

МОДЕЛЬ ЛІНІЙНОГО ГЕНЕРАТОРА З ПОСТІЙНИМ МАГНІТОМ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ЗАПАСУ ХОДУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

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

Іщенко Р.М., кандидат фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, rm_ischenko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0158-4020

Дехтяр М.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, marinariy14@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5503-1889

MODEL OF A LINE GENERATOR WITH A PERMANENT MAGNET FOR INCREASING OF POWER RESERVE OF ELECTRIC CAR

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

Ishchenko R.M., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, rm_ischenko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-0158-4020

Dekhtyar M.M., Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, marinariy14@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5503-1889

Постановка проблеми.

Протягом останнього століття стало зрозуміло, що природні ресурси нашої планети є вичерпними. Крім того, значне погіршення екологічної ситуації призвело до пошуку альтернативних джерел енергії, зокрема, альтернативних видів автомобільного палива. Відповідно, наукові дослідження, спрямовані на вдосконалення технічних характеристик електромобілів, які в якості палива використовують електричну енергію, на даний час є актуальними. Основними технічними характеристиками електромобілів, які забезпечують їх конкурентоспроможність з автомобілями, є запас ходу (мінімум 300-400 км) і час перезарядки на електрозаправках (менше однієї години) [1, 2]. Зрозуміло, що достатній запас ходу електромобілів може бути досягнутий наявністю акумуляторів великої ємності [3]. Крім того, для підвищення запасу ходу електромобілів розробляються і впроваджуються різні енергозберігаючі та рекуперативні технології, зокрема, системи регенеративного гальмування, амортизатори рекуперації та ін. Однак, під час практичного використання запропонованих систем збору енергії виникають суттєві проблеми, пов'язані зі складністю конструкції вказаних систем та їх установкою на реальному електромобілі. Відповідно, розробка конструкційно простої і водночас ефективної технології збору енергії, зокрема, від вертикальних механічних коливань електромобіля, що виникають під час його руху, є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У вітчизняній і закордонній науково-технічній літературі існує ряд робіт, присвячених розгляду різних методів і засобів збільшення запасу ходу електромобілів та автомобілів з комбінованою енергоустановкою. Зокрема, у роботі [4] запропоновано метод підвищення запасу ходу електромобіля шляхом використання ефективного круїз-контролю, який, враховуючи дорожню обстановку, забезпечує рух транспортного засобу з оптимальною швидкістю. Авторами роботи [5] розроблено систему збору енергії від механічних коливань електромобіля, основним елементом якої є однофазний лінійний генератор. Ефективність запропонованої системи перевірено як за допомогою математичного моделювання, так і експериментально. У роботі [6] запропоновано математичну модель електричного амортизатора, в якому розглянуто можливість перетворення кінетичної енергії коливань елемента підвіски електромобіля в електричну. У роботі [7] представлено результати математичного моделювання генераторів лінійного та зворотно-поступального типів з електромагнітним збудженням. Розглянуто переваги та недоліки таких генераторів.

Таким чином, з огляду науково-технічної літератури можна зробити висновок про те, що питання використання енергії вертикальних механічних коливань електромобіля для збільшення запасу ходу вказаного транспортного засобу недостатньо досліджене, що актуалізує мету представленої роботи.

Формування цілей статті.

Враховуючи вищезазначене, мета статті полягає у розробці моделі лінійного генератора з постійним магнітом, який би відрізнявся простотою конструкції та з достатньою ефективністю перетворював енергію вертикальних механічних коливань електромобіля в електричний струм.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Усі транспортні засоби здійснюють вертикальні механічні коливання в процесі свого руху. Згладжування вказаних коливань відбувається завдяки ресорам, пружинам та амортизаторам. Як відомо з курсу загальної фізики, під час переміщення постійного магніту всередині котушки індуктивності, в обмотці котушки виникає електричний струм, який називається індукційним. Розглянуте явище виникнення індукційного струму називається електромагнітною індукцією [8, с. 216]. Саме на явищі електромагнітної індукції базується принцип роботи однофазного лінійного генератора з постійним магнітом.

Таким чином, якщо на елементах задньої пружинної підвіски електромобіля розташувати два таких генератора, відповідно біля правого і лівого амортизаторів, то можна отримувати додаткову електричну енергію від вертикальних механічних коливань електромобіля під час його руху. Оскільки передня підвіска передньопривідного електромобіля більш навантажена, ніж задня, то розташування на її елементах лінійних генераторів не розглядалося. Конструкцію зазначеного генератора представлено на рис. 1.

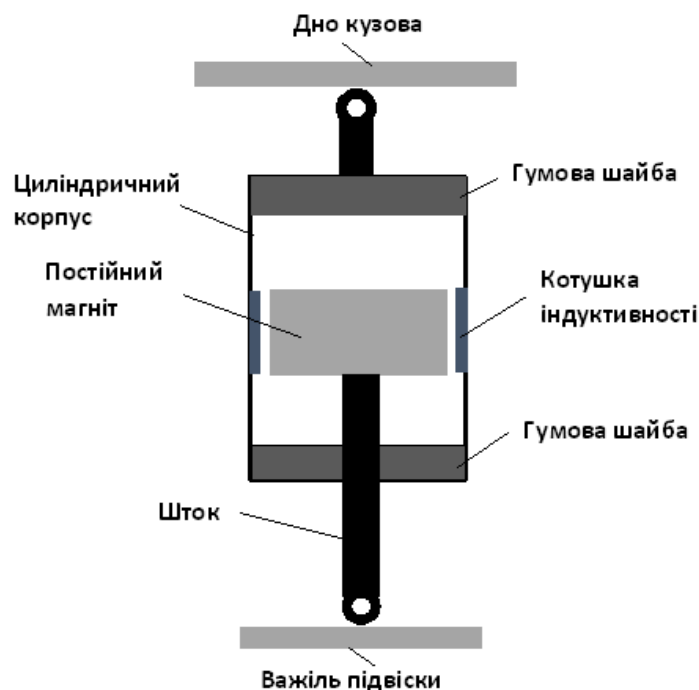


Рисунок 1 – Конструкція лінійного генератора з постійним магнітом

Figure 1 – Design of a line generator with a permanent magnet

Як видно з рис. 1, у циліндричному корпусі закріплено котушку індуктивності, всередині якої може рухатися постійний магніт, приєднаний до штоку. Верхня частина циліндричного корпусу може бути прикріплена до дна кузова електромобіля, а шток з магнітом може бути прикріплений до важеля підвіски електромобіля, зокрема, до нижнього кронштейну амортизатора. Щоб магніт під час коливань не вийшов за межі циліндричного корпусу, у верхній і нижній частинах корпусу встановлено обмежувальні елементи у вигляді гумових прокладок у формі шайб. Отже, під час руху електромобіля магніт і котушка будуть переміщуватися один відносно одного, що призведе до виникнення індукційного струму в котушці. При цьому можна створити послідовний резонансний контур, якщо котушки індуктивності з'єднати між собою послідовно, а до них послідовно приєднати конденсатор. Після цього через випрямляч електричний струм буде проходити до акумулятора.

Для теоретичного розрахунку потужності електричного струму, яку можуть надавати розглянуті лінійні генератори під час руху електромобіля, необхідно підібрати котушку

індуктивності та постійний магніт, які б мали оптимальні параметри, а також визначити частоту коливань постійного магніту всередині котушки.

