідно з Конвенцією [6]. Крім того, в підсистемі ІП: оперують не з вантажем взагалі, як в ММП, а з автотранспортними засобами та ІТО, в яких (або на яких) консолідовані вантажі в певній масовій, об'ємній або штучній кількості; застосовують безперевантажувальні технології, при яких перевантаження самого вантажу при зміні виду транспорту не передбачається.

Мультимодальне перевезення вантажів, як правило, здійснюється по міжнародним транспортним коридорам, передбачає найбільш тісну інтеграцію, що заснована на єдності, взаємодії та координації всіх ланок та учасників ланцюга доставки в організаційно-правовому та техніко-технологічному аспектах. Варто підкреслити, що тут, одночасно, досягається системний розвиток транспортно-логістичної інфраструктури, зокрема, створення у транспортних вузлах мережі мультимодальних транспортно-логістичних комплексів та інших об'єктів інфраструктури, інформатизація процесів руху вантажопотоків.

Вибір мультимодальних перевезень обумовлюється їх економічністю, виграшем у часі, та специфікою транспортної інфраструктури кожної країни. У цьому виді перевезень, завдяки використанню переваг кожного виду транспорту розробляється оптимальний маршрут перевезення з урахуванням специфіки вантажів, що перевозяться.

У загальному випадку, доставка вантажу від відправника до одержувача передбачає виконання груп операцій щодо вибору видів транспорту та сполучень, підготовки вантажу до перевезень, доставки його на термінал магістрального транспорту, виконання навантажувально-розвантажувальних та складських робіт, передачі вантажу з одного виду магістрального транспорту на інший, перевезення вантажу з терміналу магістрального виду транспорту до адресату.

Всі комбінації взаємодії різних видів транспорту перерахувати не можливо, але найбільша їх кількість наведена нижче:

- 1) склад-авто-аеропорт-авіа-аеропорт-авто-склад;
- 2) склад-залізниця-аеропорт-авіа-аеропорт-авто-склад;
- 3) склад-авто-аеропорт-авіа-аеропорт-залізниця-склад;
- 4) склад- залізниця -аеропорт-авіа-аеропорт-залізниця-склад;
- 5) склад-авто-порт-море-порт-авто-склад;
- 6) склад- залізниця -порт-море-порт-авто-склад;
- 7) склад-авто-порт-море-порт-залізниця-склад;
- 8) склад- залізниця -порт-море-порт-залізниця-склад;
- 9) Склад-авто-залізнична станція-залізнична станція-авто-склад.

Для того щоб обрати підходящий спосіб необхідно прорахувати вартість та терміни по всіх маршрутах і тільки після цього приймати рішення щодо його застосування.

Звісно, що ціна товару має велике значення для кінцевого споживача, а точний розрахунок логістичних витрат в структурі ціни товару є одним із основних джерел економії витрат, а отже, способів зниження ціни. Процес доставки ускладнюється, в ньому з'являється більше етапів при одночасному підвищенні вимог до дотримання графіків і термінів доставки.

Транспортно-технологічна система доставки вантажів – це комплекс взаємоузгоджених технічних, технологічних, економічних, організаційних, комерційних і правових рішень, які забезпечують найбільш ефективне перевезення вантажів [7].

У процесі доставки вантажів може бути задіяні декілька перевізників, терміналів, експедиторів, взаємодія яких описується на рівні матеріальних, інформаційних та фінансових потоків. Тобто, система доставки представляє собою логістичну систему – організаційно-господарський механізм управління матеріальними та інформаційними потоками. Вона включає матеріальні засоби, що забезпечують рух товарів по логістичному ланцюгу (склади, навантажувально-розвантажувальні механізми, транспортні засоби), виробничі запаси та засоби управління усіма ланками ланцюга [8].

Як показують дослідження, вдосконалення процесів перевезень, потребує розробки математичних моделей та алгоритмів їх реалізації. Зміни в організації виробничих процесів у всьому ланцюзі – від добування сировини до отримання кінцевої продукції – призвели до появи нових технологічних схем у рамках однієї галузі. Відмінною ознакою таких схем полягає вузькій спеціалізації при обмеженій кількості видів діяльності.

Для розробки алгоритмів проектування оптимальних транспортно-технологічних схем доставки вантажів важливо розглянути транспортний процес у цілому (у вигляді системи), деталізувати транспортні технології й інформаційні процеси, що їх супроводжують.

Процес проектування та вибору оптимальної транспортно-технологічної системи доставки вантажів передбачає вирішення таких завдань:

- 1) розробка моделі процесу вибору оптимальної системи доставки вантажів;
- 2) обґрунтування принципу формування сукупності альтернативних систем доставки вантажів;
- 3) розробка послідовності дій для формування повної сукупності альтернативних систем доставки вантажів.

Проаналізуємо процес обслуговування замовлення на перевезення вантажів у вигляді кібернетичної моделі (див. рис. 1).

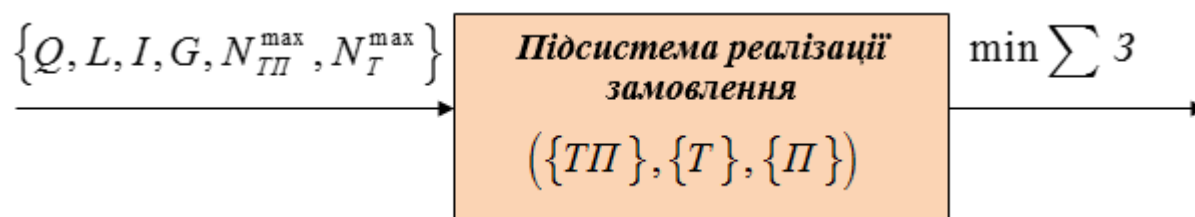


Рисунок 1 – Процес обслуговування замовлення на перевезення вантажів у вигляді кібернетичної моделі

Figure 1 – The process of servicing an order for cargo transportation in the form of a cybernetic model

Вхідними параметрами моделі вантажних перевезень виступають параметри потоку замовлень на транспортне обслуговування, серед яких об'єм вантажу Q , відстань доставки L , інтервал надходження замовлення I , максимальна кількість доступних терміналів $max NT$ та митних переходів $max TPN$, що можуть бути задіяні при проектуванні системи доставки:

$$ВП = \{Q, L, I, G, N_{TP}^{max}, N_T^{max}\} \quad (1)$$

До складу ВП входить також вектор G , що визначає групу альтернативних систем доставки. Параметр заявки вектор G несе в собі інформацію про наявні види транспорту у регіоні обслуговування:

$$G = \{A, Z, P, M, B\} \quad (2)$$

де A, Z, P, M, B — логічні змінні, що характеризують доступність в регіоні обслуговування відповідно автомобільного, залізничного, річкового, морського, повітряного транспорту при проектуванні системи доставки вантажів.

Дані про доступні види транспорту представлені у вигляді булевих змінних — змінних, які приймають значення «істина» чи «неправда», або 1/0.

Таким чином, для кожної заявки отримуємо певний набір значень змінних, які показують наявність видів транспорту, що можна використовувати при проектуванні послуги. Наприклад, якщо значення $A = 0$, то автомобільний транспорт не може бути використаним у зв'язку з його недоступністю; якщо $Z = 1$, то у системі може бути задіяний залізничний вид транспорту і т. п.

Логістичну систему, що реалізує обслуговування потоку замовлень, представляємо як сукупність об'єктів:

$$ЛС = (\{TP\}, \{T\}, \{P\}, \{E\}), \quad (3)$$

де $\{TP\}$ — сукупність митних постів; $\{T\}$ — сукупність терміналів; $\{P\}$ — сукупність перевізників; $\{E\}$ — сукупність експедиторів.

Логістична система представляє собою сукупність всіх терміналів, митних постів, експедиторів, операторів, тобто всіх об'єктів і суб'єктів, що задіяні під час доставки вантажів. Основою для проектування системи доставки виступає оптимальна комбінація видів транспорту із врахуванням максимальної кількості доступних терміналів та митних переходів. Таким чином, підсистема ПС, що реалізує переміщення партії вантажу, має наступний вигляд:

$$PC = (\{TP\}, \{T\}, \{P\}). \quad (4)$$

Отже, на виході моделі — оптимальна комбінація видів транспорту, що обрана за критерієм ефективності процесу доставки. Ця комбінація виступає каркасом для подальшого проектування транспортно-технологічної системи доставки вантажів. В якості критерію ефективності прийнято мінімальні питомі витрати всіх суб'єктів ринку $\Sigma 3$, задіяних у транспортному процесі [4].

Для наведеної моделі (див. рис.2) встановлюються наступні обмеження:

1) в окремому регіоні діє лише один експедитор. Передбачається, що експедитор безпосередньо працює із перевізниками, терміналами без посередників, оскільки послуги субпідрядників викликають подорожчання транспортних послуг. В якості регіонів для європейських країн приймаються території, обмежені державними кордонами;

2) в окремому регіоні може бути задіяний лише один термінал. У зв'язку з тим, що обробка вантажу на терміналі підвищує вартість транспортної послуги, використання більше одного терміналу в окремому регіоні вважається недоцільним;

3) в окремому регіоні може бути задіяний лише один перевізник магістрального транспорту. Магістральний транспорт здійснює перевезення тільки між терміналами, тому, при наявності одного терміналу у регіоні, кількість магістральних перевізників обмежується одним;

4) терміни Incoterms не впливають на вибір варіанту логістичного ланцюга, тому що регулюють розподілення прав, відповідальності та витрат між всіма суб'єктами транспортної системи. Для кожної альтернативної системи доставки можливе використання декількох термінів. Слід зазначити, що вибір певного терміну Incoterms впливає на розподілення синергетичного ефекту між суб'єктами процесу;

5) перевізник здійснює виключно переміщення вантажу, а експедитор відповідає за повну організацію транспортного процесу — складання договору з перевізниками, терміналами, здійснення митного оформлення, оформлення необхідної документації тощо.

Формування сукупності альтернативних транспортно-технологічних систем при проектуванні транспортної послуги залежить від параметрів потоку замовлень. Для кожного замовлення розглядаються наявні в регіоні обслуговування види транспорту, термінали та митні переходи.

Види транспорту поділяємо на дві групи сукупності видів транспорту — перша група може бути використана в якості підвізного транспорту, друга — в якості магістрального.

Підвізний транспорт П може здійснювати доставку вантажу до терміналу та від нього, а магістральний М — між терміналами (див. рис. 2). В якості підвізного розглядаємо автомобільний, залізничний, річковий транспорт; магістрального — залізничний, річковий, морський, повітряний, автомобільний. Слід зазначити, що існують такі системи, в яких доставка може здійснюватися без використання магістрального транспорту.

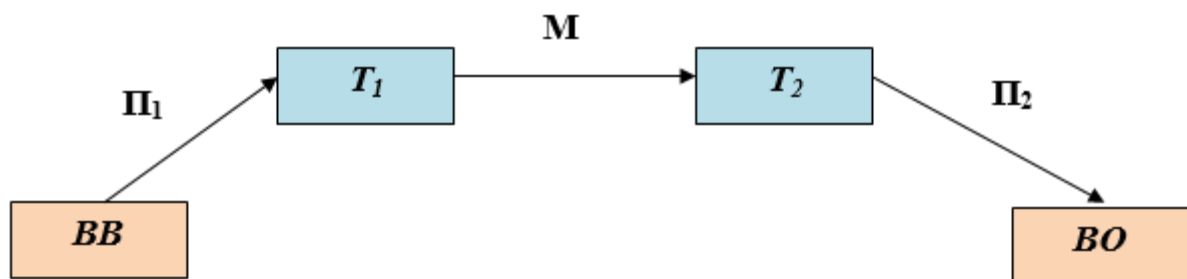


Рисунок 2 – Види транспорту в транспортно-технологічній системі доставки
Figure 2 – Types of transport in the transport and technological delivery system

Умовні позначення: BB, BO — вантажовідправник та вантажоотримувач відповідно; T1, T2 — перший та другий термінал, задіяний у системі доставки; P1, P2 — перший та другий перевізник, що функціонує в якості підвізного транспорту; М — перевізник, що функціонує в якості магістрального транспорту тобто лише за допомогою підвізного.

Також підвізний транспорт може здійснювати перевезення через декілька регіонів (у випадку, коли в процесі доставки задіяний лише один перевізник).

Основою для подальшої розробки транспортно-технологічної системи доставки вантажів виступають комбінації видів транспорту, що можна задіяти у регіоні обслуговування. Від значень

параметрів потоку замовлень залежить базовий вигляд сукупностей комбінації груп транспорту. Наприклад, для обслуговування замовлення можливе використання лише підвізного транспорту без терміналів та митних переходів. У такому випадку, загальний вид сукупності визначається як П.

При доступності двох терміналів без митних переходів доставка здійснюється двома підвізними перевізниками та одним магістральним, і сукупність приймає вигляд ПМП.

При наявності двох терміналів та відсутності митних переходів сукупність приймає вигляд ПМП, що означає, що доставка здійснюється трьома перевізниками. Тобто на першому етапі доставки використовується підвізний транспорт, на другому – магістральний, на третьому – підвізний. Абревіатура ППМПП означає, що перший етап доставки здійснюється послідовно двома підвізними перевізниками, другий – магістральним, третій – послідовно двома підвізними перевізниками.

Таким чином, для кожної комбінації максимальної кількості митних переходів та терміналів (обумовленою параметрами потоку заявок), існує одна або декілька сукупностей варіантів комбінацій груп транспорту. Варіативність сукупностей забезпечується кількістю задіяних перевізників.

В табл. 2 представлені варіанти сукупностей груп транспорту в залежності від максимальної кількості митних переходів та терміналів. Буквами П позначений підвізний транспорт, М – магістральний.

На базі сукупностей, представлених в табл. 2 створюємо підсукупності в залежності від наявних видів транспорту тієї чи іншої групи. Для цього необхідно перебрати всі комбінації наявних видів транспорту, що можуть бути використані в якості магістрального чи підвізного транспорту.

Таблиця 2 – Сукупності варіантів комбінації груп транспорту в залежності від максимальної кількості митних переходів та терміналів

Table 2 – Aggregates of options for the combination of transport groups depending on the maximum number of customs crossings and terminals

Максимальна кількість митних постів	Максимальна кількість терміналів		
	0	1	2
0	П	2П	ПМП
1	П; 2П	П; 2П; 3П	ПМП; ППМП; ПМПП
2	П; 2П; 3П	П; 2П; 3П; 4П	ПМП; ППМП; ППМПП; ППМПП; ПМППП

Наприклад, коли задіяний один перевізник підвізної групи, існують тільки три варіанта — автомобільний, залізничний або річковий.

Для створення підсукупності з двома перевізниками, що задіяні в якості підвізного транспорту, використовується матриця (див. табл. 3). У стовбцях та строках записані варіанти видів транспорту, що можуть бути використані в якості підвізного, а на перетинаннях відповідних клітинок поєднання змісту заголовків формується у варіант комбінації видів транспорту.

Таблиця 3 – Підсукупності варіантів комбінацій двох видів транспорту, що можуть бути використані в якості підвізного

Table 3 – Subsets of options for combinations of two types of transport that can be used as a ride

Вид транспорту	А	З	Р
А	АА	АЗ	АР
З	ЗА	ЗЗ	ЗР
Р	РА	РЗ	РР

Для формування підсукупності у випадку наявності трьох перевізників групи підвізного транспорту, створюємо трьохмірну матрицю або матрицю, в якій перебираються комбінації між підсукупностями для двох та одного виду транспорту, що можуть бути використані в якості підвізного (див. табл. 4).

Таблиця 4 – Підсукупності при наявності трьох видів транспорту, що можуть бути використані в якості підвізного

Table 4 – Subsets in the presence of three types of transport that can be used as a pick-up

Комбінації видів транспорту (магістрального та підвізного)	АА	АЗ	АР	
А	ААА	ААЗ	ААР	
З	ЗАА	ЗАЗ	ЗАР	
Р	РАА	РАЗ	РАР	
П	ПАА	ПАЗ	ПАР	...

Таким чином, відбувається перебір комбінацій між двома типами елементів — групами магістрального та підвізного транспорту. Кожен елемент приймає різні варіації (для підвізної групи — три варіанта, для магістральної — п'ять).

Кількість підсукупностей для різних варіантів структури системи доставки визначається за формулою:

$$N_B = N_P^a \cdot N_M^b, \quad (5)$$

де N_P , N_M — кількість видів, відповідно підвізного та магістрального транспорту; a , b — кількість повторів відповідних елементів у системі.

На наступному етапі проектування системи доставки створені сукупності перевіряються за критерієм ефективності — мінімальними питомими витратами. На базі оптимальної комбінації видів транспорту, визначеної для кожного окремого замовлення, можливе створення найбільш економічно доцільної системи доставки.

Отже, етапи процесу формування сукупності альтернативних транспортно-технологічних систем можна представити у вигляді наступної послідовності дій:

1) проаналізувати параметри потоку замовлення на предмет географічних та технологічних особливостей регіонів відправника та одержувача;

2) на основі даних про максимальну кількість терміналів та митних переходів визначити сукупності комбінацій груп видів транспорту;

3) на основі даних про доступні види транспорту створити сукупність комбінацій задіяних видів транспорту.

Таким чином, наведена методика формування альтернативних комбінацій задіяних видів транспорту для кожного замовлення дозволяє проаналізувати всі можливі варіанти та обрати основу для проектування оптимальної, а не раціональної транспортно-технологічної системи доставки вантажів. Використання оптимальної системи доставки дозволяє мінімізувати витрати всіх суб'єктів ринку та отримати максимальну ефективність від процесу доставки вантажів.

Відомо, що найбільша частина вантажних та пасажирських перевезень здійснюється за участю двох та більше видів транспорту. Так, 80% вантажів, що прибувають у морські порти, передаються на залізницю, а в річкових портах ця частка досягає 50% [6]. Майже вся нафта з трубопроводів передається на інші види транспорту, а автомобіль взаємодіє з усіма видами транспорту, особливо велике його значення для пасажирських перевезень. Пунктами взаємодії є транспортні вузли. Раніше транспортні вузли в силу свого історичного розвитку та відомчої підпорядкованості, будувалися без ретельного обліку швидкого перевантаження вантажів з одного виду транспорту на інший. Транзитний пасажир купував нові документи на провіз вантажу і проїзд. Вантаж у цих пунктах перевантажувався. Тільки з введенням змішаного прямого сполучення власники вантажу звільнялися від перевантаження вантажів. У взаємодії різних видів транспорту повинна відродитися єдина транспортна система держави.

У більшості країн раціональна взаємодія основних видів транспортних комунікацій знаходиться в державній власності. Ця взаємодія полягає в злагодженій та погодженій роботі транспорту в загальному перевізному процесі. Вона залежить від багатьох умов правового, економічного, технічного, технологічного, організаційного та управлінського характеру.

Основними документами, що визначають взаємні обов'язки, права та відповідальність транспорту, клієнтури, відправників вантажу та вантажоодержувачів, є статут залізниць, кодекс торгового мореплавання, статут водного транспорту, статут автомобільного транспорту і повітряний кодекс.

Критерії вибору виду транспорту для перевезення включають: вибір шляху транспортування вантажу; визначення раціонального способу транспортування; дотримання строків доставки; забезпечення схоронності вантажу; зниження витрат на перевезення. Підкреслимо, що ключове значення при виборі способу доставки вантажу та видів транспорту, які беруть участь у перевезенні, відіграє вантажовласник.

Вибір виду або видів транспорту для перевезення здійснюється за двома основними параметрами: вартісна оцінка й вимоги до надійності та якості перевезення.

Вартісна оцінка залежить від тарифу і знижки з тарифу обраних перевізників. Надійність та якість перевезення є складнішим параметром – його характеризують терміни перевезення, схоронність партії і споживчих властивостей вантажів під час перевезення.

Економічний аспект взаємодії має базуватися на таких положеннях [7]:

- розробка єдиних планів та прогнозів перевезення вантажів і пасажирів, що дозволяє заздалегідь підготувати рухомий склад. Слід зазначити, що особливо велика затримка вантажів при передачі їх із залізниці на річковий транспорт;

- встановлення погоджених тарифів на перевезення різними видами транспорту. При цьому необхідно створити систему уніфікованих тарифів, що стимулювали б клієнтуру та транспорт до змішаних перевезень;

- введення єдиної номенклатури вантажів, розробка уніфікованих планів і звітних показників, що характеризують якість та ефективність перевезень вантажів і пасажирів.

Вибір видів транспорту при перевезенні вантажів у змішаному сполученні включає наступні етапи [8]:

1) встановлення відносних ваг параметрів перевезення. Як правило, жоден з розглянутих видів транспорту не є кращим за всіма параметрами замовлення на перевезення. Тому вантажовласнику треба вирішувати питання про ступінь важливості того чи іншого параметру, тобто визначити вагу параметра R_i . Отже, вага параметра може бути визначена як

$$R_i = \frac{P_{\Phi}}{P_H} 100, \quad (6)$$

P_{Φ}, P_H – відповідно фактичний та нормативний рівень параметра перевезення.

2) обчислення ваг параметрів стосовно цільової функції. З урахуванням кожного параметра та його вагового коефіцієнта k_i обчислюється як узагальнений параметр перевезення кожного виду транспорту

$$\Omega_0 = \sum_{i=1}^n k_i R_i. \quad (7)$$

3) оцінювання видів транспорту та способів перевезення по кожному узагальненому параметру, тобто визначення ступеня відповідності вимогам вантажовласника. На цьому етапі параметри можуть конкретизуватися доти, поки не стане можливим кількісне визначення їхніх значень. Якщо оцінки видів транспорту задаються в різних одиницях виміру, виникає необхідність приведення їх до деяких порівнянних одиниць. Це досягається приведенням всіх оцінок до єдиної шкали шляхом встановлення для параметрів найкращих і найгірших граничних значень. Ці оцінки визначають також границі зміни оцінок по параметру – нижньої і верхньої.

4) обчислення переваг виду чи видів транспорту щодо цільової функції. На цьому етапі виконується зведення всіх оцінок по кожному параметру до загального результату, тобто ранжування видів транспорту по всій сукупності параметрів.

5) аналіз результатів та вибір виду транспорту й способу перевезення. При цьому виникає необхідність з'ясування, які види транспорту мають найбільшу перевагу по кожному параметру. Тому аналіз зводиться до визначення переваг кожного параметра. Аналіз результатів того чи іншого способу перевезення умовно можна розділити на моделювання результатів до початку навантаження,

моделювання результатів перевізного процесу в режимі реального часу, моделювання взаємодії різних видів транспорту у транспортних вузлах і моделювання економічних наслідків перевезення.

Формування математичних моделей взаємодії видів транспорту у перевізному процесі базується на принципах системної орієнтації на кінцеві результати діяльності як з точки зору технології та процесів управління, так й ефективності перевезення для вантажовласника. Іншими словами, повинні бути комплексно розглянуті наявність різних видів транспорту та їх виробничі потужності; вартість транспортних послуг, які здійснюються різними видами транспорту та їх якість, можливість створення нових організаційних, функціональних та виробничих структур діючих підприємств і організацій, прогнозні оцінки, що характеризують потребу в транспортних послугах на даний момент та у короткостроковий період.

Для забезпечення раціональної технології перевезення різними видами транспорту та їх взаємодії треба враховувати в першу чергу узагальнені показники, що відповідають найповнішому забезпеченню потребам вантажовласників. З іншого боку, технологія роботи може здійснюватись по різних варіантах на основі вибору по техніко-економічних показниках. Очевидно, що при такому підході технологія, що забезпечує мінімальні приведені витрати того чи іншого виду транспорту, може не виявитися оптимальною з точки зору вантажовласника. Більш того, не виключена ситуація, що варіант організації перевезення, що не передбачає мінімальні приведені витрати, виявиться найбільш прибутковим для транспорту. Тому виникає необхідність удосконалення критерію цільової функції вибору оптимальної схеми перевезення, в тому числі за участю декількох видів транспорту.

У якості удосконаленого критерію пропонується використовувати співвідношення між витратами на перевезення у вантажовласника $Z_{\text{вв}}$ та приведеними витратами кожного виду транспорту Z_{Ti} , які беруть участь у перевезенні, за умови забезпечення прибутку для транспорту PP_{Ti} , тобто

$$\begin{cases} Z = \sum_{i=1}^n \frac{Z_{\text{вв}} - Z_{Ti}}{Z_{Ti}} \rightarrow \max; \\ \sum_{i=1}^n PP_{Ti} > 0. \end{cases} \quad (8)$$

Такий підхід забезпечить не тільки раціональну технологію перевізного процесу та взаємодії видів транспорту, але й додаткову економію витрат вантажовласників, що, в свою чергу, дозволить залучити додаткові обсяги перевезення і підвищити прибутковість транспорту.

Ефективне функціонування змішаних перевезень за участю декількох видів транспорту пов'язано з дією багатьох факторів: місцем перебування вантажовласників, використанням транспортних засобів, властивостей вантажів, прийнятих схем доставки тощо. З іншого боку, конкурентоздатність виявляється у взаємодії суб'єктів ринку транспортних послуг – перевізників, відправників вантажу та вантажоодержувачів. Її можна визначити, порівнюючи між собою різні види транспорту, тому конкурентоздатність – поняття відносне, чітко прив'язане до транспортного ринку та часу перевезення.

В умовах України формування конкурентоздатної технології взаємодії видів транспорту покликано підвищити якість транспортного обслуговування вантажовласників. Основні підходи, на яких повинна базуватися ця робота, такі [9]:

- висока культура, комплексність та швидкість перевезень;
- гнучка тарифна політика в області змішаних перевезень;
- створення інфраструктури щодо маркетингової діяльності як надійного партнера у вирішенні транспортних проблем вантажовласника.

Чітка організація всієї роботи з вантажовласниками дозволить уникнути ряду недоліків, властивих існуючій системі перевезень за участю декількох видів транспорту, а саме:

- необхідності контакту з різними підрозділами та посадовими особами, територіально розташованими у різних місцях;

- необхідності оплати провізних плат, додаткових зборів, договірних тарифів по різних рахунках та реквізитах у різний час;
- великі витрати робочого часу та транспортні витрати на організацію перевезення.

Під час дослідження встановлено, що ефективність взаємодії окремих видів транспорту знаходиться на недостатньому рівні, мають місце суттєві втрати, наднормативні простой рухомого складу під розвантаженням та навантаженням, нераціонально використовуються наявні виробничі потужності, що обумовлює необхідність вирішення відповідної задачі.

Отже, проблеми взаємодії видів транспорту є частиною глобальної проблеми логістичного ланцюжка руху вантажів від виробника до споживача. При цьому повинні враховуватися фактори, що визначають переваги кожного виду транспорту – як явні за технологією доставки вантажу, так й пов'язані з особливістю вантажу. У цьому випадку особливо важливим є досягнення оптимального співвідношення витрат на реалізацію ефективної технології взаємодії видів транспорту та якості наданого обслуговування. Очевидно, що вантажовласника цікавлять мінімальні терміни доставки, максимальна схоронність вантажу, зручність приймання вантажу до перевезення, можливість достовірного інформаційного забезпечення. Тому удосконалювання технології перевезення вантажів за участю декількох видів транспорту має базуватися на запитах та потребах вантажовласника.

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

Встановлено, що на сучасному етапі, мультимодальність як поняття охоплює не лише технологічні аспекти узгодженої роботи різних видів транспорту, а також стосується організаційно-правового забезпечення перевізного процесу, ефективного функціонування транспортної інфраструктури, оптимального використання транспортних засобів та вантажних одиниць під час руху вантажопотоків.

Мультимодальне перевезення можна трактувати як міжнародне перевезення, що виконується двома або більше видами транспорту, організовується оператором, який бере на себе відповідальність доставки вантажів «від дверей до дверей» за єдиним договором та наскрізною ставкою фрахту.

Важливо підкреслити, що саме наявність оператора мультимодального перевезення, який несе відповідальність за вантаж та можливі ризики, пов'язані з доставкою на усьому шляху слідування незалежно від кількості видів транспорту, що приймають участь у процесі доставки при оформленні єдиного транспортного документу, є головною відмінною рисою від усіх інших споріднених концепцій транспортування. У порівнянні з поняттями «комбіновані» та «інтермодальні» перевезення, які характеризують перевізний процес в залежності від технологічних операцій, що виконуються з вантажем або з транспортним засобом, термін «мультимодальні перевезення» характеризує процес транспортування вантажів з позицій його правового та організаційно-технічного

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Міжнародні комерційні трансакції / [пер. з англійської ТОВ «Асоціація експортерів і імпортерів ЗЕД»]. К.: Асоціація «ЗЕД», 2012. 624 с.
2. 2. Конвенція Організації Об'єднаних Націй про міжнародні змішані перевезення вантажів, Женева, 24 мая 1980 г. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ci.uz.gov.ua/org/un/conv80comb.html>.
3. Правила перевезення вантажів у прямому змішаному залізнично-водному сполученні. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0566-02>.
4. Terminology on combined transport/ United Nations. New York and Geneva, 2009. 69 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.internationaltransportforum.com>.
5. Pearson connects: a multi-modal platform for prosperity. https://www.torontopearson.com/uploadedFiles/Pearson/Content/About_Pearson/Economic_Impact/Regional_Growth/PearsonConnects_20160225.pdf
6. 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.

7. 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.

8. Державна служба статистики України. Статистична інформація. Транспорт. Обсяги перевезених вантажів за видами транспорту: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.

9. Prokudin G. Logistics Approach to the Organization of Unbalanced Freight Transportation in Transport Networks / G. Prokudin, O. Chupaylenko, I. Lebid, N. Luzhanska // Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020. Sustainability: Research and Solutions. PART I. September 30 – October 02, 2020 Online Conference – Kaunas, Lithuania. P. 22-26. <https://transportmeans.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/30/2018/02/Transport-means – A4-I-dalis.pdf>.

10. Prokudin G. Development of Vehicle Speed Forecasting Method for Intelligent Highway Transport System / G. Prokudin, O. Chupaylenko, O. Dudnik, M. Oliskevych // O. Chupaylenko, O. Dudnik, M. Oliskevych // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. N. 4/3 (100). P. 6-14. (ISSN 1729-3774, DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.174255>, <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/174255>).

11. Prokudin G. Optimizing Unbalanced Freight Deliveries in Transportation Networks / G. Prokudin, A. Chupaylenko, T. Khobotnia, I. Remekh, A. Lyamzin, M. Kovalenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. N. 2/3 (116). P. 22-32. (ISSN 1729-3774, DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253791>).

REFERENCES

1. International commercial transactions / [trans. from the English LLC "Association of Exporters and Importers of Foreign Trade"]. K.: "ZED" Association, 2012. 624 p. [in Ukrainian].

2. United Nations Convention on International Mixed Carriage of Goods, Geneva, May 24, 1980 [Electronic resource]. Access mode: <http://ci.uz.gov.ua/org/un/conv80comb.html>. [in Ukrainian].

3. Rules for cargo transportation in direct mixed rail-water transport. [Electronic resource]. Access mode: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0566-02>. [in Ukrainian].

4. Terminology on combined transport/ United Nations. New York and Geneva, 2009. 69 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.internationaltransportforum.com>.

5. Pearson connects: a multi-modal platform for prosperity. https://www.torontopearson.com/uploadedFiles/Pearson/Content/About_Pearson/Economic_Impact/Regional_Growth/PearsonConnects_20160225.pdf

6. Mospan, N.V. (2018). Formuvannia strategii avtotransportnykh pidpriemstv po obslugoivu 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].

7. Kunda, N.T. (2008). Doslidzhennia operatsii u transportnykh systemakh [Operations research in transport systems]. – Vydavnychiy dim «Slovo». Kyiv. – 400 p. [in Ukrainian].

8. Obsiah 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].

9. Prokudin G. Logistics Approach to the Organization of Unbalanced Freight Transportation in Transport Networks / G. Prokudin, O. Chupaylenko, I. Lebid, N. Luzhanska // Proceedings of 24th International Scientific Conference. Transport Means 2020. Sustainability: Research and Solutions. PART I. September 30 – October 02, 2020 Online Conference – Kaunas, Lithuania. P. 22-26. <https://transportmeans.ktu.edu/wp-content/uploads/sites/30/2018/02/Transport-means – A4-I-dalis.pdf>.