Враховуючи потребу в котушці великої індуктивності, було вирішено, що котушка буде багатошаровою, оскільки одношарова котушка з необхідними розмірами не могла забезпечити достатнє значення індуктивності. У багатьох програмах для розрахунку індуктивності багатошарової котушки використовується емпірична формула Вілера [9, с. 67]:

$$L = 31,6 \cdot \frac{N^2 \cdot r^2}{6 \cdot r + 9 \cdot l + 10 \cdot c}, \quad (1)$$

де L – індуктивність, мГн;

N – кількість витків котушки;

r – середній радіус обмотки котушки, м;

l – довжина обмотки, м;

c – товщина обмотки, м.

Отже з використанням відповідної програми розрахунку, отримано наступні параметри багатошарової котушки: $L = 10$ мГн; $N = 357$; $r = 44,4$ мм; $l = 50$ мм; $c = 8,8$ мм; кількість шарів обмотки – 8; діаметр каркасу – 80 мм; діаметр котушки – 97,6 мм.

Під час розрахунку параметрів котушки індуктивності в якості обмотки було використано мідний дріт ПЕВ-2-1,0 (ПЕВ – провід емальований високоміцний). Діаметр самого мідного дроту становив 1 мм, товщина емалієвої ізоляції складала 0,1 мм.

В якості магнітного осердя було використано неодимовий ($NdFeB$) постійний магніт (марка матеріалу $N42$) циліндричної форми з осьюою намагніченістю [10]. Враховуючи розміри котушки (а саме – діаметр каркасу і довжину обмотки), було підібрано магніт наступних розмірів: діаметр циліндру – 70 мм, його висота – 50 мм. Залишкова магнітна індукція вказаного магніту становить 1,3 Тл. Однак, таке значення залишкової магнітної індукції може бути отримане лише під час дослідження магнітного матеріалу в замкненому колі. У даній роботі під час розрахунків вважалося, що магнітна індукція вказаного неодимового магніту дорівнює 0,65 Тл, тобто половині від вказаної залишкової магнітної індукції.

Частоту коливань неодимового магніту всередині котушки під час руху електромобіля було визначено з наступних міркувань. Враховуючи, що висота магніту 50 мм, а довжина обмотки котушки індуктивності також 50 мм, магніту достатньо зміщуватися вгору і вниз відносно котушки під час вертикальних коливань на $x = 50$ мм. Тобто, амплітуда коливань магніту дорівнює 50 мм. За час, що дорівнює одному періоду коливань, як відомо з курсу загальної фізики, магніт проходить відстань $4 \cdot x$. Тоді справедлива рівність $4 \cdot x = v \cdot T$, де v – швидкість руху магніту. Враховуючи, що період коливань T обернено пропорційний до частоти коливань f , отримуємо формулу для розрахунку частоти коливань магніту:

$$f = \frac{v}{4 \cdot x}. \quad (2)$$

Було припущено, що швидкість руху магніту всередині котушки дорівнює швидкості руху поршня в гідравлічному амортизаторі (0,25 м/с і 0,5 м/с – використано середнє і максимальне значення) [5, с. 9]. Отже, частота коливань магніту, розрахована за формулою (2), становила 1,25 Гц і 2,5 Гц за умови швидкості руху магніту 0,25 м/с і 0,5 м/с відповідно. Отримані значення частоти коливань магніту всередині котушки знаходяться у межах значень власної частоти коливань підресореної маси легкового автомобіля.

Таким чином, під час коливань магніту всередині котушки індуктивності з відповідною частотою, магнітний потік Φ , що пронизує котушку індуктивності змінюється з часом за гармонічним законом [8, с. 205]:

$$\Phi = B \cdot S_k \cdot N \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0), \quad (3)$$

де B – магнітна індукція ($B = 0,65$ Тл);

S_k – усереднена площа витка котушки індуктивності;

N – кількість витків ($N=357$);

ω – циклічна частота коливань магніту;

φ_0 – початкова фаза коливань.

За законом електромагнітної індукції Фарадея, в котушці індуктивності виникає електрорушійна сила (ЕРС) електромагнітної індукції:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} = \omega \cdot B \cdot S_k \cdot N \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0). \quad (4)$$

Як видно з формули (4), максимальне значення (амплітуда) ЕРС індукції дорівнює:

$$\varepsilon_0 = \omega \cdot B \cdot S_k \cdot N. \quad (5)$$

Враховуючи, що $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$, $S_k = \pi \cdot r^2$, де $r = 44,4$ мм – середній радіус обмотки котушки, максимальне значення ЕРС індукції отримаємо у вигляді:

$$\varepsilon_0 = 2 \cdot \pi^2 \cdot r^2 \cdot N \cdot B \cdot f. \quad (6)$$

Тоді потужність електричного струму [8, с. 181], що з'являється у колі за рахунок використання вертикальних механічних коливань електромобіля, визначається за формулою:

$$P = \frac{n \cdot \varepsilon_0^2}{2 \cdot R}, \quad (7)$$

де n – кількість послідовно з'єднаних котушок індуктивності ($n=2$);

R – електричний опір котушки індуктивності:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot N}{\sigma \cdot S}, \quad (8)$$

де $\sigma = 5,96 \cdot 10^7$ См/м – питома електропровідність мідного дроту;

$S = 7,85 \cdot 10^{-7}$ м² – площа поперечного перерізу мідного дроту, діаметр якого 1 мм.

Отже, з врахуванням формул (6) і (8), потужність електричного струму буде дорівнювати:

$$P(f) = n \cdot \pi^3 \cdot r^3 \cdot N \cdot \sigma \cdot S \cdot B^2 \cdot f^2. \quad (9)$$

Як видно зі співвідношення (9), під час розрахунку потужності електричного струму ключовою змінною величиною є частота коливань (f) магніту всередині котушки індуктивності. Інші величини, що входять до співвідношення (9), не змінюються з часом.

У нашій недавній роботі [11, с. 5] було отримано співвідношення для розрахунку потужності електродвигуна електромобіля, що необхідна для його рівномірного руху із заданою швидкістю:

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

де η_{mp} – коефіцієнт корисної дії (ККД) трансмісії електромобіля;

m – маса електромобіля;

g – прискорення вільного падіння;

f_k – коефіцієнт опору коченню;

v – швидкість руху електромобіля;

ρ – густина повітря;

C_x – коефіцієнт опору повітря, що визначається окремо для кожного типу кузова транспортного засобу;

S – лобова площа електромобіля, тобто площа проєкції електромобіля на площину, перпендикулярну до його повздовжньої осі.

Як видно зі співвідношення (10), під час розрахунку потужності електродвигуна електромобіля ключовою змінною величиною є швидкість руху (v) електромобіля. Інші величини, що входять до співвідношення (10), не змінюються з часом. Необхідно відзначити, що перший доданок у співвідношенні (10) описує потужність електродвигуна, що витрачається на подолання сили опору коченню, а другий – на подолання сили опору повітря під час рівномірного руху електромобіля. Розрахунки проводилися для поширеного у нашій країні електромобіля Nissan Leaf [12]. Технічні характеристики вказаного електромобіля та фізичні сталі, що використовувалися під час розрахунку потужності, наведено в таблиці 1.