10. Prokudin G. Development of Vehicle Speed Forecasting Method for Intelligent Highway Transport System / G. Prokudin, O. Chupaylenko, O. Dudnik, M. Oliskevych // O. Chupaylenko, O. Dudnik, M. Oliskevych // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. N. 4/3 (100). P. 6-14. (ISSN 1729-3774, DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.174255>, <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/174255>).

11. Prokudin G. Optimizing Unbalanced Freight Deliveries in Transportation Networks / G. Prokudin, A. Chupaylenko, T. Khobotnia, I. Remekh, A. Lyamzin, M. Kovalenko // Eastern-European

РЕФЕРАТ

Чупайленко О.А. Логістика функціонування мультимодальних перевезень / О.А. Чупайленко, М.В. Білокур, Р.В. Поліщук, Ю.О. Колесник // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

У даній статті наведено, що ефективне функціонування змішаних перевезень за участю декількох видів транспорту пов'язано з дією багатьох факторів: місцем перебування вантажовласників, використанням транспортних засобів, властивостей вантажів, прийнятих схем доставки тощо. З іншого боку, конкурентоздатність виявляється у взаємодії суб'єктів ринку транспортних послуг – перевізників, відправників вантажу та вантажоодержувачів. Її можна визначити, порівнюючи між собою різні види транспорту, тому конкурентоздатність – поняття відносне, чітко прив'язане до транспортного ринку та часу перевезення.

Об'єкт дослідження – процеси функціонування змішаних перевезень за участю декількох видів транспорту.

Мета роботи – побудова організації логістики системи мультимодальних перевезень.

Методи дослідження – розробка математичних моделей та алгоритмів їх реалізації. Розробка кібернетичної моделі щодо формування та вибору оптимальної транспортно-технологічної системи доставки вантажів

Проблеми взаємодії видів транспорту є частиною глобальної проблеми логістичного ланцюжка руху вантажів від виробника до споживача. При цьому повинні враховуватися фактори, що визначають переваги кожного виду транспорту – як явні за технологією доставки вантажу, так й пов'язані з особливістю вантажу. У цьому випадку особливо важливим є досягнення оптимального співвідношення витрат на реалізацію ефективної технології взаємодії видів транспорту та якості наданого обслуговування. Очевидно, що вантажовласника цікавлять мінімальні терміни доставки, максимальна схоронність вантажу, зручність приймання вантажу до перевезення, можливість достовірного інформаційного забезпечення. Тому удосконалювання технології перевезення вантажів за участю декількох видів транспорту має базуватися на запитах та потребах вантажовласника.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЛОГІСТИКА ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ЗМІШАНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, МУЛЬТИМОДАЛЬНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ.

ABSTRACT

Chupailenko O.A., Bilokur M.V., Polishchuk R.V., Kolesnyk Yu.O. Logistics of the functioning of multimodal transportation. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

This article shows that the effective functioning of mixed transportation involving several types of transport is related to the action of many factors: the location of cargo owners, the use of vehicles, properties of cargo, accepted delivery schemes, etc. On the other hand, competitiveness is manifested in the interaction of transport services market subjects – carriers, shippers and consignees. It can be determined by comparing different types of transport, therefore competitiveness is a relative concept, clearly linked to the transport market and transportation time.

The object of the research is the functioning processes of mixed transportation with the participation of several types of transport.

The purpose of the work is to build a logistics organization of the multimodal transportation system.

Research methods – development of mathematical models and algorithms for their implementation. Development of a cybernetic model for the formation and selection of the optimal transport and technological system of cargo delivery

The problems of the interaction of modes of transport are part of the global problem of the logistics chain of movement of goods from the producer to the consumer. At the same time, the factors that determine the advantages of each type of transport should be taken into account – both obvious by the technology of cargo delivery, and related to the characteristics of the cargo. In this case, it is especially important to achieve the optimal ratio of costs for the implementation of effective technology of interaction between types of transport and the quality of the service provided. It is obvious that the cargo owner is interested in the

minimum delivery terms, the maximum safety of the cargo, the convenience of accepting the cargo for transportation, and the possibility of reliable information support. Therefore, the improvement of cargo transportation technology with the participation of several types of transport should be based on the requests and needs of the cargo owner.

KEY WORDS: TRANSPORTATION LOGISTICS, MIXED TRANSPORTATION, MATHEMATICAL MODEL, MULTIMODAL TRANSPORTATION.

АВТОРИ:

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/0000-0002-4837-0727

Білокур Максим Віталійович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, e-mail: maksbilokur@ukr.net, тел. +38(093)010-62-30, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 437, orcid.org/0000-0002-6977-9935

Поліщук Роман Вікторович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, e-mail: prv96@ukr.net, тел. +38(063)431-61-41, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 437, orcid.org/0000-0003-1564-7846

Колесник Юрій Олександрович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, e-mail: yukgk1@gmail.com, тел. +38(063)446-06-04, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 437, orcid.org/0000-0002-8079-9961

AUTORS:

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/0000-0002-4837-0727

Bilokur Maks V., National Transport University, graduate student of the Department of International Transportation and Customs Control, e-mail: maksbilokur@ukr.net, +38(093)010-62-30, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 437, orcid.org/0000-0002-6977-9935

Polishchuk Roman V., National Transport University, graduate student of the Department of International Transport and Customs Control, e-mail: prv96@ukr.net, tel. +38(063)431-61-41, Ukraine, 01010, Kyiv, street Omelianovycha-Pavlenko, 1, room 437, orcid.org/0000-0003-1564-7846

Kolesnyk Yurii O., National Transport University, graduate student of the Department of International Transport and Customs Control, e-mail: yukgk1@gmail.com, tel. +38 (063)446-06-04, Ukraine, 01010, Kyiv, street Omelianovycha-Pavlenko, 1, room 437, orcid.org/0000-0002-8079-9961

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

ПРО ВНУТРІШНІЙ МЕХАНІЗМ ТЕРМОПОШКОДЖЕНЬ В АРМОВАНИХ КОМПОЗИТАХ З ТЕРМОМЕХАНІЧНОЮ НЕСУМІСНІСТЮ ЇХ ФАЗ

Шлюнь Н.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, nataliyashlyun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1040-8870

Заєць Ю.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, yzaets@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1836-2010

ABOUT THE INTERNAL MECHANISM OF THERMAL DAMAGE IN REINFORCED COMPOSITES WITH THERMOMECHANICAL INCOMPATIBILITY OF THEIR PHASES

Shlyun N.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, nataliyashlyun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1040-8870

Zaiets Yu.O., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, yzaets@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1836-2010

Вступ. При створенні сучасних композитів зазвичай використовуються два шляхи. Перший шлях пов'язаний із введенням у неорганічну металеву або органічну полімерну матрицю високоміцних волокон зі скла, вуглеводню, берилію, сталі або ниткоподібних монокристалів. В результаті такого комбінування максимальні значення міцності поєднуються з високим модулем пружності і невеликою щільністю. При другому варіанті створення композиту матриця наповнюється диспергованими твердими частинками. Властивості міцності волокнистих композитів визначаються властивостями волокон, водночас як матриця, в основному, перерозподіляє напруження між армуючими елементами. Тому міцність і модуль пружності волокон повинні бути значно більшими, ніж міцність і модуль пружності матриці. Крім високої міцності композитні матеріали на металевій основі мають високу жароміцність. До того ж волокна в композитах перешкоджають поширенню тріщин, що зароджуються в матриці і практично повністю запобігають раптовій крихкій руйнації.

Проте для композитів, що працюють при підвищеній і зниженій температурі та в умовах її частоті зміни, потрібно приділяти особливу увагу їх термоміцності. Помічено, що вона залежить від багатьох факторів, зокрема від: 1) коефіцієнта термічного розширення матеріалу; 2) коефіцієнта теплопровідності матеріалу; 3) пружних властивостей матеріалу; 4) неоднорідності розподілу цих властивостей у досліджуваних матеріалах; 5) високих градієнтів полів температури, що призводять до неоднакових температурних розширень і скорочень елементів середовища та інтенсивних термонапружень. Сюди можна додати наявність чи відсутність додаткових обмежень на переміщення елементів системи, що перешкоджають її вільному деформуванню.

Тут важливо підкреслити, що якщо тіло (або середовище) є термомеханічно однорідним і вільне від зовнішніх обмежень (зв'язків) то температурні поля постійної інтенсивності або лінійно змінні вздовж будь-якого напрямку (лінійні градієнти), не збуджують у тілі термонапруження.

При таких полях температури термонапруження, що спричиняють термопошкодження в матеріалі, можуть виникати тільки за наявності зовнішніх обмежень на переміщення або внутрішніх неоднорідностях. У зв'язку з цим у роботах [2, 10] запропоновано розрізняти два механізми ініціювання термоушкоджень – зовнішній і внутрішній. Можливість зародження в тілі термопошкоджень, спричинених зовнішнім механізмом, встановлюється на базі постановки та вирішення крайових завдань теплопровідності та термопружності в області, яку займає тіло [2]. Такий підхід широко використовується в інженерії. Внутрішньому механізму утворення термонапружень в середовищах і тілах (особливо в композитах з мікро- і макроволокнами та включеннями у вигляді частинок) практично не надають уваги, хоча значна кількість робіт присвячена визначенню їх усереднених (приведених) термохарактеристик [8, 9]. Водночас, як показали попередні дослідження авторів, у випадку термомеханічної несумісності властивостей матриці та волокна (стрижневої арматури), навіть при помірних значеннях постійної температури зумовлені нею її термонапруження в матриці можуть досягати її граничної міцності і бути причиною локальних терморуйнувань. В зв'язку з цим на базі методів термопружності поставлено і вирішено задачу про термонапружений стан пружного середовища з пружним стрижневим включенням при постійній температурі. Побудовано розв'язок задачі у замкнутій формі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У практиці створення композитів, що складаються з матриці, армованої волокнами або стрижнями, основна увага приділялася, як правило, аналізу приведених властивостей матеріалу, що характеризують його загальну жорсткість, міцність і термопружні властивості. Теоретичні основи таких проблем викладені в монографіях [5, 9]. Пізніше на більш детальному рівні стали вивчатися питання пружного деформування різних фаз композита з урахуванням їх термопружної взаємодії [6, 8]. У роботі [10] було звернено увагу на два можливі механізми пошкодження армованих композитів, зумовлених зовнішніми та внутрішніми зв'язками, що обмежують вільні термомеханічні переміщення елементів системи. При цьому залишався повністю не вивченим механізм термопошкодження, спровокований внутрішніми обмеженнями, пов'язаними з неоднорідністю композитного матеріалу. У статті [1] і монографії [2] на прикладі неоднорідних дорожніх матеріалів були виконані розрахунки неоднорідних термопружних систем з несумісними термомеханічними характеристиками їх фаз. На базі методів теорії термопружності [3, 4, 7, 11] було показано, що термопружна несумісність різних шарів покриття та його арматури може призводити до додаткових внутрішніх термонапружень, що викликають локальні пошкодження і деструкції навіть при помірних значеннях температури. Враховуючи все більш широке застосування композитів в техніці в умовах підвищених і знижених температур і недостатню вивченість внутрішнього механізму їх пошкодження, можна відзначити, що розглянута нижче задача про математичне моделювання додаткових внутрішніх термонапружень в композитах з волокнистою арматурою є актуальною.

Математична постановка задачі. Розглянемо задачу зародження додаткових внутрішніх термонапружень в системі матриця композиту-волокно (армуючий стрижень), збурених несумісністю їх термoeформації, зумовленої різними значеннями термомеханічних характеристик фаз матеріалу. Будемо вважати, що система вільна від зовнішніх обмежень (зв'язків), волокно є пружним циліндричним тілом 1 радіуса r_1 нескінченної довжини, матриця – пружне середовище з необмеженими розмірами (рис.1).

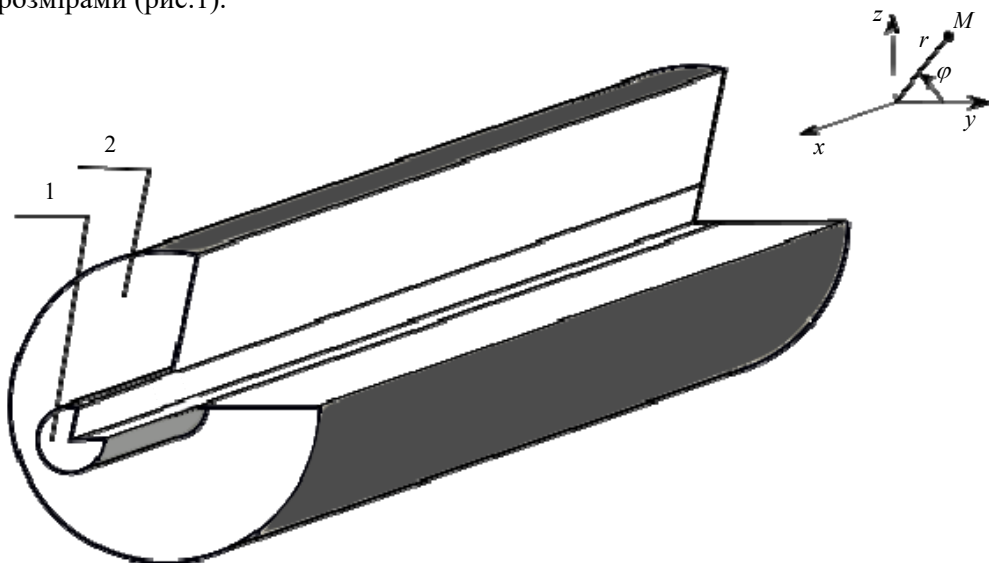


Рисунок 1 – Геометрична схема армуючого волокна 1 в пружному середовищі 2 матриці композиту
Figure 1 – Geometrical scheme of reinforcing fiber 1 in the elastic medium 2 of the composite matrix

Радіус циліндричної поверхні волокна дорівнює R , радіус r зовнішньої поверхні середовища 2 прямує до нескінченності. Термомеханічні характеристики волокна 1 визначається її параметрами Ламе λ_1, μ_1 та коефіцієнтом лінійного температурного розширення α_1 , для середовища 2 вони рівні $\lambda_2, \mu_2, \alpha_2$. Температура системи змінилася від нульового значення до величини T . Розглянемо випадок осісиметричного напруженого стану системи, коли напруження $\sigma_z = 0$. Рівняння термопружної рівноваги елементів системи мають вигляд [3, 4, 11]:

$$\frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (ru^{(i)}) \right] = 0, \quad (i=1, 2). \quad (1)$$

Тут r радіальна координата циліндричної системи координат, $u^{(i)}$ – радіальне переміщення, значення $i=1$ відповідає елементу тіла 1, значення $i=2$ – елементу середовища 2.

Система рівнянь (1) має розв'язки

$$u^{(1)}(r) = rC_1 + \frac{1}{r}C_2, \quad u^{(2)}(r) = rC_3 + \frac{1}{r}C_4. \quad (2)$$

Константи C_1, C_2, C_3, C_4 – можна визначити з умови нерухомості точки $r=0$ тіла 1

$$u^{(1)}(0) = 0,$$

умов рівності радіальних переміщень $u^{(1)}(R), u^{(2)}(R)$ і радіальних напружень $\sigma_r^{(1)}(R), \sigma_r^{(2)}(R)$ середовища 1 і тіла 2 на поверхні дотику $r=R$

$$\begin{aligned} u^{(1)}(R) &= u^{(2)}(R) \\ \sigma_r^{(1)}(R) &= \sigma_r^{(2)}(R) \end{aligned} \quad (3)$$

та умови, що

$$\sigma_r^{(1)}(r) \rightarrow 0 \text{ при } r \rightarrow \infty. \quad (4)$$

Щоб використати рівняння (3), (4), запишемо вирази для радіальних $\sigma_r^{(i)}(r) \rightarrow 0$ і колових $(\sigma_\phi^{(i)}(r))$ напружень [3, 4, 11]:

$$\begin{aligned} \sigma_r^{(i)}(r) &= (\lambda_i + 2\mu_i) \frac{du^{(i)}}{dr} + \lambda_i \frac{u^{(i)}}{r} - (3\lambda_i + 2\mu_i) \alpha_i T, \\ \sigma_\phi^{(i)}(r) &= (\lambda_i + 2\mu_i) \frac{u^{(i)}}{r} + \lambda_i \frac{du^{(i)}}{dr} - (3\lambda_i + 2\mu_i) \alpha_i T. \end{aligned} \quad (5)$$

Підставимо вирази (2), (5) в рівності (2), (3), (4). Отримаємо значення констант

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{(3\lambda_1 + 2\mu_1) \alpha_1 T}{2(\lambda_1 + \mu_1)}, \\ C_2 &= \frac{R^2 [-(3\lambda_1 + 2\mu_1)(\lambda_2 + \mu_2) \alpha_1 + (3\lambda_2 + 2\mu_2)(\lambda_1 + \mu_1) \alpha_2] T}{2(\lambda_1 + \mu_1)(\mu_1 + \lambda_2 + \mu_2)}, \\ C_3 &= \frac{[\mu_1(3\lambda_1 + 2\mu_1) \alpha_1 + (\lambda_1 + \mu_1)(3\lambda_2 + 2\mu_2) \alpha_2] T}{2(\lambda_1 + \mu_1)(\mu_1 + \lambda_2 + \mu_2)}, \\ C_4 &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

За допомогою цих значень і формул (5) знайдемо функції напружень в середовищі 1

$$\begin{aligned} \sigma_r^{(1)}(r) &= \frac{R^2}{r^2} \frac{\mu_1 [(3\lambda_1 + 2\mu_1)(\lambda_2 + \mu_2) \alpha_1 - (3\lambda_2 + 2\mu_2)(\lambda_1 + \mu_1) \alpha_2] T}{(\lambda_1 + \mu_1)(\mu_1 + \lambda_2 + \mu_2)}, \\ \sigma_\phi^{(1)}(r) &= -\frac{R^2}{r^2} \frac{\mu_1 [(3\lambda_1 + 2\mu_1)(\lambda_2 + \mu_2) \alpha_1 - (3\lambda_2 + 2\mu_2)(\lambda_1 + \mu_1) \alpha_2] T}{(\lambda_1 + \mu_1)(\mu_1 + \lambda_2 + \mu_2)}, \end{aligned} \quad (r \geq R) \quad (7)$$

і в тілі 2

$$\sigma_r^{(2)}(r) = \sigma_\varphi^{(2)}(r) = \frac{\mu_1 [(3\lambda_1 + 2\mu_1)(\lambda_2 + \mu_2)\alpha_1 - (3\lambda_2 + 2\mu_2)(\lambda_1 + \mu_1)\alpha_1] T}{(\lambda_1 + \mu_1)(\mu_1 + \lambda_2 + \mu_2)}, \quad (0 \leq r \leq R). \quad (8)$$

Можемо бачити, що напруження $\sigma_r^{(1)}(r)$ і $\sigma_\varphi^{(1)}(r)$ рівні за модулем, але мають протилежні знаки. Вони локалізуються на поверхні $r = R$ і спадають обернено пропорційно квадрату радіальної координати r . Як свідчить формула (8) напруження $\sigma_r^{(2)}(r)$ і $\sigma_\varphi^{(2)}(r)$ в тілі волокна 2 рівні один одному та однакові у всіх точках тіла.

Результати розрахунків. Наведемо результати розрахунків для випадків, коли в якості матриць композиту обрані алюміній і титан, які широко використовуються в матеріалознавстві, а армуючими волокнами є алмаз або вольфрам. Значення їх термомеханічних характеристик подані в Таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення термомеханічних параметрів компонент композитів
Table 1 – Values of thermomechanical parameters of composite components

Термомеханічні параметри	C	W	Al	Ti
λ , ГПа	306	208	55,5	74,1
μ , ГПа	478	151	25,5	41,4
α , $10^{-6} K^{-1}$	1,2	4,3	22,6	8,6

Для таких комбінацій матеріалів в рамках прийнятої моделі армуючих волокон за формулами (7), (8) були підраховані значення термонапружень $\sigma_r^{(2)}(R)$, $\sigma_\varphi^{(2)}(R)$ в матриці (1) на поверхні $r = R$ і термонапружень $\sigma_r^{(2)}(r) = \sigma_\varphi^{(2)}(r)$ ($0 \leq r \leq R$) у тілі волокна 2 при значенні температури $T = 100^\circ$. Значення цих напружень наведено у Таблиці 2.

Таблиця 2 – Розрахункові значення термонапружень в матрицях 1 і волокнах 2 композитів
Table 2 – Calculated values of thermal stresses in matrices 1 and fibers 2 of composites

Комбінація матеріалів	$\sigma_r^{(1)}$, max, ГПа	$\sigma_\varphi^{(1)}$, max, ГПа	$\sigma_r^{(2)} = \sigma_\varphi^{(2)}$, ГПа
C-Al	-0,578437	0,578437	-0,578437
W-Al	-0,209890	0,209890	-0,209890
C Ti	-0,185485	0,185485	-0,185485
W Ti	-0,076084	0,076084	-0,076084

З цих даних випливає, що навіть при порівняно невисокій зміні температури $T = 100^\circ$ додаткові внутрішні локалізовані термонапруження в алюмінієвій матриці, зумовлені несумісністю її термомеханічних властивостей із властивостями включень, мають високе значення. Вони співмірні з граничними значеннями міцності алюмінієвих сплавів, які знаходяться в діапазоні $0,16 \div 0,5$ ГПа, що спричинено великим значенням $\alpha_2 = 22,6 \cdot 10^{-6} K^{-1}$.

Для титанової матриці ситуація більш сприятливіша, оскільки у титану $\alpha_2 = 8,6 \cdot 10^{-6} K^{-1}$, однак і в цьому випадку напружений стан матриці близький до критичного, так як для сплавів титану границі міцності лежать в діапазоні $0,7 \div 1,05$ ГПа.

Для розглянутих випадків слід враховувати ще одну особливість, пов'язану з тим, що пораховані напруження зменшується пропорційно квадрату радіальної координати і мають локальний характер. Тому можна припустити, що в матеріалі металеві матриці в околі волокон виникають пластичні деформації та дефекти, а в матрицях з крихких керамічних або полімерних матеріалів відбуваються локальні розтріскування. У загальному випадку вони можуть мати прихований характер і не піддаватися спостереженню.

Висновки.

1. На базі методів теорії термопружності поставлена задача про термонапружений стан композиту, що складається з матриці, армованої волокнами. Сформульовані розв'язувальні рівняння, побудовані їх рішення у замкнутій формі.
2. Показано, що в системі реалізується внутрішній механізм виникнення додаткових термонапружень, які концентруються на поверхнях контакту фаз композиту і спадають обернено пропорційно квадрату радіальної координати.
3. Встановлено, що для алюмінієвих і титанових матриць, армованих вуглецевими або вольфрамовими волокнами, додаткові внутрішні термонапруження можуть досягати граничних значень міцності навіть при помірних значеннях приростів температури.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гуляєв В.І., Гайдайчук В.В., Густелєв О.О., Шевчук Л.В. Термонапружений стан шарувато-неоднорідних дорожніх покриттів. Прикладна механіка 2021. – 57, №1 –С. 100-114.
2. Гуляєв В.І., Гайдайчук В.В., Мозговий В.В., Густелєв О.О., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В., Шлюнь Н.В. Термопружний стан багат шарових дорожніх покриттів. НТУ. Київ, 2019
3. Коваленко А.Д. Термоупругость. Вища школа. Киев. 1975
4. Новацкий В. Динамические задачи термоупругости. – М.: Мир, 1970
5. Сендецки Дж. Механика композитных материалов. Т.2. – М.: Мир, 1978
6. Beilecheva, T.G., Ziling, K.K. Thermoelastic axisymmetric problem for a two-layer cylinder. J Appl Mech Tech Phys 19, 108–113 (1978).
7. Carlson D.E. Thermoelasticity, Encyclopedia of Physics. V. Via/2 (ed. Trusdell C.), Springer, Berlin, 1972.
8. Christian Karch. Micromechanical analysis of thermal expansion coefficients. Modeling and Numerical Simulation of Material Science. – 2014, V.4, №3, – Pp. 1-15.
9. Christiansen R.M. Mechanics of Composite Materials; Wiley: New York, NY USA, 1979.
10. Elwardany M.D. King G., Planche J.P., Rodezno C., Christiansen D., Fertig III R.S., Kuhn K.H., Bhulyan F.H. Internal restraint damage mechanism for age-induced pavement surface damage. Asphalt Paving Technology: Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. – 2019. – 88.
11. Hetnarski R.B. Ignaczak J. Mathematical Theory of Elasticity, Taylor and Francis, New York, 2004.

REFERENCES

1. Huliaiev V.I., Haidachuk V.V., Hustieliev O.O., Shevchuk L.V. Termonapruzhenyi stan sharuvato-nednoridnykh dorozhnykh pokryttiv. Prykladna mekhanika 2021. – 57, №1 – 100-114 s.
2. Huliaiev V.I., Haidachuk V.V., Mozghovyi V.V., ZaietsYu.O., Shevchuk L.V., Shliun N.V. Termopruzhenyi stan bahatosharovykh dorozhnykh pokryttiv // Monohrafiia – K. : NTU, 2018. – 272 s
3. Kovalenko A.D. Termouprugost. Vyshcha shkola. Kyev – 1975
4. Novatskyi V. Dynamicheskiye zadachy termouprugosti. – М.: Myr, 1970
5. Sendetsky Dzh. Mekhanyka kompozytnukh materyalov. T.2. – М.: Myr, 1978
6. Beilecheva, T.G., Ziling, K.K. Thermoelastic axisymmetric problem for a two-layer cylinder. J Appl Mech Tech Phys 19, 108–113 (1978).
7. Carlson D.E. Thermoelasticity, Encyclopedia of Physics. V. Via/2 (ed. Trusdell C.), Springer, Berlin, 1972.
8. Christian Karch. Micromechanical analysis of thermal expansion coefficients. Modeling and Numerical Simulation of Material Science. – 2014, V.4, №3, – Pp. 1-15.
9. Christiansen R.M. Mechanics of Composite Materials; Wiley: New York, NY USA, 1979.
10. Elwardany M.D. King G., Planche J.P., Rodezno C., Christiansen D., Fertig III R.S., Kuhn K.H., Bhulyan F.H. Internal restraint damage mechanism for age-induced pavement surface damage. Asphalt Paving Technology: Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists. – 2019. – 88.
11. Hetnarski R.B. Ignaczak J. Mathematical Theory of Elasticity, Taylor and Francis, New York, 2004.

РЕФЕРАТ

Шлюнь Н.В. Про внутрішній механізм термопошкоджень в армованих композитах з термомеханічною несумісністю їх фаз /Н.В. Шлюнь, Ю.О. Заєць // Вісник Національного

транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Відомо, що в однорідному пружному середовищі, вільному від зовнішніх обмежень її переміщень, поля температури, які змінюються за лінійним законом вздовж просторових змінних, не викликають термопружних напружень. Ці напруження можуть виникати тільки у випадку, коли на границі системи накладені зовнішні (зовнішній механізм створення термонапружень) або система неоднорідна (внутрішній механізм створення термонапружень).

У роботі розглянутий внутрішній механізм створення термонапружень в пружних матрицях, армованих волокнами або стрижнями. На основі методів теорії термопружності побудовані розв'язки звичайного диференціального рівняння. Побудована їх рішення у замкнутій формі. Показано, що додаткові термонапруження концентруються на поверхні дотику фаз композиту і можуть досягати граничних значень навіть при помірних значеннях температури системи.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КОМПОЗИТНИЙ МАТЕРІАЛ, ТЕРМОПОШКОДЖЕННЯ, ПОЛЕ НАПРУЖЕНЬ, ТЕРМОНАПРУЖЕНИЙ СТАН, МАТРИЦЯ АРМОВАНА ВОЛОКНАМИ.

ABSTRACT

Shlyun N.V., Zaiets Yu. O. About the internal mechanism of thermal damage in reinforced composites with thermomechanical incompatibility of their phases. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

It is known that in a homogeneous elastic medium, free from external restrictions of its displacements, temperature fields varying linearly along spatial variables do not cause thermoelastic stresses. These stresses can arise only in cases where external restrictions are imposed on the boundary of the system (an external mechanism for creating thermal stresses) or the system is inhomogeneous (an internal mechanism for creating thermal stresses).

The paper considers the internal mechanism for creating thermal stresses in elastic matrices reinforced with fibers or rods. Based on the methods of the theory of thermoelasticity, the resolving ordinary differential equations are formulated, their solutions are constructed in a closed form.

It is shown that additional thermal stresses are concentrated on the interface of the composite phases and can reach limiting values even at moderate values of the system temperature.

KEY WORDS: COMPOSITE MATERIAL, THERMAL DAMAGE, STRESS FIELD, THERMAL STRESSED STATE, FIBER REINFORCED MATRIX.

АВТОРИ:

Шлюнь Наталія Володимирівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент, e-mail: nataliyashlyun@gmail.com, тел. +38(044) 280-71-09, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, orcid.org/0000-0003-1040-8870.

Заєць Юлія Олександрівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри вищої математики, e-mail: yzaets@gmail.com, тел. +380979712351, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, orcid.org/0000-0002-5748-9527

AUTHORS:

Shlyun N.V., Ph.D., National Transport University, tel. +38(044) 280-71-09, Ukraine, 01103, Kyiv, Boichuk str., 42, e-mail: nataliyashlyun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1040-8870

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.

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.

ПІДХОДИ СИНКРЕТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ В ПРОЕКТАХ ВІДНОВЛЕННЯ ДОРОЖНЬОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

Івко А.В., кандидат технічних наук, Державне агентство автомобільних доріг України, adrii.ivko.science@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3388-8355

APPROACHES OF SYNCRETIC MANAGEMENT IN ROAD INFRASTRUCTURE RESTORATION PROJECTS

Ivko A.V., Candidate of Technical Sciences (PhD), State Agency of Automobile Roads of Ukraine, adrii.ivko.science@gmail.com, orcid.org/0000-0002-3388-8355

Постановка проблеми.

Збройна агресія російської федерації проти України вже спричинила і надалі спричиняє значне руйнування дорожньої інфраструктури, зокрема автомобільних доріг і штучних споруд. На дорожню інфраструктуру під час війни покладено особливі задачі щодо забезпечення здійснення перевезень пасажирів і вантажів (в тому числі комерційних і гуманітарних), а в умовах відсутності повітряних і суттєвої обмеженості морських перевезень навантаження на дорожню інфраструктуру суттєво збільшується.

В Проекті Плану відновлення України (матеріалах робочої групи «Відновлення та розбудова інфраструктури»), розробленим Національною радою з відновлення України від наслідків війни, яка створена Указом Президента України від 21 квітня 2022 р. №266/2022 [1], визначено основні проблеми, які необхідно вирішити в рамках Плану відновлення, ключові виклики у сфері, ключові можливості, ключові обмеження, мету, що полягає у «створенні умов для розвитку та відновлення перевезень автомобільним транспортом, збільшення обсягів перевезень, відновлення та розвиток інфраструктури, забезпечення безпеки дорожнього руху», а також серед переліку завдань зазначено «встановлення джерел фінансування будівництва та експлуатації автомобільних доріг; ...автомобільного транспорту загального користування та удосконалення системи контролю; відновлення функціонування та розбудова безпечної інфраструктури національної мережі автомобільних доріг із урахуванням інклюзивності; розвиток внутрішніх та міжнародних перевезень пасажирів та вантажів; становлення сучасного ринку послуг; впровадження новітніх технологій та гармонізація законодавства щодо будівництва автомобільних доріг із законодавством ЄС» [2].

Виконання зазначених завдань і досягнення визначеної мети вимагає вдосконалених організаційних, методичних та управлінських підходів до здійснення управління відновленням дорожньої інфраструктури. Досвід, набутий під час реалізації проектів «Великого будівництва», має бути переосмислений, розвинутий і вдосконалений для вирішення більш складних і критично актуальних задач.