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

Легковий електромобіль Nissan Leaf	
Тип кузова електромобіля	5-дв. хетчбек (5 місць)
Максимальна потужність електродвигуна	$P_{max} = 80$ кВт (109 к. с.)
ККД трансмісії електромобіля	$\eta_{mp} = 0,92$
Маса електромобіля	$m = 1800$ кг
Коефіцієнт опору повітря	$C_x = 0,29$
Лобова площа електромобіля	$S = 1,62$ м ²
Прискорення вільного падіння	$g = 9,81$ м/с ²
Густина повітря	$\rho = 1,23$ кг/м ³

Коефіцієнт збільшення запасу ходу електромобіля $K(f, v)$ можна знайти як відношення потужності електричного струму $P(f)$, що з'являється під час вертикальних механічних коливань електромобіля в процесі його руху за рахунок використання запропонованих лінійних генераторів, до витрат потужності на переміщення електромобіля із заданою швидкістю $P(v)$:

$$K(f, v) = \frac{P(f)}{P(v)}. \quad (11)$$

З врахуванням формул (9) і (10), коефіцієнт збільшення запасу ходу електромобіля буде дорівнювати:

$$K(f, v) = \frac{\eta_{mp} \cdot n \cdot \pi^3 \cdot r^3 \cdot N \cdot \sigma \cdot S \cdot B^2 \cdot f^2}{v \cdot (m \cdot g \cdot f_k + 0.5 \cdot \rho \cdot C_x \cdot S \cdot v^2)}. \quad (12)$$

Як видно зі співвідношення (12), під час розрахунку коефіцієнта збільшення запасу ходу електромобіля ключовими змінними величинами є частота коливань (f) магніту всередині котушки індуктивності та швидкість руху (v) електромобіля.

На рис. 2 у вигляді діаграми представлено залежність значень коефіцієнта збільшення запасу ходу електромобіля (у відсотках) від швидкості руху електромобіля. Розрахунок виконано за формулою (12) для двох значень частоти коливань магніту (1,25 Гц і 2,5 Гц). Як видно з рис. 2, коефіцієнт збільшення запасу ходу електромобіля суттєво зменшується зі зростанням швидкості вказаного транспортного засобу. Відповідно, використання запропонованих лінійних генераторів з постійним магнітом для перетворення енергії вертикальних механічних коливань електромобіля в електричний струм виявляється більш ефективним на швидкостях руху від 30 км/год до 60 км/год. Саме такий діапазон швидкостей руху електромобіля відмінно задовольняє потребу в переміщенні у міських умовах.

Як видно з формули (12), а також з рис. 2, коефіцієнт збільшення запасу ходу електромобіля суттєво збільшується зі зростанням частоти коливань магніту всередині котушки індуктивності. У свою чергу, частота коливань магніту залежить від швидкості руху електромобіля, його завантаженості та якості дорожнього покриття. При чому частота коливань магніту збільшується, коли якість дорожнього покриття погіршується. Тобто, чим більше буде нерівностей і ямок на дорозі, тим більшою буде частота вертикальних механічних коливань електромобіля і, відповідно, частота

коливань магніту всередині котушки індуктивності, що призводить до зростання коефіцієнту збільшення запасу ходу електромобіля.

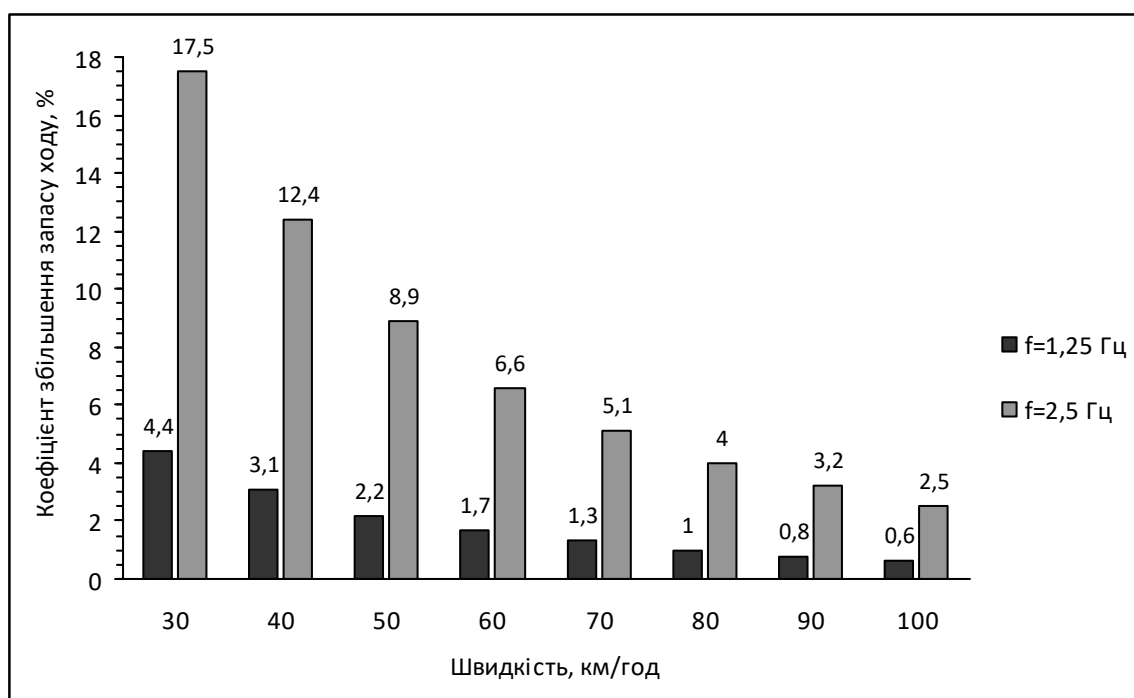


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнта збільшення запасу ходу від швидкості електромобіля
Figure 2 – Dependence of the coefficient of increase in power reserve on the speed of the electric car

Висновки і перспективи подальших досліджень.

Таким чином, у роботі запропоновано модель лінійного генератора з постійним магнітом для перетворення енергії вертикальних механічних коливань електромобіля, що виникають під час його руху, в електричний струм. Запропонована модель лінійного генератора відзначається простотою конструкції у порівнянні з існуючими аналогами. Отримано співвідношення для визначення коефіцієнту збільшення запасу ходу електромобіля за рахунок використання енергії вертикальних механічних коливань вказаного транспортного засобу. Ключовими змінними величинами у вказаному співвідношенні є частота коливань магніту всередині котушки індуктивності та швидкість руху електромобіля.

Виконано розрахунок коефіцієнту збільшення запасу ходу для електромобіля Nissan Leaf у діапазоні швидкостей від 30 км/год до 100 км/год для двох значень частоти коливань магніту 1,25 Гц і 2,5 Гц. Виявлено, що коефіцієнт збільшення запасу ходу електромобіля зменшується зі зростанням швидкості вказаного транспортного засобу. Отже, найбільш ефективне використання запропонованих лінійних генераторів спостерігається в діапазоні швидкостей від 30 км/год до 60 км/год, що відмінно задовольняє потребу в переміщенні у міських умовах. Крім того, коефіцієнт збільшення запасу ходу електромобіля суттєво збільшується зі зростанням частоти коливань магніту всередині котушки індуктивності. Вказана частота коливань магніту зростає зі збільшенням нерівностей і ямок на дорожньому покритті.