А отже, наукова задача щодо розробки нових підходів до управління проектами відновлення дорожньої інфраструктури є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Методологія управління проектами, що почала своє формування понад 40 років тому, інституалізувалася у великій кількості стандартів і керівництв, які являють собою зведення усталених практик, вивірених і застосованих моделей і методів. Одним із найпоширеніших стандартів у галузі управління проектами вважається PMBOK (Project Management Body of Knowledge) міжнародної асоціації управління проектами PMI (Project Management Institute) з центральним офісом у Сполучених Штатах Америки. Тридцятирічний розвиток цього стандарту призвів до появи шостої редакції [3], в якій сформульовано десять галузей знань з управління проектами, а саме: управління строками реалізації проекту, управління вартістю проекту, управління якістю у проекті, управління ресурсами проекту, управління закупівлями у проекті, управління ризиками у проекті, управління змістом проекту, управління комунікаціями у проекті, управління залученням зацікавлених сторін у проект, управління інтеграцією у проекті. В межах кожної галузі знань визначено перелік процесів,

кожен з яких характеризується вхідним потоком даних, моделями та інструментами, що використовуються в межах процесу, а також вихідним потоком даних. Пропонуються моделі і методи управління, що випробувані на практиці. Однак сьома, остання на сьогодні, редакція PMBOK [4] запропонувала новий концепт системи проектного управління, до якого увійшло вісім галузей знань, серед яких варто виділити (окрім тих, що мають відповідники у попередньому) тейлорінг – «зшиття» проекту. Саме тейлорінг започатковує дискусію щодо застосування різномірних моделей, методів, інструментів і навіть підходів (методологій) до управління окремим проектом. Якщо раніше корпоративні системи управління проектами підприємств і організацій почали базуватися на ранніх версіях PMBOK в намаганні максимально втілити усі особливості стандарту, що змусило PMI прямо написати в одному з стандартів, що PMBOK не є методологією, то тепер концепція тейлорінгу прямо передбачає необхідність узгодження різномірних інструментів управління в межах окремого проекту або відповідної корпоративної методології.

У стандарті ISO 21500 [5] Міжнародної організації зі стандартизації ISO використовується перелік галузей знань, подібний до відповідного переліку PMBOK, однак його викладено дещо інакше. Однією з цілей такого переосмислення класичного стандарту, очевидно, є можливість сертифікації організацій, що реалізують проектну діяльність, у відповідності до вимог, принципів і постулатів, що практикуються в ISO.

Окремий кластер стандартів присвячений не стільки процесам управління проектом (хоча і їм також), скільки формулюванню вимог до фахівців у галузі управління проектами. Зокрема, у стандарті ICB [6] сформульовано три групи вимог, що, відповідно названі «Люди», «Практика» і «Перспектива», в межах яких визначено і охарактеризовано елементи системи знань, якими має володіти проектний менеджер, що претендує на міжнародну сертифікацію як фахівець. Корисно, що кожен елемент системи знань ICB описує необхідні моделі і методи для управління відповідними аспектами проекту, хоча і не надає їм детальної характеристики.

Також одним з різновидів стандартів з управління проектами є такі, що походять з IT сфери. Від відомого стандарту PRINCE2 (Projects In Controlled Environment) [7] Англійської асоціації управління проектами (стандарт визнано у Великій Британії у якості державного) до гнучкої методології Agile. В PRINCE2, зокрема, постульовані моделі і методи, що придатні до використання в проектах відновлення дорожньої інфраструктури, серед них модель управління за відхиленнями, метод періодичного розрахунку економічної доцільності проекту, модель верхньорівневої структури керівництва проектом тощо.

Розвиток методологій управління проектами також відбувався у напрямку формування національними асоціаціями власних стандартів, серед таких стандартів варто виділити APM Body of Knowledge [8] Англійської асоціації управління проектами та Program and Project Management for Enterprise Innovation (P2M) [9] Японської асоціації управління проектами PMAJ (Project Management Association of Japan). Саме останній зазначений стандарт започаткував галузь знань щодо управління цінностями у проекті, яка відображена зараз майже в усіх останніх редакціях сучасних стандартів, включно з PMBOK.

При побудові корпоративної системи управління проектами організація, що ставить на меті створення такої системи, може використовувати різні підходи і методології. Наприклад, гнучку методологію Agile [10], методологію проактивного управління [11], підходи спіральної динаміки [12] тощо. В такому випадку виникає задача формування власного підходу на основі здобутків попередніх підходів на принципі їх поєднання. Така задача описана в літературі [13] і реалізується у різновидах гібридної, адаптивної або конвергентної методології. Однак використання принципу не змішування окремих методологічних елементів, їх окремого існування в межах корпоративної методології (принципу синкретизму) досліджено недостатньо.

Формування цілей статті.

З урахуванням викладеного вище, метою статті є дослідження різновекторних підходів до управління проектами і, на їх основі, формулювання синкретичного підходу як базису синкретичної методології для ефективного управління проектами відновлення дорожньої інфраструктури.

Об'єкт дослідження – процеси управління проектами відновлення дорожньої інфраструктури, що реалізуються в умовах війни і накладених нею суттєвих обмежень щодо таких проектів, зокрема щодо часу їх реалізації, доступності ресурсів, високих ризиків.

Предмет дослідження – синкретична методологія управління проектами відновлення дорожньої інфраструктури як ефективне поєднання різновекторних, цілісних, однак таких, що раніше могли не використовуватися разом, компонентів (підходів) до управління проектами.

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

Виклад основного матеріалу дослідження.

Розглянемо особливості проектів відновлення дорожньої інфраструктури. В частині VI «Сфера автомобільного, міського електричного транспорту, автомобільних доріг та дорожнього господарства» Проекту Плану відновлення України зазначені основні виклики, що постають перед сферою дорожнього господарства. Серед таких викликів виділимо наступні:

неможливість через бойові дії визначення необхідного повного обсягу робіт з нового будівництва, реконструкції, поточного ремонту та поточного середнього ремонту та утримання на мережі автомобільних доріг для безперешкодного і безпечного руху;

необхідність швидкого відновлення зруйнованих внаслідок бойових дій ділянок автомобільних доріг або їх складових та створення умов для безпечного проїзду;

значне зростання обсягу перевезення вантажів автомобільним транспортом через блокування роботи портів та низьку пропускну здатність перевантажувальних залізничних пунктів у місцях зміни ширини колії, що в результаті призводить до прискореного руйнування автомобільних доріг через надмірне навантаження;

необхідність забезпечення безперебійного функціонування дорожньої мережі та швидке реагування на зміну оперативної ситуації [2, с.126].

Зазначені виклики створюють систему суттєвих обмежень для реалізації проектів відновлення дорожньої інфраструктури і, як вбачається, зокрема вимагають поєднання таких проектів у відповідний портфель проектів відновлення, а також розробки і застосування специфічної методології управління такими проектами.

З метою визначення основ такої методології, проведемо аналіз підходів, що існують, до управління проектами, які можуть бути застосовані в проектах відновлення дорожньої інфраструктури, а також для управління відповідним портфелем проектів.

1) Класичний підхід до управління проектами.

В межах такого підходу створюються корпоративні системи управління проектами на базі усталених і визнаних стандартів, таких як PMBOK американської асоціації управління проектами PMI (Project Management Institute), ISO 21500 міжнародної асоціації зі стандартизації ISO тощо. Виділимо декілька елементів класичного підходу, які доцільно використовувати в межах синкретичної методології управління проектами відновлення дорожньої інфраструктури.

Офіс управління проектами. Група фахівців, що відповідають за управління окремими проектами та управління портфелем проектів в цілому, поєднується в специфічну організаційну структуру – офіс управління проектами (ОУП). Важливо виокремити організаційні і функціональні особливості такої структури. Щодо організаційних особливостей, варто відмітити три основних організаційних моделі ОУП:

- *Створення організаційної структури у штатному розписі.* Така модель має перевагою підвищення відповідальності працівників ОУП внаслідок інтеграції в організаційну структуру керуючої компанії, однак недоліком є ризик надлишкової формалізації і бюрократизації діяльності ОУП, внаслідок чого його креативний потенціал може бути розкритим недостатньо;
- *Залучення групи консультантів на контрактних умовах.* За такої моделі кожен працівник офісу обирається на посаду в групі управління проектом на умовах індивідуального конкурсу, як це відбувається, зокрема, у спільних проектах Уряду України і міжнародних фінансових організацій. Перевагою цієї моделі є можливості більшого розкриття креативного потенціалу ОУП, однак недоліком – нижчий рівень контролю і, внаслідок цього, значний ризик неотримання (недоотримання, невчасного отримання) ефективних результатів роботи ОУП, а також ризик незлагодженої командної взаємодії учасників ОУП з причини високої ймовірності відсутності у них досвіду спільної успішної роботи;
- *Делегування функцій управління проектами зовнішній організації.* Така модель схожа на попередню, відмінністю є залучення на умовах контракту до управління проектом не

окремих фахівців (кожного за умовами конкурсу), а цілої компанії (організації). Внаслідок цього мінімізується останній ризик, притаманний попередній моделі, оскільки ОУП представлений спрацьованою командою, однак залишається ризик недоотримання потрібних результатів роботи внаслідок слабшого рівня відповідальності відносно першої описаної моделі.

- *Комбінована модель.* Полягає у частковому використанні елементів кожної з трьох вище описаних моделей, зокрема в керуючій організації може бути створено організаційну структуру (підрозділ) або робочу групу для управління проектом, якій (структурі або групі) підпорядковуватимуться і окремі консультанти і, за потреби, зовнішня організація. Потенційними перевагами такої моделі є мінімізація ризиків, притаманних попереднім моделям. Недоліками – складність реалізації перехресних процесів підпорядкування і контролю.

Для цілей управління проектами відновлення дорожньої інфраструктури можуть використовуватися усі описані моделі, перевагу варто віддати комбінованій моделі, що передбачатиме створення структурного підрозділу (власне ОУП), якому буде делеговано повноваження щодо можливості залучення окремих консультантів з управління визначеними аспектами проектів на контрактних умовах.

Варто також проаналізувати класифікацію ОУП за принципом роботи, що передбачає різні концепції діяльності такого організаційного утворення, і включає основні відповідні типи, які описано нижче.

- *Офіс спостереження за реалізацією проектів.* Основними задачами такого ОУП є отримання даних щодо реалізації проектів, очищення таких даних, побудова залежностей, візуалізація даних та побудова та перевірка статистичних гіпотез (що збігається з задачами підготовки бізнес аналітики – BI, Business Intelligence), ще одна група задач такого офісу полягає у відслідковуванні графіків реалізації проектів (як приклад, моделі Ганта – Gant Chart) і інформуванні про їх перебіг керівництва організації, для чого можуть застосовуватися різноманітні ІТ засоби, які будуть охарактеризовані нижче. При цьому функція безпосереднього управління окремими проектами і портфелем проектів загалом покладається на керівництво вищого рівня (топ менеджмент) керуючої організації.
- *Офіс методологічної підтримки реалізації проектів.* Основним спрямуванням роботи такого офісу є формування, поширення і відслідковування системи правил проектної діяльності в реалізації проектів керуючої організації. Така система правил може включати (зокрема, але не обмежуючись) шаблони проектних документів, шаблони графіків моніторингу проектів, регламенти проектної діяльності, рольові (або посадові, в залежності від організаційної моделі) інструкції працівників ОУП, і, на вищому рівні – правила корпоративної культури керуючої організації відносно управління проектами, кодекс етики проектної діяльності, архітектуру процесів і систем проектної діяльності. Як і у попередній моделі, такий ОУП є елементом системи підтримки прийняття рішень топ-менеджментом керуючої організації, при чому функцію безпосереднього управління проектами (та портфелем проектів, якщо окремо передбачене сукупне управління усіма проектами організації як портфелем) здійснює саме топ-менеджмент.
- *Офіс врегулювання конфліктів.* Такий ОУП передбачає винесення конфліктів, що виникають в проектах, на окремий рівень – рівень ОУП, на якому передбачені повноваження щодо врегулювання таких конфліктів. Типовими конфліктами, що розв'язуються в такому ОУП, можна вважати ресурсний конфлікт, конфлікт щодо термінів реалізації проектів, конфлікт повноважень, фінансовий конфлікт, конфлікт щодо відповідності продукту проекту визначеним вимогам до якості. Функції безпосереднього управління проектами такому ОУП також не притаманні.
- *Офіс безпосереднього управління (офіс управління).* Здійснює повний цикл управління проектом, що включає аналіз даних, планування, організацію, контроль над реалізацією та завершення проектів. Особливістю такого ОУП є наявність повноважень щодо прийняття рішень в межах проекту, зокрема таких, що впливають на його параметри – час, вартість, вимоги до якості продукту проекту тощо.

Відповідно до високої важливості і чутливості до помилок проектів відновлення дорожньої інфраструктури, доцільним вбачається використання у системах управління такими проектами моделі офісу управління, коли ОУП відповідатиме назві не тільки формально, але й функціонально.

В межах класичного підходу до управління проектами варто також згадати водоспадну модель життєвого циклу проекту, яка, однак, підлягає критиці з боку прихильників наступного (гнучкого) підходу, що буде аналізуватися далі. «Водоспад» передбачає, що усі фази життєвого циклу проекту (в стандартній моделі – це фази «ініціалізації», «планування», «реалізації» і «завершення» проекту) реалізуються послідовно, одна за одною, без перекриття, тобто початок наступної фази починається після завершення попередньої. Однак в межах кожної фази можуть існувати етапи, що здійснюються паралельно. Реалізація проекту за такою моделлю вважається більш тривалою на відміну від гнучкої моделі життєвого циклу. Проте існує багато проектів і класів проектів, для яких саме водоспадна модель є виправданою і доцільною, варто згадати (в межах того самого ІТ, з якого походить гнучка методологія, що заперечує «водоспад») проекти розробки складного програмного забезпечення – операційних систем, систем планування ресурсів підприємства тощо.

Загалом, класичний підхід в управлінні проектами є відпрацьованим, вивіреном, стандартизованим і доцільним до використання у великій кількості проектів. Його можна рекомендувати (як елемент) до застосування в межах синкретичної методології управління проектами відновлення дорожньої інфраструктури.

2) Гнучкий підхід в управлінні проектами.

Такий підхід, представлений гнучкою методологією Agile, виник в ІТ галузі для управління ІТ проектами в межах невеликих команд [10]. Однак зараз він як цілком, так і, іноді, окремими його елементами, успішно використовується у проектах різних масштабів інших галузей діяльності. Проаналізуємо основні особливості такого підходу або, у його ж термінах, його «артефакти».

Маніфест Agile. Набір цінностей гнучкого управління проектами, що включає чотири основні постулати «люди та їх співпраця важливіші за інструменти та точне дотримання процесів», «позитивна співпраця з замовником важливіше за жорсткі контрактні обмеження», «продукт, що працює, важливіше за довершену документацію по ньому», «готовність до змін важливіша за точне дотримання плану». Такі цінності прямо корелюють із цінностями проектів відновлення дорожньої інфраструктури, що мають відбуватися під час війни. Обмеження у їх використанні можуть стосуватися лише правил, визначених діючими нормативно-правовими актами, що регулюють діяльність учасників проектної діяльності.

Гнучкий життєвий цикл. На відміну від моделі «водоспаду» фази гнучкого життєвого циклу можуть перекривати одна одну і не тільки – від наступної фази може бути здійснено перехід до попередньої (будь-якої з попередніх), саме тому така модель є гнучкою. Модель не завжди може бути застосована до класичних проектів, однак її елементи активно використовуються в умовах жорстких дедлайнів і в середовищі, що слабо прогнозується. Це відповідає умовам, в яких мають реалізовуватися проекти відновлення дорожньої інфраструктури. А отже, за результатами аналізу, варто розглянути комбіновану модель життєвого циклу для досліджуваних проектів, яка б поєднувала певну гнучкість і була б заснована на «водоспаді».

Розподілені команди. Інтернаціоналізація проектів призводить до того, що учасники проектних команд можуть бути географічно, культурно і методологічно розподіленими. Такі умови породжують специфічні вимоги до організації роботи з управління проектами, потребують застосування кроскультурних, методологічно змішаних підходів, що, зокрема, додатково актуалізує тематику розробки нової методології взаємодії в межах проектів, а отже пропонується синкретичний підхід може бути спрямований на задоволення описаних умов.