В подальшому планується створення дослідного зразка для експериментального дослідження вказаного методу отримання електричної енергії від вертикальних механічних коливань електромобіля, що виникають під час його руху.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Electric vehicles: a review of network modelling and future research needs / J. Wentao, Y. Yadan, K. Inhi, S. Majid // *Advances in Mechanical Engineering*. – 2016. – Vol. 8 (1). – P. 1-8. DOI: 10.1177/1687814015627981.
2. The market for electric vehicles: indirect network effects and policy design / S. Li, L. Tong, J. Xing, Y. Zhou // *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*. – 2017. – Vol. 4, № 1. – P. 89-133.

3. Castelvechi D. Electric cars and batteries: how will the world produce enough? / D. Castelvechi // *Nature*. – 2021. – Vol. 596. – P. 336-339. DOI: 10.1038/d41586-021-02222-1.
4. Madhusudhanan A.K. A method to improve an electric vehicle's range: Efficient Cruise Control / A.K. Madhusudhanan // *European Journal of Control*. – 2019. – Vol. 48. – P. 83-96. DOI: 10.1016/j.ejcon.2018.12.006.
5. An energy-harvesting system using MPPT at shock absorber for electric vehicles / L. Jinkyu, Ch. Yondo, K. Jiwon, P. Byounggun // *Energies*. – 2021. – № 14. – P. 2552 (14). DOI:10.3390/en14092552.
6. Eriksson S. Design of permanent-magnet linear generators with constant-torque-angle control for wave power / S. Eriksson // *Energies*. – 2019. – № 12. – P. 1312 (19). DOI:10.3390/en12071312.
7. Menzhinski A.B. Developing and the analysis of mathematical models of generators of linear and reciprocating types with electromagnetic excitation / A.B. Menzhinski, A.N. Malashin, Yu.V. Suhodolov // *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* – 2018. – Vol. 61, № 2. – P. 118-128. DOI: 10.21122/1029-7448-2018-61-2-118-12.
8. Фізика і транспорт: навчальний посібник / М.Ф. Дмитриченко, Ю.П. Гололобов, І.Р. Зачек, В.М. Габа, І.Є. Мороз. – Львів: Українська академія друкарства, 2014. – 328 с.
9. Bykovsky A.A. Calculation of the own electric capacitance of the inductor and determination of the optimal form factor of the oscillator coil / A.A. Bykovsky // *East European Scientific Journal*. – 2019. – № 8 (48). – P. 64-71.
10. Characteristics of neodymium magnets [Electronic resource] // *E-magnets*. – 2022. – Access mode: <https://e-magnetsuk.com/introduction-to-neodymium-magnets/characteristics-of-ndfeb-magnets/>.
11. Аль-Амморі А.Н. Розрахунок балансу потужності електромобіля під час рівномірного руху / А.Н. Аль-Амморі, Р.М. Іщенко, І.М. Верховецька // *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал*. – 2022. – Вип. 1 (51). – С. 3-10. DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-003-010.
12. Технічні характеристики електромобіля Nissan Leaf [Електронний ресурс] // *Info Car*. – 2022. – Режим доступу: https://nissan-leaf.infocar.ua/mod_3691_leaf_id2776.html.

REFERENCES

1. Wentao, J., Yadan, Y., Inhi, K., Majid, S. (2016). Electric vehicles: a review of network modelling and future research needs. *Advances in Mechanical Engineering*, 8 (1), 1-8. DOI: 10.1177/1687814015627981 [in English].
2. Li, S., Tong, L., Xing, J., Zhou, Y. (2017). The market for electric vehicles: indirect network effects and policy design. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 4, 89-133 [in English].
3. Castelvechi, D. (2021). Electric cars and batteries: how will the world produce enough? *Nature*, 596, 336-339. DOI: 10.1038/d41586-021-02222-1 [in English].
4. Madhusudhanan, A.K. (2019). A method to improve an electric vehicle's range: Efficient Cruise Control. *European Journal of Control*, 48, 83-96. DOI: 10.1016/j.ejcon.2018.12.006 [in English].
5. Jinkyu, L., Yondo, Ch., Jiwon, K., Byounggun, P. (2021). An energy-harvesting system using MPPT at shock absorber for electric vehicles. *Energies*, 14, 2552 (14). DOI:10.3390/en14092552 [in English].
6. Eriksson, S. (2019). Design of permanent-magnet linear generators with constant-torque-angle control for wave power. *Energies*, 12, 1312 (19). DOI:10.3390/en12071312 [in English].
7. Menzhinski, A.B., Malashin, A.N., Suhodolov, Yu.V. (2018). Developing and the analysis of mathematical models of generators of linear and reciprocating types with electromagnetic excitation. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.*, 61 (2), 118-128. DOI: 10.21122/1029-7448-2018-61-2-118-12 [in English].
8. Dmytrychenko, M.F., Gololobov, Yu.P., Zachek, I.R., Haba, V.M., Moroz, I.Ye. (2014). *Fizyka i transport. Navchalnyy posibnyk*. [Physics and transport. Tutorial]. Lviv: Ukrayinska akademiya drukarstva. 328 p. [in Ukrainian].
9. Bykovsky, A.A. (2019). Calculation of the own electric capacitance of the inductor and determination of the optimal form factor of the oscillator coil. *East European Scientific Journal*, 8 (48), 64-71 [in English].
10. Characteristics of neodymium magnets. (2022). *E-magnets*. [Electronic resource]. Access mode: <https://e-magnetsuk.com/introduction-to-neodymium-magnets/characteristics-of-ndfeb-magnets/> [in English].

11. Al-Ammouri, A.N., Ishchenko, R.M., Verkhovetska, I.M. (2022). Rozrakhunok balansu potuzhnosti elektromobilya pid chas rivnomirnoho rukhu [Calculation of power balance of electric car during uniform movement]. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriya "Tekhnichni nauky". Naukovyy zhurnal – Bulletin of the National Transport university. "Technical Sciences" series. Scientific journal, 1 (51), 3-10. DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-003-010 [in Ukrainian].

12. Tekhnichni kharakterystyky elektromobilya Nissan Leaf [Technical characteristics of electric car Nissan Leaf]. (2022). Info Car. [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupa: https://nissan-leaf.infocar.ua/mod_3691_leaf_id2776.html [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Аль-Амморі А.Н. Модель лінійного генератора з постійним магнітом для збільшення запасу ходу електромобіля / А.Н. Аль-Амморі, Р.М. Іщенко, М.М. Дехтяр // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

У статті запропоновано модель лінійного генератора з постійним магнітом для перетворення енергії вертикальних механічних коливань електромобіля в електричний струм.

Об'єкт дослідження – процес перетворення енергії вертикальних механічних коливань електромобіля в електричний струм.

Мета роботи – розробка моделі лінійного генератора з постійним магнітом, який би відрізнявся простотою конструкції та з достатньою ефективністю перетворював енергію вертикальних механічних коливань електромобіля в електричний струм.

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

У роботі отримано співвідношення для визначення коефіцієнту збільшення запасу ходу електромобіля за рахунок використання енергії вертикальних механічних коливань вказаного транспортного засобу. Виконано розрахунок коефіцієнту збільшення запасу ходу для електромобіля Nissan Leaf у діапазоні швидкостей від 30 км/год до 100 км/год для двох значень частоти коливань магніту 1,25 Гц і 2,5 Гц. Виявлено, що коефіцієнт збільшення запасу ходу електромобіля зменшується зі зростанням швидкості вказаного транспортного засобу.

Результати статті можуть бути використані під час розробки і впровадження енергозберігаючих та рекуперативних технологій, спрямованих на підвищення запасу ходу електромобілів. Також результати роботи можуть бути впроваджені в освітній процес під час викладання навчальних дисциплін циклу професійної підготовки фахівців транспортної галузі.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – створення дослідного зразка для експериментального дослідження вказаного методу отримання електричної енергії від вертикальних механічних коливань електромобіля, що виникають під час його руху.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЛІНІЙНИЙ ГЕНЕРАТОР, ЯВИЩЕ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ, ЧАСТОТА КОЛИВАНЬ МАГНІТУ, ПОТУЖНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ, ЗАПАС ХОДУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ.

ABSTRACT

Al-Ammouri A.N., Ishchenko R.M., Dekhtyar M.M. Model of a line generator with a permanent magnet for increasing of power reserve of electric car. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

In this paper a model of a line generator with a permanent magnet for converting the energy of vertical mechanical oscillations of electric car into electric current is proposed.

The object of the study – process of converting the energy of vertical mechanical oscillations of electric car into electric current.

Purpose of the study – development a model of a line generator with a permanent magnet, which would be distinguished by its simplicity of construction and with sufficient efficiency convert the energy of vertical mechanical oscillations of electric car into electric current.

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

In this work, a ratio was obtained for determining the coefficient of increasing of power reserve of electric car due to the use of the energy of vertical mechanical oscillations of the indicated vehicle. The calculation of the coefficient of increasing of power reserve for the Nissan Leaf electric car in the range of speeds from 30 km/h to 100 km/h for two values of the magnet oscillation frequency of 1.25 Hz and 2.5 Hz

was performed. It was found that the coefficient of increasing of power reserve of electric car decreases with the increase in the speed of the indicated vehicle.

The results of the article can be used in the development and implementation of energy-saving and recuperative technologies aimed at increasing the power reserve of electric car. Also, the results of the work can be introduced into the educational process during the teaching of disciplines of the cycle of professional training of specialists in the transport industry.

Forecast assumptions about the object of study – creation of a prototype for experimental research of the specified method of obtaining electrical energy from vertical mechanical oscillations of electric car that occur during its movement.

KEY WORDS: LINE GENERATOR, PHENOMENON OF ELECTROMAGNETIC INDUCTION, FREQUENCY OF OSCILLATIONS OF MAGNET, POWER OF ELECTRIC CURRENT, POWER RESERVE OF ELECTRIC CAR.

АВТОРИ:

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

Іщенко Руслан Миколайович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: rm_ischenko@ukr.net, тел. +380442846709, +380673187955, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 410, orcid.org/0000-0003-0158-4020.

Дехтяр Марина Михайлівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: marinariy14@gmail.com, тел. +380442846709, +380974872747, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 212, orcid.org/0000-0002-5503-1889.

AUTHORS:

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

Ishchenko Ruslan M., candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, National Transport University, associate professor of department of Information analysis and information security, e-mail: rm_ischenko@ukr.net, tel. +380442846709, +380673187955, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 410, orcid.org/0000-0003-0158-4020.

Dekhtyar Maryna M., candidate of technical sciences, National Transport University, associate professor of department of Information analysis and information security, e-mail: marinariy14@gmail.com, tel. +380442846709, +380974872747, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 212, orcid.org/0000-0002-5503-1889.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мельниченко О.І., кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, Київ, Україна.

Манько Д.Ю., кандидат фізико-математичних наук, Інститут проблем реєстрації інформації Національної академії наук України, старший науковий співробітник, Київ, Україна.

REVIEWER:

Melnychenko O.I., candidate of technical sciences, professor, National Transport University, Head of Department of Manufacturing, Repair and Materials Engineering, Kyiv, Ukraine.

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

ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ РУХОМОГО СКЛАДУ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ЗА СУЧАСНИХ УМОВ В УКРАЇНІ

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

Іванушко О.М., доктор філософії, Національний транспортний університет, Київ, Україна, o.ivanushko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-3759-5856

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

Будниченко І.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, repair2006@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3073-4913

FEATURES OF ROLLING STOCK CHOICE FOR URBAN PASSENGER TRANSPORT IN MODERN CONDITIONS IN UKRAINE

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

Ivanushko O.M., Ph.D, National Transport University, Kyiv, Ukraine, o.ivanushko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-3759-5856

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

Budnychenko I.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, repair2006@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3073-4913

Постановка проблеми.

У містах рухомий склад пасажирського транспорту поступово зношується і підлягає заміні. Також певна частина транспортних засобів (ТЗ) на теперішній час в Україні зруйнована внаслідок воєнних дій. Виникає питання: який вид рухомого складу обирати для використання в якості міського пасажирського транспорту з міркувань економічності, екологічності та надійності функціонування всієї транспортної мережі?

Для перевезення пасажирів у містах існують наступні види колісних нерейкових транспортних засобів з різними видами силових установок, що забезпечують рух: автобуси дизельні; автобуси газові; електробуси; колісні транспортні засоби з іншими типами акумуляторів енергії (механічні маховики, суперконденсатори та інші, не менш екзотичні); тролейбуси з живленням від контактної мережі; тролейбуси з комбінованими установками, що забезпечують автономний хід. Серед останніх можна виділити тролейбуси з тяговою акумуляторною батареєю та тролейбуси з дизель-генератором.

Ці транспортні засоби відрізняються вартістю, енергоспоживанням, витратами в експлуатації, надійністю транспортного процесу та екологічністю.

Виникає питання критеріїв вибору видів рухомого складу.

Аналіз відомих нам публікацій показує, що проблемі використання різних видів рухомого складу на маршрутах, які вимагають часткового автономного ходу, що є властивим великим містам, особливо з пошкодженою інфраструктурою (тролейбусів з автономним ходом, електробусів, автобусів), присвячена велика кількість публікацій, наприклад [1...**Ошибка! Источник ссылки не найден.**], в яких розглядалися різні аспекти експлуатації цих ТЗ. Але роботи, спрямовані на розробку детальної методики оцінки економічної ефективності використання таких ТЗ на маршрутах з урахуванням ризиків функціонування такої системи, нам невідомі.

Слід зазначити, що перераховані дослідження були спрямовані на вирішення конкретних проблем для умов, що є відмінними від існуючих на теперішній момент у містах України.

Метою даного дослідження є розробка методики вибору рухомого складу міського пасажирського транспорту за сучасних умов в Україні на основі вартості експлуатації рухомого складу та врахування ризиків для забезпечення надійності транспортного процесу.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Під час дослідження використовувалася методика, описана в [8, 9].

Критеріями вибору напрямів розвитку транспортної інфраструктури міст та придбання рухомого складу пасажирських перевезень мають бути екологічність, економічна ефективність, зручність, надійність та перспективність обраних рішень.

Пропонується одними з критеріїв вибору видів рухомого складу обрати економічну ефективність експлуатації та забезпечення надійності транспортного процесу. Економічна ефективність у цьому дослідженні оцінювалась питомими прямими витратами на експлуатацію рухомого складу пасажирського транспорту в грн/км [8, 9].

Порівнювались витрати на експлуатацію таких видів пасажирських транспортних засобів, як тролейбуси з живленням від контактної мережі, тролейбуси з автономним ходом, що живляться як від контактної мережі, так і від акумуляторної батареї (АКБ) або встановленої дизель-генераторної установки (ДГУ), автобуси дизельні та газові. При цьому для виключення впливу всіх інших факторів обирався рухомий склад однакової пасажиромісткості та довжини, який експлуатується в одному або ідентичних за обсягами діяльності підприємствах міського пасажирського транспорту на одному або подібних маршрутах.