Специфічні ІТ інструменти. Внаслідок низки причин, серед яких:

- походження з ІТ сфери і відповідна специфічність артефактів ІТ проектів, що вимагають інституалізації у певних ІТ конструктах;
- гнучкість життєвого циклу і необхідність підлаштовуватися під такий тип моделі;
- географічна розподіленість учасників проектної команди;
- можлива початкова методологічна несумісність підходів учасників команд, що представляють різні країни тощо,

в межах гнучкої методології управління проектами створено і використовується специфічне програмне забезпечення – канбан-дошки, інструменти спільної роботи розробників, діаграми згоряння задач тощо.

Загалом, гнучкий підхід, не зважаючи на сферу, з якої походить, за умовами реалізації і окремими застосовними моделями, має значну подібність до обставин, в яких мають розгортатися проекти відновлення дорожньої інфраструктури, а отже він (як елемент) може бути рекомендований для включення до синкретичного підходу в межах системи управління такими проектами.

3) Проактивний підхід до управління проектами.

Сутність підходу полягає у завчасному формуванні стратегії реалізації проектів і сукупностей проектів (портфелів проектів, програм розвитку) та, на основі такої стратегії, планування та здійснення прогнозованого розвитку, а також урахування моделей прогнозування поведінки як самого проекту, так і його внутрішнього і зовнішнього оточуючого середовища.

При цьому застосовуються ймовірнісні прогностичні моделі, які надають можливість здійснювати не управління у відповідь на зміни зовнішнього середовища (так зване «реактивне управління»), а забезпечувати перебіг проекту у відповідності до завчасно створеної і всебічно проаналізованої власної стратегії [11].

Безумовно, сучасні умови і їх динаміка, війна, під час якої повинні реалізовуватися досліджувані проекти, мають характер слабкої прогнозованості перебігу. Може здатися, що в таких умовах використання проактивного управління і проактивних моделей не є доцільним і доречним. Однак варто зазначити, що у певних межах застосування (наприклад, щодо врахування надмірного рівня невизначеності, осяжності, але стратегічної віддаленості перспектив), такі моделі і підхід в цілому може знайти гідне місце серед інструментів і підходів синкретичної методології управління проектами розвитку дорожньої інфраструктури.

4) Спіральна динаміка організаційного розвитку.

Підхід, який до цього часу був недостатньо опрацьований в межах класичних методологій управління проектами і, на перший погляд, слабо з ними співвідноситься. Полягає у позиціонуванні спіралі організаційного розвитку, на вершині якої повністю реалізується і розкривається творчий потенціал кожного учасника організації (контекстуально можна застосувати як до кожного учасника команди управління проектом, так і до кожного учасника проектної команди загалом). Описує рівні спіралі організаційного розвитку і відповідні моделі взаємодії учасників колективів в межах таких рівнів [12]. Разом з високою ризикованістю застосування такого підходу в жорстких умовах адміністративного управління, він є певним його антагоністом, а отже добре відповідає принципу первісної несумісності методологій до включення у синкретичний підхід. Окремі підрозділи (робочі групи), що включені в проекти відновлення дорожньої інфраструктури, що займаються, зокрема, генерацією альтернатив, розробкою рішень, створення нових моделей технічного чи управлінського характеру, можуть бути місцем застосування такої методології.

5) Синкретичний підхід до управління проектами.

Як вже було зазначено, синкретичний підхід має включати поєднання таких, що раніше не поєднувалися, елементів в межах одної системи без явного перемішування (об'єднання). Охарактеризуємо підходи (методології), що були проаналізовані вище і які можуть стати окремими елементами синкретичного підходу (методології) управління проектами відновлення дорожньої інфраструктури (табл. 1). В таблиці позначка «+» відповідає низькому рівню відповідної характеристики в межах підходу, «++» – середньому, «+++» – високому.

Сформулюємо принципи, на яких може ґрунтуватися синкретична методологія управління проектами, що розроблюється для використання в межах систем управління проектами (портфелями проектів) відновлення дорожньої інфраструктури:

- принцип неперемішування компонентів методології;
- принцип цілісності кожного окремого компоненту;
- принцип достатності представлених у компоненті моделей і методів для відтворення відповідного підходу;
- принцип узгодженості компонентів між собою;
- принцип обов'язкової ІТ реалізації синкретичної методології (та/або її компонентів) у відповідному інтегральному інструменті.

Таблиця 1 – Характеристика підходів до управління проектами відновлення дорожньої інфраструктури

Table 1 – Characteristics of approaches to the road infrastructure restoration projects management

Підходи до управління проектами	Характеристики підходів		
	Гнучкість	ІТ супровід	Застосовність до досліджуваної галузі
Класичний підхід	+	++	+++
Методологія Agile	+++	+++	++
Проактивний підхід	++	+	++
Спіральна динаміка	+	+	+
Синкретичний підхід	+++	++	+++

Окремо опишемо набір необхідних ІТ інструментів підтримки прийняття рішень, що посилять інструментарій синкретичного підходу до управління проектами відновлення дорожньої інфраструктури.

- 1) інтерактивний інструмент відображення стану відновлення зруйнованих доріг і штучних споруд, що буде доступним дистанційно;
- 2) інструмент управління розкладом проекту, що реалізує класичну діаграму Ганта та/або канбан-дошку;
- 3) інструмент підтримки платформи комунікації учасників проектної команди, представників замовника і зацікавлених сторін;
- 4) інструмент управління знаннями системи управління проектом, з елементами обробки і використання попереднього (або запозиченого) досвіду;
- 5) інструмент візуалізації даних щодо проектів (дашборди) у контексті реалізації функції Business Intelligence.

Важливо відмітити синкретичний характер таких інструментів, а саме походження їх з різних, часто неспоріднених галузей знань, і таких, що, як правило, не застосовуються спільно. Що відповідає синкретичному характеру самої методології управління проектами відновлення дорожньої інфраструктури, яка пропонується.

Висновки і перспективи подальших досліджень.

Проекти відновлення дорожньої інфраструктури є надзвичайно актуальними зараз, під час війни, не втрачатимуть вони своєї актуальності і після нашої перемоги. Їх успішна реалізація впливає на нагальне вирішення актуальних логістичних задач в тому числі гуманітарного характеру. До таких проектів висувуються особливі вимоги, зокрема щодо необхідності швидкого відновлення зруйнованих ділянок автомобільних доріг або їх складових та створення умов для безпечного проїзду, вони реалізуються у жорстких обмеженнях внаслідок, зокрема, значного зростання обсягу перевезення вантажів автомобільним транспортом через блокування роботи портів та низьку пропускну здатність перевантажувальних залізничних пунктів у місцях зміни ширини колії, що в результаті призводить до прискореного руйнування автомобільних доріг через надмірне навантаження.

Підходи до управління такими проектами дослідженні недостатньо, а відповідні методології не сформовані. В межах цього було визначено актуальну наукову задачу побудови синкретичної методології управління проектами відновлення дорожньої інфраструктури, проаналізовано і запропоновано компоненти такої методології у вигляді класичного підходу, гнучкої методології, спіральної динаміки і проактивного підходу. Було сформульовано принципи, на яких може ґрунтуватися синкретична методологія управління проектами (портфелями проектів) відновлення дорожньої інфраструктури, описано набір необхідних ІТ інструментів підтримки прийняття рішень, що посилять інструментарій синкретичного підходу до управління проектами відновлення дорожньої інфраструктури.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на формулювання моделей і методів реалізації синкретичної методології, а також її ефективного впровадження. Також необхідно визначити актуальною, в межах синкретичного підходу, задачу щодо створення моделей і методів реалізації

ефективних зв'язків між елементами синкретичної методології управління проектами відновлення дорожньої інфраструктури.

Розроблений і апробований науковий доробок у цьому напрямі має сприяти швидкому і ефективному відновленню дорожньої інфраструктури, спрощенню виконання різновекторних логістичних задач, що постають перед Україною, наблизенню перемоги у війні.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Указ Президента України від 21 квітня 2022 р. №266/2022 “Питання Національної ради з відновлення України від наслідків війни” [Електронний ресурс] / Сайт Президента України // Режим доступу: <https://www.president.gov.ua/documents/2662022-42225> .

2. Проект Плану відновлення України (матеріали робочої групи «Відновлення та розбудова інфраструктури»). Національна рада з відновлення України від наслідків війни [Електронний ресурс] / Сайт Кабінету Міністрів України. – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/restoration-and-development-of-infrastructure.pdf>.

3. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Sixth Edition [Текст] / USA. – PMI, 2017. – 756 p.

4. The Standard for Project Management and a Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition [Текст] / USA. – Project Management Institute, 2021. – 250 с.

5. ISO 21500:2012. Guidance on project management [Текст] / Project Committee ISO/PC 236. 2012. – 36 с.

6. IPMA “Individual Competence Baseline” (ICB) Version 4.0 for Project, Programme & Portfolio Management [Електронний ресурс] / IPMA, 2015. – 431 с. – Режим доступу: <http://products.ipma.world/ipma-product/icb/read-icb/>.

7. OGC (Office of Government Commerce). Managing Successful Projects with PRINCE2 [Текст]. – TSO (The Stationery Office), Printed in the United Kingdom for The Stationery Office. – 2009. – 327 с.

8. The APM Body of Knowledge 6th edition [Електронний ресурс] / Сайт Англійської асоціації управління проектами APM. – Режим доступу: <http://www.apm.org.uk/knowledge>.

9. A Guidebook of Program & Project Management for Enterprise Innovation (Third Edition P2M) [Електронний ресурс] / Сайт Японської асоціації управління проектами PMAJ. – 2016. – Режим доступу: [https://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m_guide/P2M_Bibelot\(All\)_R3.pdf](https://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m_guide/P2M_Bibelot(All)_R3.pdf).

10. Stellman, A. Learning Agile: Understanding Scrum, XP, Lean, and Kanban [Текст] /Andrew Stellman, Jennifer Greene.–O’Reilly Media, 2013.–420 p.

11. Бушуєва, Н. С. Матричні технології проактивного управління програмами організаційного розвитку [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.13.22 / Н. С. Бушуєва. – Київський національний університет будівництва і архітектури, 2008. – 40 с.

12. Laloux, Frederic. Reinventing Organisations: A Guide to Creating Organisations Inspired by the Next Stage of Human Consciousness [Текст] / Frederic Laloux. – Nelson Parker. – 2014. – 382 p.

13. Kerzner, Harold. Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling (10th ed.) [Текст] / Harold Kerzner. – Wiley. – 2009. – 1120 p.

REFERENCES

1. Decree of the President of Ukraine dated April 21, 2022 No. 266/2022 "Questions of the National Council for the Recovery of Ukraine from the Consequences of the War". Access mode: <https://www.president.gov.ua/documents/2662022-42225>.

2. Draft of the Recovery Plan of Ukraine (materials of the working group "Recovery and development of infrastructure"). National Council for the Recovery of Ukraine from the Consequences of the War. Access mode: <https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/recoveryrada/ua/restoration-and-development-of-infrastructure.pdf>.

3. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Sixth Edition (2017). USA. – PMI, 756 p.

4. The Standard for Project Management and a Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition (2021), USA, Project Management Institute (PMI), 250 p.

5. ISO 21500:2012. Guidance on project management (2012). Project Committee ISO/PC 236, 36.

6. IPMA "Individual Competence Baseline" (ICB) Version 4.0 for Project, Programme & Portfolio Management (2015). IPMA, 431 p. – Available: <http://products.ipma.world/ipma-product/icb/read-icb/>.
7. OGC (Office of Government Commerce). (2009) Managing Successful Projects with PRINCE2. – TSO (The Stationery Office), Printed in the United Kingdom for The Stationery Office, 327 p.
8. The APM Body of Knowledge 6th edition. The site of the English APM Project Management Association. Access mode: <http://www.apm.org.uk/knowledge>.
9. A Guidebook of Program & Project Management for Enterprise Innovation (Third Edition P2M) (2016). Access mode: [https://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m_guide/P2M_Bibelot\(All\)_R3.pdf](https://www.pmaj.or.jp/ENG/p2m/p2m_guide/P2M_Bibelot(All)_R3.pdf).
10. Stellman A., Greene J. (2013) Learning Agile: Understanding Scrum, XP, Lean, and Kanban. O'Reilly Media, 420 p.
11. Bushueva N.S. (2008) Matrix technology for proactive program management organizational development: Autoref. Thesis. ... Doctor. Techn. Sciences: 05.13.22. – Kyiv National University of Construction and Architecture, 40 p.
12. Frederic Laloux (2014) Reinventing Organisations: A Guide to Creating Organisations Inspired by the Next Stage of Human Consciousness. Nelson Parker. February 9, 382 p.
13. Harold Kerzner (2009). Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling (10th ed.), Wiley, 1120 p.

РЕФЕРАТ

Івко А.В. Підходи синкретичного управління в проектах відновлення дорожньої інфраструктури / А.В. Івко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

У статті поставлено задачу формування синкретичної методології управління проектами відновлення дорожньої інфраструктури та запропоновано базис такої методології.

Об'єкт дослідження – процеси управління проектами відновлення дорожньої інфраструктури, що реалізуються в умовах війни і накладених нею суттєвих обмежень щодо таких проектів, зокрема щодо часу їх реалізації, доступності ресурсів, високих ризиків.

Предмет дослідження – синкретична методологія управління проектами відновлення дорожньої інфраструктури як ефективне поєднання різновекторних, цілісних, однак таких, що раніше могли не використовуватися разом, компонентів (підходів) до управління проектами.

Мета роботи – дослідження різновекторних підходів до управління проектами і, на їх основі, формулювання синкретичного підходу як базису синкретичної методології для ефективного управління проектами відновлення дорожньої інфраструктури.

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

У роботі проведено аналіз підходів і методологій, що можуть бути складовими частинами синкретичної методології управління проектами відновлення дорожньої інфраструктури. Запропоновано принципи синкретичного підходу. Описано потрібні ІТ інструменти, що мають використовуватися в межах підходу. Окреслено наукову задачу розробки моделей зв'язків між елементами синкретичної методології. Визначено напрямки подальших досліджень.

Результати статті можуть бути використані під час розробки ефективних систем управління проектами відновлення. Також результати роботи можуть бути впроваджені в освітній процес під час викладання навчальних дисциплін циклу професійної підготовки майбутніх фахівців транспортної галузі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПРОЕКТИ ВІДНОВЛЕННЯ ДОРОЖНЬОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ, УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ, СИНКРЕТИЧНА МЕТОДОЛОГІЯ.

ABSTRACT

Ivko A.V. Approaches of syncretic management in road infrastructure restoration projects. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

In this paper sets the task of forming a syncretic methodology for managing road infrastructure restoration projects and proposes the basis of such a methodology.

The object of the study – the management processes of road infrastructure restoration projects implemented in the conditions of war and the significant restrictions imposed by it on such projects, in particular regarding the time of their implementation, availability of resources, high risks.

The subject of the study – the syncretic methodology of road infrastructure restoration project management as an effective combination of integral, but different vector, components (approaches) to project management that may not have been used together before.

The purpose of the article – the study of multi-vector approaches to project management and, based on them, the formulation of a syncretic approach as the basis of a syncretic methodology for effective management of road infrastructure restoration projects.

Method of the study – to achieve the goal of the work, the following methods were used: analysis, synthesis, systematization, generalization, formulation of conclusions.

The paper analyzes the approaches and methodologies that can be components of a syncretic methodology for managing road infrastructure restoration projects. The principles of the syncretic approach are proposed. The necessary IT tools to be used within the approach are described. The scientific task of developing models of connections between elements of syncretic methodology is outlined. Directions for further research are determined.

The results of the article can be used during the development of effective management systems for restoration projects. Also, the results of the work can be implemented in the educational process during the teaching of educational disciplines of the cycle of professional training of future specialists in the transport industry.

KEY WORDS: ROAD INFRASTRUCTURE RESTORATION PROJECTS, PROJECT MANAGEMENT, SYNCRETIC METHODOLOGY.

АВТОР:

Івко Андрій Володимирович, кандидат технічних наук, Державне агентство автомобільних доріг України, перший заступник Голови, e-mail: andrii.ivko.science@gmail.com, тел. +380442875727, Україна, 03150, м. Київ, вул. Фізкультури, 9, orcid.org/0000-0002-3388-8355.

AUTHOR:

Ivko Andrii V. Candidate of Technical Sciences (PhD), State Agency of Automobile Roads of Ukraine, first deputy Head, e-mail: adrii.ivko.science@gmail.com, tel. +380442875727, Ukraine, 03150, Kyiv, st. Fizkul'tury, 9. orcid.org/0000-0002-3388-8355

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Бубела А.В., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном.

Харута В.С., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного права та логістики.

REVIEWER:

A.V. Bubela, Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Professor of the Department of Transport Construction and Property Management.

V.S. Haruta, Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Professor of the Department of Transport Law and Logistics.

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ДУАЛЬНОЇ ВИЩОЇ ОСВІТИ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Славінська О.С., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, elenaslavin9@gmail.com, orcid.org/0000-0002-9709-0078

Рутковська І.А., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, ria.ntu@ukr.net, orcid.org/orcid.org/0000-0001-7832-4222

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

Усиченко О.Ю., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, fbbk@ukr.net, orcid.org//0000-0002-7482-8420

PERSPECTIVES OF DUAL HIGHER EDUCATION IMPLEMENTATION IN THE SPECIALISTS FOR THE TRANSPORT INDUSTRY OF UKRAINE TRAINING

Slavinska O.S., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, elenaslavin9@gmail.com, orcid.org/0000-0002-9709-0078

Rutkovska I.A., PhD in Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, ria.ntu@ukr.net, orcid.org//orcid.org/0000-0001-7832-4222

Bubela A.V., Doctor in Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, bubelaandrey@ukr.net, orcid.org//0000-0002-5619-003X

Usychenko O.Y., PhD in Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, fbbk@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7482-8420

Постановка проблеми.

Традиційні форми освіти характеризуються, здебільшого, теоретичним спрямуванням. Намагання освітян, при формуванні навчальних та робочих планів для здобувачів вищої освіти, збільшити обсяги практичної підготовки у вигляді лабораторних робіт, навчальної та виробничої практик не сприятимуть швидкій адаптації у виробничий процес випускників, які здебільшого мають обмежений практичний досвід. Працевлаштування обумовлює додаткове стажування або застосування роботодавцями випробувального терміну при прийомі на роботу. Особливої актуальності набуває отримання практичних навичок протягом терміну навчання, при підготовці фахівців технічних спеціальностей, для яких практична складова є визначальною з точки зору набутих знань та вмінь. Піонерним досвідом щодо дуальної освіти володіє Німеччина, там ще на початку 60-х років минулого сторіччя закладалися основи для сучасної форми дуальної освіти. В Україні дуальні форми освіти почали запроваджуватися у професійно-технічних училищах, оскільки саме в них забезпечується підготовка кваліфікованих робітників з обраної галузі народного господарства, де питання поєднання теоретичної та практичної підготовки є найбільш актуальними. Враховуючи те, що отриманий практичний досвід підвищує затребуваність випускників закладів вищої освіти на ринку праці, створює значні конкурентні переваги під час пошуку місця роботи та прискорює його адаптацію у виробничий процес, питання впровадження дуальної форми в практику підготовки фахівців бакалаврського та магістерського рівня вищої освіти набувають все більшої актуальності. Разом з тим, для більш ефективного впровадження дуальної форми освіти в Україні потребують розв'язання такі питання, як набуття досвіду організації навчального процесу за дуальною формою, перерозподіл навчального навантаження на користь частини практичної підготовки, подекуди пасивність адміністрацій виробничих підприємств та необхідність підготовки кваліфікованих наставників на виробництві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблемам розвитку професійного навчання кадрів та відходу від стандартної концепції, де професійна підготовка ведеться часто доволі формально, присвячені роботи ряду вітчизняних

науковців. Автором [1] проаналізовано сучасну ситуацію у сфері професійного навчання кадрів на виробництві в нашій країні та на основі проведеного аналізу рекомендоване використання зарубіжного досвіду для удосконалення системи професійного навчання кадрів на виробництві з метою підвищення конкурентоздатності робочої сили.

В роботі [2] досліджено історичні аспекти становлення та розвитку дуальної освіти, на основі досвіду професійної та вищої освіти різних країн, визначено особливості різних європейських навчальних програм. Підсумком проведеного дослідження визначено переваги та перспективи розвитку дуальної освіти в Україні.

Історично започатковано систему дуальної освіти як нову форму організації навчального процесу було в Німеччині в 60-х роках минулого століття. На теперішній час така форма навчання в Німеччині динамічно розвивається. Постійно зростає кількість дуальних курсів навчання та слухачів таких курсів, збільшується кількість закладів вищої освіти та компаній, що залучені в навчальний процес. Це обумовлене зростанням потреби в тіснішому зв'язку між професійно-технічною та академічною освітою в післяшкільній освіті. Разом з тим, авторами проведеного дослідження [3] відмічається, що сфера дуального навчання характеризується великою неоднорідністю: як з точки зору діапазону змісту запропонованих курсів і моделей їх реалізації, так і законодавчої бази, що значною мірою сильно відрізняється у 16-ти федеральних землях Німеччини. Наукове дослідження було проведене на замовлення Бундестагу для визначення потреби в регулюванні законодавчої бази дуальної освіти. Робота проводилась на основі аналізу законодавчої та економічної баз (регіональних попиту та пропозиції кваліфікованих робітників) за звітами Федерального агентства зайнятості та Федерального статистичного відомства. Крім того був проведений систематичний аналіз пропозиції та попиту на дуальну форму навчання шляхом загальнонаціонального онлайн-опитування дуальних студентів, компаній-партнерів та експертів. У дослідженні встановлено, що за 2021 рік у Німеччині було зафіксовано загалом 1991 дуальних курсів, що відповідає частці 9,6 % від загальної кількості 20635 курсів у Німеччині. Дуальна форма навчання затверджена на постійній основі і переважає на бакалаврському рівні вищої освіти (84,9 % дуальних курсів зорієнтовані на бакалаврів і тільки 18,1 % – на магістрів; тільки 2,8 % всіх магістерських курсів можна вивчати за дуальною формою). Автори відмічають нерівномірність запровадження дуальної форми освіти за регіонами, серед лідерів впровадження дуальної форми – Баварія (14 % усіх магістерських програм); в деяких регіонах дуальні магістерські курси взагалі не пропонуються. Висока практична орієнтація є одним із центральних аргументів на користь програми подвійного навчання для студентів, компаній та університетів.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Аналіз досвіду впровадження дуальної форми за кордоном дає можливість врахувати помилки та прискорити ефективне впровадження достатньо нової форми вищої освіти та удосконалення законодавчої бази в Україні.

Що стосується популярності та можливості впровадження дуальної форми на різних рівнях здобуття освіти з урахуванням галузевої специфіки набуття практичних навичок та досвіду можна відзначити наступне. Згідно з [3], більше $\frac{3}{4}$ опитуваних відмітили, що практична спрямованість на дуальних курсах значно вища, ніж на недуальних курсах, при більш вираженій практичній спрямованості на бакалаврських курсах дуального навчання. Щодо порівняння державних та приватних закладів вищої освіти Німеччини встановлене переважання дуальної форми освіти в приватному секторі (19,1 % порівняно з 8,7 % від всіх зареєстрованих програм). Дуальні програми зосереджені на шести предметних групах: найбільшу частку всіх дуальних курсів складають інженерні науки (35,4 %), за ними йдуть економіка та право (26,2 %); математика та природничі науки (13,4 %). Інші напрямки не перевищують 5 %, отже домінують інженерія та економічні науки. Щодо взаємодії між університетом і компанією, респонденти хотіли б більш тісної координації практичних проектів і практичних етапів навчання. Компанії, які беруть участь у програмі дуального навчання, не повинні розглядати студентів як дешеву робочу силу, повинні сприймати себе як місце навчання. Важливим є інтеграція співробітників компаній і партнерів-практиків у відповідні органи університетів. Разом з тим, встановлено, що тільки університети несуть відповідальність за забезпечення якості подвійного курсу навчання, не лише в теоретичній частині, але й для практичних етапів. Піднімається важливе питання стимулювання компаній надавати місця для студентів, які

навчаються на дуальній формі освіти. Така форма передбачає високий рівень застосування, підтримки та бюрократичних процедур для компаній. У зв'язку з цим багато компаній віддають перевагу наймати кваліфікованих випускників вищих навчальних закладів, аніж нести ризик і витрати на тривале навчання. Можливі труднощі з фінансуванням, особливо в малих компаніях. При забезпеченні взаємодії між університетом і компанією, як практичним партнером, підвищується практична спрямованість курсу навчання та сучасний рівень знань. Що стосується мотивування та факторів впливу на рішення здобувача вищої освіти про вибір форми навчання, то більше $\frac{3}{4}$ респондентів вважають дуже важливим фактором впливу на вибір кар'єрні перспективи та можливість отримання досвіду роботи під час навчання. Для майбутніх фахівців дуже важливим є змістовний інтерес до навчальної програми – підготовка до трудового життя, висока практична спрямованість курсу, можливість додаткового заробітку, перспективи престижного працевлаштування та кар'єрного зростання. Відповідно, основними напрямками для запровадження дуальної форми навчання в закладах вищої освіти є внесення змін в освітньо-професійні програми за рахунок посилення практичної підготовки здобувачів; набуття здобувачами компетентностей у відповідності до реальних вимог ринку праці; підвищення показників працевлаштування випускників, які вже попередньо визначилися зі своєю професійною траєкторією; розширення лабораторної бази за рахунок створених філіалів кафедр на підприємствах з сучасним матеріально-технічним обладнанням та забезпечення можливості стажування науково-педагогічного та педагогічного персоналу на виробництві; історичні традиції співпраці закладів вищої освіти з роботодавцями в галузі [4].

Міністерство освіти і науки України у партнерстві з Федерацією роботодавців України та іншими структурами і організаціями освіти та бізнесу створює сприятливі умови для популяризації та поширення дуальної форми здобуття освіти. Національний контекст вимагає адаптації зарубіжного досвіду до реалій української економіки та унеможливує створення єдиного підходу до організації дуального навчання за всіма спеціальностями. Транспортна галузь, враховуючи специфіку її функціонування, не є виключенням. Потреби сьогодення вимагають пошуку та реалізації нових ефективних форм підготовки фахівці галузі з акцентом на посилення її практичної складової. За визначенням «Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року» – транспортна галузь є однією з базових галузей економіки, що має розгалужену залізничну мережу, розвинуту мережу автомобільних шляхів, морські порти та річкові термінали, аеропорти та широку мережу авіаційних сполучень, вантажних митних терміналів, що створює необхідні передумови для задоволення потреб користувачів транспорту у наданні транспортних послуг та розвитку бізнесу [5].

Розвиток та забезпечення відповідності транспортної інфраструктури України стандартам ЄС є одним з пріоритетів програми «Велике будівництво», Плану відновлення України що має на меті масштабну розбудову якісної інфраструктури України.

За різними оцінками у минулий час, під час активного сезону будівництва та ремонтів транспортних споруд залучається щонайменше 35-40 тисяч працівників: від інженерів та проектувальників до машиністів і шляхових майстрів (за даними "Укравтодор" до 38 тисяч робітників на 4 тис. км доріг). При цьому ще близько 120 тисяч робочих місць створюються у суміжних галузях (виробництво матеріалів, проектувальні та інжинірингові послуги, сфера обслуговування, логістика, торгівля) [6].

Сьогодні, під час воєнного стану, галузь відчуває суттєвий дефіцит кваліфікованих кадрів, що мають забезпечити ефективну реалізацію плану відновлення транспортної інфраструктури, що підтверджують роботодавці, представники бізнесових структур та професійних організацій. Фахівці об'єднання лідерів галузі дорожнього будівництва та експлуатації доріг (Національної Асоціації дорожників України - НАДУ) вважають головною проблемою сьогодення і найближчого майбутнього недостатню кількість, а то і відсутність кваліфікованих інженерних кадрів [7].

Однією з проблем, що потребують розв'язання з метою забезпечення інноваційного розвитку транспортної галузі є невідповідність системи освіти та професійної підготовки фахівців сучасним інноваційним викликам, а саме, недосконала система їх підготовки [5]. З метою нівелювання цих невідповідностей необхідні системні заходи на державному рівні.

Планом заходів з реалізації Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (що затверджений розпорядженням Кабінету Міністрів України від 7 квітня 2021 р. № 321-р)

серед іншого передбачено до 2022 року впровадження інноваційних освітніх програм професійної підготовки та перепідготовки персоналу для галузі транспорту, у тому числі шляхом дуальної освіти. Це обумовлює виконання спільних програм закладів освіти, органів державного управління, бізнес-структур та громадських організацій шляхом створення на договірних засадах партнерства транспортних підприємств із закладами освіти для:

- виконання освітніх програм за дуальною формою і навчання на робочих місцях;
- включення роботодавців галузі до складу наглядових рад закладів освіти, науково-методичних комісій Науково-методичної ради МОН з питань розроблення відповідних освітніх стандартів задля забезпечення взаємодії між транспортними підприємствами і освітніми та науковими програмами для подальшого впровадження інноваційних технологій, підготовки кваліфікованих спеціалістів на основі потреб роботодавців та європейського досвіду.

Одним із напрямків удосконалення підготовки професійних кадрів для розвитку транспортної галузі України зокрема, є впровадження нових форм освіти – серед яких дуальна освіта, як елемент державно-приватного партнерства.

На всеукраїнському форумі "Освіта України 30 без бар'єрів: вектори якості та успіху" було наголошено, що саме за дуальною освітою майбутнє, що співпраця освітян з бізнесом та державою є критично необхідною.

Майбутні фахівці, що навчатимуться за дуальною формою, матимуть можливість отримувати не лише теоретичні знання, але на час закінчення навчання – практичну підготовку та досвід роботи.

Дуальна освіта передбачає рівноправне партнерство закладів освіти, роботодавців та здобувачів освіти.

На думку експертів НАДУ в сфері транспортної інфраструктури це матиме позитивний результат тільки за спільної участі Міносвіти, Мінінфраструктури та Укравтодору.

Концепцію підготовки фахівців за дуальною формою здобуття освіти схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 19 вересня 2018 р. № 660-р.

Метою Концепції [8] є вироблення засад державної політики щодо підвищення якості підготовки фахівців на основі дуальної форми здобуття освіти.

Реалізація Концепції здійснюється за такими етапами [9]:

- I етап – розроблення нормативно-правової бази для запровадження дуальної форми здобуття освіти у повному обсязі (2018-2019 рр.);
- II етап – розроблення типових моделей дуальної форми здобуття освіти у закладах освіти, реалізація пілотних проектів моделей дуальної форми здобуття освіти, проведення оцінки ефективності (2019-2020 рр.);
- III етап – створення кластерів дуальної освіти на базі конкурентоспроможних закладів освіти та зацікавлених роботодавців – підприємств, установ, організацій, у тому числі, тих, що належать до сфери управління органів державної влади (2020-2023 рр.).

В жовтні минулого року Міністерство освіти і науки України розробило та винесло на громадське обговорення проект «Положення про дуальну форму здобуття вищої та фахової передвищої освіти», яким передбачено навчання не тільки в освітніх установах, але і на робочих місцях на підприємствах, в установах та організаціях для набуття певної кваліфікації обсягом від 25 до 60 % загального обсягу освітньої програми [10].

Дуальна форма здобуття освіти здійснюється відповідно до освітніх програм закладу освіти. Особливості організації освітнього процесу за дуальною формою здобуття освіти відображаються в індивідуальних навчальних планах здобувачів, навчальному плані, в освітній програмі, робочих програмах навчальних дисциплін.