Також окремо оцінювався вплив вартості транспортного засобу на експлуатаційні витрати, оскільки вартість впливає на розмір амортизаційних відрахувань, які є складовою калькуляції витрат на експлуатацію.

Як складові експлуатаційних витрат розглядались:

- витрати на паливо та електроенергію на рух;
- величина амортизації транспортних засобів як складова собівартості експлуатації;
- величина амортизації таких суттєвих складових ТЗ з автономним ходом, як ДГУ та тягова АКБ, маючи на увазі те, що час їхнього використання на маршруті відрізняється від часу використання всього ТЗ;
- витрати на утримання контактної-кабельної мережі та тягових підстанцій для руху тролейбусів;
- витрати на заробітну плату з нарахуваннями працівників, які безпосередньо виконують роботи з ТО та ремонту рухомого складу, та водіїв – у разі різної заробітної плати водіїв різних видів ТЗ;
- витрати на експлуатаційні матеріали та шини.

Виконувався порівняльний аналіз витрат на експлуатацію наступних типів рухомого складу: тролейбус типу ЗИУ-682; автобус МАЗ з дизелем; автобус МАЗ газовий; тролейбус з ДГУ новий; тролейбус з ДГУ з капітального ремонту (майже в два рази дешевший); тролейбус з тяговою АКБ.

Розрахунок прямих витрат на експлуатацію ТЗ виконувався з використанням методик, описаних у [8, 9].

Розроблена програма розрахунку питомих експлуатаційних витрат на 1 км у програмному продукті Microsoft Excel для маршруту з частковим автономним ходом.

Для виявлення переважного впливу вартості енергоносіїв на питомі експлуатаційні витрати виконувався розрахунок для тролейбусного маршруту з 25 % автономного ходу за однакових вартостей рухомого складу. Такий маршрут розглядався як характерний для міст, на якому можуть використовуватись усі перераховані вище типи рухомого складу пасажирських перевезень, обрані для порівняння.

Також, для виявлення сукупного впливу вартостей рухомого складу та енергоносіїв оцінювалась питома вартість експлуатації за різних цін рухомого складу. Розрахунки виконувались за трьома варіантами:

- 1) однакові вартості одиниці рухомого складу (5 млн грн) та ціни на енергоносії у 2021 році;
- 2) однакові вартості одиниці рухомого складу (5 млн грн) та ціни на енергоносії у жовтні 2022 року;
- 3) орієнтовні ринкові ціни одиниці різних типів рухомого складу та поточні ціни на дизельне паливо та газ.

Результати розрахунків показали, що транспортні засоби за питомою вартістю експлуатації від меншої до більшої розташувались наступним чином:

Варіант 1: електробус, автобус газовий, автобус з дизелем, тролейбус з тяговою АКБ, тролейбус з дизель-генератором (рисунок 1).

Варіант 2: електробус, автобус газовий, тролейбус з тяговою АКБ, тролейбус з дизель-генератором, автобус з дизелем (рисунок 2).

Варіант 3: тролейбус з тяговою АКБ, автобус газ, електробус, автобус з дизелем, тролейбус з дизель-генератором (рисунок 3).

№	Показники	Тип транспортного засобу (ТЗ)					
		Тролейбус	Автобус дизель	Тролейбус ДГУ новий	Тролейбус ДГУ після КР	Тролейбус з АКБ новий	Автобус газ
1	2	3	4	5	6	7	8
2	Порівняльна/переоцінена вартість ТЗ, т.грн	5000	5000	5000	5000	5000	5000
3	Зашифрована вартість ТЗ, тис.грн	500	500	500	500	500	500
4	Пасажиромісткість, пас.						
5	Середня швидкість на маршруті, км/год	20	20	20	20	20	20
6	Середня швидкість / повна маса, т.	18	18	18	18	18	18
7	Термін корисного використання ТЗ, рок.	7	7	7	7	7	7
8	Вартість ДГУ або АКБ, тис.грн			2000	2000	1500	1500
9	Ресурс, мотогодина, циклів			23000	23000	20000	20000
10	Пробіг за 1 цикл зарядки, км					20	20
11	Витрати електроенергії на т.квт.год/км	2,5		2,5	2,5	2,5	
12	Витрати палива при роботі на маршруті, л(м3)/100км		38	69,2	69,2		42
13	Витрати палива ДГУ, л/мотогодину			13,84	13,84		
14	Вартість дизель-газ пального, грн/л(м3)		28	28	28		18
15	Вартість електроенергії, грн/квт.год	2,29		2,29	2,29	2,29	
16	Середньозважений пробіг, км	168,2	168,2	168,2	168,2	168,2	168,2
17	Час простою ТЗ в ТО та Р на 1000км	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
18	Коефіцієнт техніч.гот. (К.Т.Г.) РС	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
19	Річний пробіг одиниці РС, тис.км	54,926	54,926	54,926	54,926	54,926	54,926
20	Частка маршруту на автономній ході	0,000	0,000	0,250	0,250	0,250	0,000
21	Пит. трудоміст. ТО ТЗ, год./1000км	25	15,3	25	25	25	18,3
22	Пит. трудоміст. Ремонт ТЗ, л-год/1000км	8	11	8	8	8	11,83
23	Пит. трудоміст. ТО Р ДГУ, л-год/1000мото-год			12,5	12,5		
24	Пит. трудоміст. ТО Р ДГУ, л-год/1000км			0,625	0,625		
25	Питома труд. ТО АКБ, л-год/1000км					0,5	0,5
26	Зарплата водія, грн	12000	12000	12000	12000	12000	12000
27	Зарплата контролера-касира, грн	6000	6000	6000	6000	6000	6000
28	Зарплата рем.робітника, грн	14000	14000	14000	14000	14000	14000
29	Суккупна вартість 1 в-год ТО та Р, грн	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67
30	Кількість колес на ТЗ	6	6	6	6	6	6
31	Вартість однієї шини, грн	4700	4700	4700	4700	4700	4700
32	Норма пробігу шини, тис.км	70	70	70	70	70	70
33	Питомі витрати на утримання тяглових підстав на конт.каб мережі, грн/км	5,76		4,32	4,32	5,76	0
34	Інші питомі прямі витрати, тис.грн	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78
35	Результати розрахунків питомих витрат на експлуатацію різних типів транспортних засобів						
37	Питомі прямі витрати на перевезення грн/км	37,52	36,66	40,96	40,96	38,63	33,82

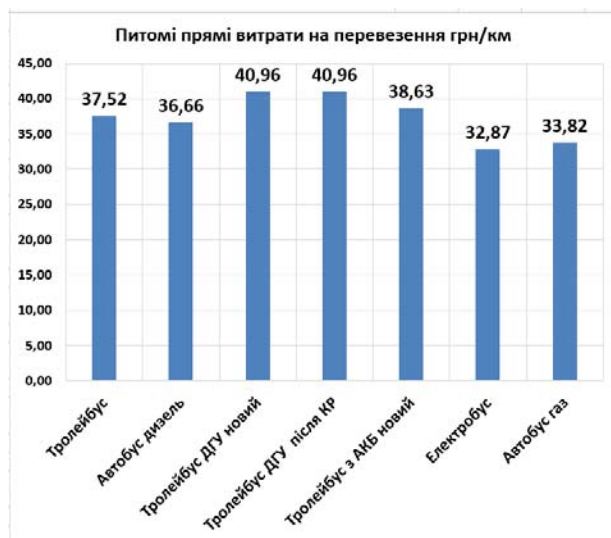


Рисунок 1 – Питомі прямі витрати на перевезення за однакових вартостей одиниці рухомого складу 5 млн грн та цін на енергоносії у 2021 році (Варіант 1)
Figure 1 – Direct unit transportation costs at the same cost of a rolling stock unit UAH 5 million and energy prices in 2021 (Option 1)