Частку індивідуального навчального плану, що виконується на робочому місці (ЧРМ), можна розрахувати за формулами [4]:

$$\text{ЧРМ} = \frac{\text{ОРМ}}{K}, \quad (1)$$

$$\text{ОРМ} = \sum_{i=1}^n K_i + \sum_{j=1}^m a_j K_j, \quad (2)$$

де ОРМ – обсяг навантаження здобувача, що виконується на робочому місці (за індивідуальним планом); К – загальна кількість кредитів ЄКТС за індивідуальним навчальним планом; п – кількість освітніх компонентів, повністю переданих партнерові (підприємству, організації) для забезпечення навчання на робочому місці; m – кількість освітніх компонентів, частково переданих партнерові (підприємству, організації) для забезпечення навчання на робочому місці; K_i – обсяг кредитів ЄКТС за i -м освітнім компонентом, повністю переданим партнерові (підприємству, організації) для забезпечення навчання на робочому місці; K_j – обсяг кредитів ЄКТС за j -м освітнім компонентом, частково переданим партнерові (підприємству, організації) для забезпечення навчання на робочому місці; a_j – частка навчального навантаження здобувача, що припадає на його навчання на робочому місці за j -м освітнім компонентом, частково переданим партнерові (підприємству, організації) для забезпечення навчання на робочому місці.

Обсяги освітніх компонентів і загальна кількість кредитів ЄКТС за індивідуальним навчальним планом визначаються індивідуальним навчальним планом. Частка навчального навантаження здобувача, що припадає на його навчання на робочому місці за певним освітнім компонентом, може бути визначена з урахуванням розподілу часу між аудиторними заняттями, навчанням на робочому місці та самостійною роботою студента за відповідним освітнім компонентом [4]:

$$a_j = \frac{PM}{30 \cdot K_j}, \quad (3)$$

де РМ – час навчання на робочому місці за відповідним освітнім компонентом.

Навчальне навантаження здобувача на робочому місці за певними освітніми компонентами, може бути визначено за домовленістю між закладом вищої освіти та підприємством-партнером.

Навчальне навантаження здобувача освіти розподіляється між навчанням у закладі освіти та на робочому місці залежно від особливостей освітньої програми.

Існують різні моделі організації навчального процесу: модель поділеного дня – кілька годин впродовж дня навчання відбувається в закладі освіти, кілька годин – на робочому місці на підприємстві; модель поділеного тижня – кілька днів впродовж тижня навчання відбувається у закладі освіти, а впродовж іншої частини тижня – на робочому місці; блочна модель – навчання у закладі освіти та на робочому місці відбувається за блоками (1 блок – це один чи декілька тижнів, місяців, семестр); часткова модель – частина теоретичного навчання покривається за рахунок навчання у навчально-практичних центрах; змішана модель – кілька моделей поділу навчального навантаження можна застосовувати впродовж всього періоду навчання.

За потреби, під час організації навчання за дуальною формою здобуття освіти в межах однієї програми можна поєднувати різні моделі. В організації дуальної форми освіти беруть участь роботодавці, які мають матеріально-технічну базу та кадрові ресурси для забезпечення практичного навчання на робочих місцях. Заклад освіти відповідає за реалізацію освітньої програми в повному обсязі. Роботодавець, що є партнером, відповідає за реалізацію програми навчання на робочих місцях, вносить пропозиції щодо зміни змісту освітніх програм та оновлення навчальних планів, погоджує тему та завдання кваліфікаційної роботи, укладає тристоронні договори про дуальну форму здобуття освіти, трудові договори зі здобувачами та погоджує відповідні індивідуальні навчальні плани. Контроль виконання індивідуального навчального плану, оцінювання результатів навчання та атестацію осіб, які здобувають освіту за дуальною формою світи здійснюють заклад освіти спільно із роботодавцем.

Після завершення навчання роботодавець може пропонувати таким здобувачам продовження трудового договору. Експеримент з впровадження дуальної освіти в Україні стартував наприкінці 2019 року наказом Міністерства освіти і науки України від 15 жовтня 2019 р. № 1296 «Щодо запровадження пілотного проєкту у закладах фахової передвищої та вищої освіти з підготовки фахівців за дуальною формою здобуття освіти»

Враховуючи потреби в кваліфікованих кадрах для дорожньо-транспортної галузі НАДУ та Федерації роботодавців України в поточному році звернулися з ініціативою та клопотанням до Міністерства освіти і науки України про внесення до переліку закладів освіти, що готують фахівців за освітньою програмою 192 «Будівництво та цивільна інженерія», низки провідних закладів вищої

освіти, серед яких Національний транспортний університет, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Київський національний університет будівництва та архітектури, Національний авіаційний університет, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Харківський національний університет міського господарства ім. О.М.Бекетова.

В рамках Міжнародного конгресу «Дороги майбутнього», що відбувся в листопаді 2021 року, був проведений круглий стіл, присвячений проблемам та особливостям впровадження дуальної освіти при підготовці фахівців транспортної галузі України. Його учасниками стали представники бізнесу та навчальних закладів, а саме: НТУ, ХНАДУ, ВСП Барського фахового коледжу транспорту та будівництва НТУ, КНУБА, НАУ, експерти НАДУ, Групи компаній RDS, Автомагістраль-Південь, які поділилися своїм бачення розвитку та ефективного навчання майбутніх спеціалістів.

Хотілося б відмітити, що на нашу думку, серед головних причин, що спонукають роботодавців ініціювати і впроваджувати дуальну освіту в Україні в цілому, і в транспортній галузі зокрема є перш за все зацікавленість в отриманні кваліфікованих фахівців, не витрачаючи часу на їх адаптацію після завершення навчання. І позитивний досвід в цьому напрямку є [11]. Але війна внесла свої негативні корективи щодо впровадження дуальної освіти в навчальний процес.

Висновки

Базуючись на результатах досліджень німецького досвіду впровадження дуальної форми освіти встановлено, що в галузі транспорту для впровадження інноваційних освітніх форм професійної підготовки фахівців, у тому числі шляхом дуальної освіти є реальне підґрунтя: підтримка держави; потреба в професійних кадрах різного рівня; зацікавленість бізнес-структур (потенційні роботодавці – партнери), що мають необхідну матеріально технічну базу та бачення необхідності співпраці з закладами освіти; заклади вищої освіти, що мають необхідні акредитовані освітні програми та науково-викладацький потенціал; позитивний європейський та вітчизняний досвід.

Але є й низка неузгодженостей та проблемних, як фінансових, так і організаційних питань, які потребують спільного обговорення і вирішення з урахуванням специфіки галузі. Більшість дорожньо-будівельних компаній оговтуються, особливо на деокупованих територіях припинивши свою роботу або тільки оговтуються і тільки включаються у робочий процес. Відновлення транспортної інфраструктури нашої держави вимагає поновлення та впровадження дуальної освіти, особливо на освітньо-професійних магістерських програмах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Розвиток професійного навчання кадрів на виробництві в контексті зарубіжного досвіду / М.І. Дрозач // Наука та інновації. — 2008. — Т. 4, № 3. — С. 88-94.
2. Деякі аспекти історичного розвитку дуальної освіти у Європі / Кравченко О.Л. // «Young Scientist» № 8 (84). — 2020. — С. 27-31.
3. Sigrun Nickel, Iris Pfeiffer, Andreas Fischer, Marc Hüsch etc. Duales Studium: Umsetzungsmodelle und Entwicklungsbedarfe. April 2022. Edition: CHE Impulse Nr. 8Publisher: wbv Publikation ISBN: 978-3-947793-62-4. DOI:10.3278/9783763971718
4. Аналітичний звіт за результатами другого року пілотного проєкту, що реалізується відповідно до Наказу МОНУ від 15.10.2019 № 1296 «Щодо запровадження пілотного проєкту в закладах фахової передвищої та вищої освіти з підготовки фахівців за дуальною формою здобуття освіти» / автори: О. Бучинська, О. Давліканова, Т. Іщенко, І. Лилик, А. Чайковська, О. Яшкіна. — Київ, 2021. — 188 с. <https://mon.gov.ua/storage/app/media/news/2021/12/08/Zvit.za.2.rik.Pilot.projekt.Dual.osv.2020-2021.pdf>
5. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>
6. <https://www.epravda.com.ua/columns/2020/10/30/666792/>
7. <https://nadu.com.ua/kvalifikovani-kadri-zaporuka-rozvitku-derzhavi/>
8. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/660-2018-%D1%80#Text>
9. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/214-2019-%D1%80#Text>
10. <https://mon.gov.ua/ua/news/mon-proponuye-dlya-gromadskogo-obgovorennya-proyekt-polozhennya-pro-dualnu-formu-zdobuttya-vishoyi-ta-fahovoyi-peredvishoyi-osviti>
11. https://mon.gov.ua/storage/app/media/rizne/2020/11/10/Dualna_2_2%20edit%206-11.pdf

REFERENCES

1. M. Drozach. Development of Personnel Occupational Training at Manufacture in the Context of Foreign Experience. Science and innovations. 2008. Vol. 4, No. 3. P. 88-94.
2. O. Kravchenko. Some aspects of the historical development of dual education in Europe. Young Scientist. 2020. No. 8 (84). P. 27-31.
3. Sigrun Nickel, Iris Pfeiffer, Andreas Fischer, Marc Hüsch etc. Duales Studium: Umsetzungsmodelle und Entwicklungsbedarfe. April 2022. Edition: CHE Impulse Nr. 8 Publisher: wbv Publikation ISBN: 978-3-947793-62-4. DOI:10.3278/9783763971718
4. Analytical report on the results of the second year of the pilot project, which is being implemented in accordance with the Order of the Ministry of Education and Culture of Ukraine dated 15.10.2019 No. 1296 "Regarding the introduction of a pilot project in institutions of vocational pre-higher and higher education for the training of specialists using a dual form of education" / authors: O. Buchynska, O. Davlikanova, T. Ishchenko, I. Lylyk, A. Chaikovska, O. Yashkina. - Kyiv, 2021. - 188 p.
<https://mon.gov.ua/storage/app/media/news/2021/12/08/Zvit.za.2.rik.Pilot.projekt.Dual.osv.2020-2021.pdf>
5. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#Text>
6. <https://www.epravda.com.ua/columns/2020/10/30/666792/>
7. <https://nadu.com.ua/kvalifikovani-kadri-zaporuka-rozvitku-derzhavi/>
8. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/660-2018-%D1%80#Text>
9. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/214-2019-%D1%80#Text>
10. <https://mon.gov.ua/ua/news/mon-proponuye-dlya-gromadskogo-obgovorennya-projekt-polozhennya-pro-dualnu-formu-zdobuttya-vishoyi-ta-fahovoyi-peredvishoyi-osviti>
11. https://mon.gov.ua/storage/app/media/rizne/2020/11/10/Dualna_2_2%20edit%206-11.pdf

РЕФЕРАТ

Славінська О.С. Перспективи впровадження дуальної вищої освіти при підготовці фахівців для транспортної галузі України / О.С. Славінська, І.А. Рутковська, А.В. Бубела, О.Ю. Усиченко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Сьогодні, під час воєнного стану, дорожньо-будівельна галузь відчуває суттєвий дефіцит кваліфікованих кадрів, що мають забезпечити ефективну реалізацію Плану відновлення України, зокрема транспортної інфраструктури у відповідності до стандартів ЄС.

Одним із напрямків удосконалення підготовки професійних кадрів для розвитку транспортної галузі України зокрема, є впровадження нових форм освіти – серед яких дуальна освіта, як елемент державно-приватного партнерства, що підтверджують роботодавці, представники бізнесових структур та професійних організацій.

Аналіз досвіду впровадження дуальної форми за кордоном дає можливість врахувати помилки та прискорити ефективне впровадження достатньо нової форми вищої освіти та удосконалення законодавчої бази в Україні. В Україні дуальні форми освіти почали запроваджуватися у професійно-технічних училищах, оскільки саме в них забезпечується підготовка кваліфікованих робітників з обраної галузі, де питання поєднання теоретичної та практичної підготовки є найбільш актуальними.

Враховуючи те, що отриманий практичний досвід підвищує затребуваність випускників закладів вищої освіти на ринку праці, створює значні конкурентні переваги під час пошуку місця роботи та прискорює його адаптацію у виробничий процес, питання впровадження дуальної форми в практику підготовки фахівців бакалаврського та магістерського рівня вищої освіти набувають все більшої актуальності. Практична спрямованість на дуальних курсах значно вища, ніж на недюальних, за рахунок більш вираженої практичної складової.

При забезпеченні взаємодії між університетом і компанією-партнером підвищується практична спрямованість курсу навчання до високого сучасного рівня знань. Відповідно, основними напрямками для запровадження дуальної форми навчання в закладах вищої освіти є внесення змін в освітньо-професійні програми за рахунок посилення практичної підготовки здобувачів; набуття здобувачами компетентностей у відповідності до реальних вимог ринку праці; підвищення показників працевлаштування випускників, які вже попередньо визначилися зі своєю професійною траєкторією; розширення лабораторної бази за рахунок створених філіалів кафедр на підприємствах з

сучасним матеріально-технічним обладнанням та забезпечення можливості стажування науково-педагогічного та педагогічного персоналу на виробництві; історичні традиції співпраці закладів вищої освіти з роботодавцями в галузі.

Національний контекст вимагає адаптації зарубіжного досвіду до реалій української економіки та унеможливорює створення єдиного підходу до організації дуального навчання за всіма спеціальностями.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ, ДУАЛЬНА ФОРМА ЗДОБУТТЯ ОСВІТИ, ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНА ПРОГРАМА, ПІДПРИЄМСТВА-ПАРТНЕРИ, ПРАКТИЧНА СКЛАДОВА.

ABSTRACT

Slavinska O.S., Rutkovska I.A., Bubela A.V., Usychenko O.Y. Perspectives of dual higher education implementation in the specialists for the transport industry of Ukraine training. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

Today, during the martial law, the road construction industry experiences a significant shortage of qualified personnel, which should ensure the effective implementation of the Recovery Plan of Ukraine, in particular, transport infrastructure in accordance with EU standards.

In particular, one of the directions for improving the training of professional personnel for the development of the transport industry of Ukraine is the introduction of new forms of education - including dual education as an element of public-private partnership, which is confirmed by employers, representatives of business structures and professional organizations.

The analysis of the experience of the implementation of the dual form abroad makes it possible to take into account errors and accelerate the effective implementation of a fairly new form of higher education and the improvement of the legislative framework in Ukraine. In Ukraine, dual forms of education began to be introduced in vocational schools, since it is in them that the training of qualified workers in the chosen field is provided, where the issue of combining theoretical and practical training is most relevant.

Taking into account the fact that the gained practical experience increases the demand for graduates of higher education institutions on the labor market, creates significant competitive advantages during the search for a job and accelerates its adaptation to the production process, the issue of introducing a dual form into the practice of training specialists at the bachelor's and master's level of higher education acquires all more relevant. The practical focus on dual courses is much higher than on non-dual ones, due to a more pronounced practical component.

By providing interaction between the university and the partner company, the practical focus of the training course is increased to a high modern level of knowledge. Accordingly, the main directions for the introduction of a dual form of education in institutions of higher education are the introduction of changes in educational and professional programs due to the strengthening of practical training of applicants; acquiring competences by learners in accordance with the real requirements of the labor market; increasing the employment rates of graduates who have already decided on their professional trajectory; expansion of the laboratory base due to the creation of branches of departments at enterprises with modern material and technical equipment and provision of the possibility of training of scientific and pedagogical and pedagogical personnel in production; historical traditions of cooperation between higher education institutions and employers in the industry.

The national context requires the adaptation of foreign experience to the realities of the Ukrainian economy and makes it impossible to create a single approach to the organization of dual education in all specialties.

KEY WORDS: INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION, DUAL FORM OF EDUCATION, EDUCATIONAL AND PROFESSIONAL PROGRAM, PARTNER ENTERPRISES, PRACTICAL COMPONENT.

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>

Рутковська Інеса Анатоліївна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри аеропортів, ris_ntu@ukr.net, тел. +380442800813, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 324., <https://orcid.org/0000-0001-7832->

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, к. 213, <http://orcid.org/0000-0002-5619-003X>.

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>

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>

Rutkovska Inesa A., PhD, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Professor of Airfields Department, e-mail: ria_ntu@ukr.net, tel. +380442800813, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 324, <https://orcid.org/0000-0001-7832-4222>

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, of. 213, <http://orcid.org/0000-0002-5619-003X>

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>

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:

A.G. Batrakova, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kharkiv National Automobile and Road University, Vice-Rector for Scientific and Pedagogical Work, Kharkiv, Ukraine.

V.V. Mozgovy, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of Road Construction Materials and Chemistry, Kyiv, Ukraine.