№	Показники	Тип транспортного засобу (ТЗ)					
		Тролейбус	Автобус дизель	Тролейбус ДГУ новий	Тролейбус ДГУ після КР	Тролейбус з АКБ новий	Автобус газ
1	2	3	4	5	6	7	8
2	Порівняльна/переоцінена вартість ТЗ, т.грн	5000	5000	5000	5000	5000	5000
3	Зашифрована вартість ТЗ, тис.грн	500	500	500	500	500	500
4	Пасажиромісткість, пас.						
5	Середня швидкість на маршруті, км/год	20	20	20	20	20	20
6	Середня швидкість / повна маса, т.	18	18	18	18	18	18
7	Термін корисного використання ТЗ, рок.	7	7	7	7	7	7
8	Вартість ДГУ або АКБ, тис.грн			2000	2000	1500	1500
9	Ресурс, мотогодина, циклів			23000	23000	20000	20000
10	Пробіг за 1 цикл зарядки, км					20	20
11	Витрати електроенергії на т.квт.год/км	2,5		2,5	2,5	2,5	
12	Витрати палива при роботі на маршруті, л(м3)/100км		38	69,2	69,2		42
13	Витрати палива ДГУ, л/мотогодину			13,84	13,84		
14	Вартість дизель-газ пального, грн/л(м3)		57	57	57		27
15	Вартість електроенергії, грн/квт.год	2,29		2,29	2,29	2,29	
16	Середньозважений пробіг, км	168,2	168,2	168,2	168,2	168,2	168,2
17	Час простою ТЗ в ТО та Р на 1000км	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
18	Коефіцієнт техніч.гот. (К.Т.Г.) РС	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
19	Річний пробіг одиниці РС, тис.км	54,926	54,926	54,926	54,926	54,926	54,926
20	Частка маршруту на автономній ході	0,000	0,000	0,250	0,250	0,250	0,000
21	Пит. трудоміст. ТО ТЗ, год./1000км	25	15,3	25	25	25	18,3
22	Пит. трудоміст. Ремонт ТЗ, л-год/1000км	8	11	8	8	8	11,83
23	Пит. трудоміст. ТО Р ДГУ, л-год/1000мото-год			12,5	12,5		
24	Пит. трудоміст. ТО Р ДГУ, л-год/1000км			0,625	0,625		
25	Питома труд. ТО АКБ, л-год/1000км					0,5	0,5
26	Зарплата водія, грн	12000	12000	12000	12000	12000	12000
27	Зарплата контролера-касира, грн	6000	6000	6000	6000	6000	6000
28	Зарплата рем.робітника, грн	14000	14000	14000	14000	14000	14000
29	Суккупна вартість 1 в-год ТО та Р, грн	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67
30	Кількість колес на ТЗ	6	6	6	6	6	6
31	Вартість однієї шини, грн	4700	4700	4700	4700	4700	4700
32	Норма пробігу шини, тис.км	70	70	70	70	70	70
33	Питомі витрати на утримання тяглових підстав на конт.каб мережі, грн/км	5,76		4,32	4,32	5,76	0
34	Інші питомі прямі витрати, тис.грн	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78
35	Результати розрахунків питомих витрат на експлуатацію різних типів транспортних засобів						
37	Питомі прямі витрати на перевезення грн/км	37,52	48,51	46,36	46,36	38,63	37,88

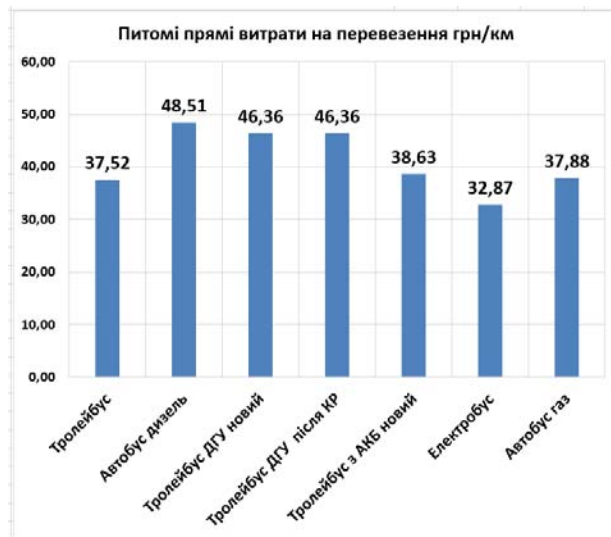


Рисунок 2 – Питомі прямі витрати на перевезення за однакових вартостей одиниці рухомого складу 5 млн грн та цін на енергоносії у жовтні 2022 року (Варіант 2)
Figure 2 – Direct unit transportation costs at the same cost of a rolling stock unit UAH 5 million and energy prices in October 2022 (Option 2)

№	Показники	Тип транспортного засобу (ТЗ)						
		Тролейбус	Автобус дизель	Трол. ДГУ новий	Трол. ДГУ після КР	Тролейбус з АКБ новий	Електробус	Автобус газ
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Повітряна/перевозна вартість ТЗ, т.грн	5000	5500	9000	4500	5500	8500	6000
3	Залишкова вартість ТЗ, тис.грн	500	500	500	500	500	500	500
4	Пасажирамисткість, пас.							
5	Ср. швидкість на маршруті, км/год	20	20	20	20	20	20	20
6	Спорядження / повна маса, т.	18	18	18	18	18	18	18
7	Термін корисного використання ТЗ, рок.	7	7	7	7	7	7	7
8	Вартість ДГУ або АКБ, тис.грн			2000	2000	1500	1500	
9	Ресурс, мотогод, циклів			23000	23000	20000	20000	
10	Пробіг за 1 цикл зарядки, км			20	20	20	20	
11	Витрати електроенергії на тягу, кВт-год/км	2,5		2,5	2,5	2,5	2,5	
12	Витрати палива при роботі на маршруті, л(м3)/100км		38	69,2	69,2			42
13	Витрати палива ДГУ, л/мотогодини			13,84	13,84			
14	Вартість дизель-газ пального, грн/л(м3)		57	57	57			27
15	Вартість електроенергії, грн кВт-год	2,29		2,29	2,29	2,29	2,29	
16	Середньодобовий пробіг, км	168,2	168,2	168,2	168,2	168,2	168,2	168,2
17	Час простоя ТЗ в ТО та Р на 1000км	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
18	Коефіцієнт тяги год. (КІТ) РС	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
19	Річний пробіг одиниці РС, тис.км	54,926	54,926	54,926	54,926	54,926	54,926	54,926
20	Частка маршруту на автономному ході	0,000	0,000	0,250	0,250	0,250	0,250	0,000
21	Пит. трудоміст. ТО ТЗ, год./1000км	25	15,3	25	25	25	25	18,3
22	Пит. трудоміст. Ремонт ТЗ, л-год/1000км	8	11	8	8	8	8	11,85
23	Пит.трудом. ТО Р ДГУ, л-год./1000мото-год			12,5	12,5			
24	Пит.трудом. ТО Р ДГУ, л-год./1000км			0,625	0,625			
25	Питома труд.ТО АКБ, л-год/1000км					0,5	0,5	
26	Зарплата водія, грн	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000
27	Зарплата контролера-касира, грн	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000
28	Зарплата рин.робітника, грн	14000	14000	14000	14000	14000	14000	14000
29	Сукупна вартість 1 н-год ТО та Р, грн	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67	120,67
30	Кількість колес на ТЗ	6	6	6	6	6	6	6
31	Вартість опити шин, грн	4700	4700	4700	4700	4700	4700	4700
32	Норма пробігу шин, тис.км	70	70	70	70	70	70	70
33	Питома витрати на управління тягою							
34	підстанції та конт-каб мережі, грн/км	5,76		4,32	4,32	5,76	0	
35	Інші питомі прямі витрати, тис.грн	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78
36	Результати розрахунків питомих прямих витрат на експлуатацію різних типів транспортних засобів							
37	Питомі прямі витрати на перевезення грн/км	37,52	49,81	56,76	45,05	39,93	41,97	40,48

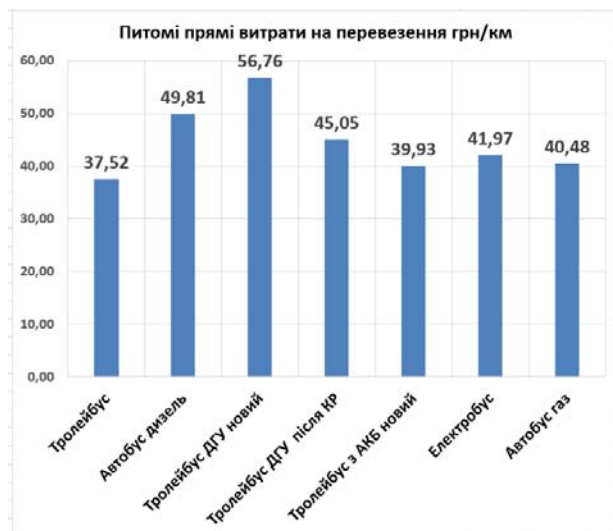


Рисунок 3 – Питомі прямі витрати на перевезення за теперішніх орієнтовних ринкових цін одиниці різних типів рухомого складу та поточних цін на дизельне паливо та газ (Варіант 3)
Figure 3 – Direct unit transportation costs at current estimated unit market prices of different rolling stock types and current diesel and gas prices (Option 3)

Розрахунки показали, що вибір має робитись для конкретного часу та місця. На теперішній момент за існуючого співвідношення цін на рухомий склад і енергоносії вигідним на маршрутах з частковим автономним ходом є використання тролейбусів з АКБ (питомі витрати на перевезення приблизно 40 грн/км), газових автобусів (40,5 грн/км), електробусів (42 грн/км), автобусів з дизелем (50 грн/км).

Але на цей час важливим є питання надійності постачання та вартості різних енергоносіїв (електрична енергія, дизельне паливо або газ), які важко піддаються прогнозуванню. Такі ризики можна оцінити ймовірністю відсутності певного виду енергоносія або стабільності вартості окремих складових процесу перевезень. Ймовірність відсутності, наприклад, електропостачання може бути розрахована як відношення часу передбачуваної відсутності енергоносія до загального часу роботи пасажирського транспорту. За таких умов рішення щодо вибору певного виду рухомого складу треба приймати з урахуванням величини таких ризиків. За значних ризиків видається, що використання автобусів на газовому або дизельному паливі є більш обґрунтованим і надійним, що підтверджується заміною в Києві тролейбусів та трамваїв на їхніх маршрутах автобусами.

Існує безліч різних видів ризиків, які можуть вплинути на бізнес і поведінку людей у різних сферах життя, наприклад фінансові, операційні, репутаційні, юридичні, природні, політичні, соціальні, цінові та інші.

Також є кілька ризиків зміни цін на складові перевізного процесу, серед яких:

- ризик зміни цін на паливо. Паливо є однією з основних складових витрат на експлуатацію транспортних засобів, а зміна цін на паливо може істотно вплинути на вартість перевезення;
- ризик зміни цін на запчастини та обладнання. Технічне обслуговування та ремонт транспортних засобів також є значними транспортними витратами. Зміна цін на запчастини та обладнання може призвести до зростання витрат на обслуговування і ремонт транспорту;
- ризик зміни тарифів на дорогах. Дороги є основною інфраструктурою для перевезень, а зміна тарифів на дороги може призвести до значного зростання транспортних витрат;
- ризик зміни цін на страхування. Страхування транспортних засобів і вантажів також є значною статтею транспортних витрат, і зміна цін на страхування може призвести до значного зростання витрат;
- курсовий ризик. Багато складових транспортних витрат, такі як паливо, деталі та обладнання, можуть бути придбані за кордоном і оплачені в іноземній валюті. Зміни курсів валют можуть істотно вплинути на вартість цих складових і, відповідно, на вартість перевезення в цілому.

З нашої точки зору на теперішній момент ці ризики є відносно стабільними та прогнозованими і на короткому проміжку часу не впливають на зміну прийнятих управлінських рішень.

Водночас існує значний ризик нестачі або зникнення певного виду енергоносія, особливо електроенергії, через можливе знищення елементів критичної інфраструктури внаслідок ракетних обстрілів. Спробуємо оцінити такий ризик.

Розрахунок ризиків нестачі енергоносіїв у процесі транспортування може бути виконаний наступними етапами:

1. Визначити витрати на енергію, необхідну для експлуатації транспорту. Включити в розрахунок витрати на паливо, електроенергію, газ та інші енергоносії, які використовуються в процесі транспортування.

2. Визначити частку енергетичних витрат у загальній вартості транспортування. Ця пропорція може змінюватися залежно від виду транспорту і умов експлуатації.

3. Оцінити ймовірність відсутності енергії в процесі транспортування. Сюди можна віднести аналіз ризиків, пов'язаних з енергопостачанням, станом інфраструктури, політичною та економічною ситуацією в регіоні та іншими факторами.

4. Визначити потенційну шкоду, яка може бути викликана нестачею енергії. Сюди можна віднести втрату доходів від невдалих поставок, збільшення витрат на пошук альтернативної енергетики, загальні втрати суспільства, штрафи та інші витрати.

5. Розрахувати ймовірні втрати від нестачі енергії, помноживши вартість енергії на частку енергетичних витрат та ймовірність відсутності енергоносіїв. Це може допомогти визначити обсяг необхідних резервних коштів або додаткові заходи безпеки, які можуть допомогти знизити ризики від нестачі енергії в процесі транспортування.

Існують математичні вирази для розрахунку ризиків, пов'язаних з нестачею енергії у процесі транспортування. В цілому розрахунок ризиків здійснюється за допомогою ймовірнісних моделей, які враховують ймовірність виникнення ризику і його можливі наслідки.

Для розрахунку ризиків відсутності енергоносіїв у процесі транспортування можуть використовуватися наступні математичні вирази.

Ймовірність нестачі:

$$P(\text{нестача енергії}) = n/N, \quad (1)$$

де n – кількість часу нестачі енергії;

N – загальний час трафіку.

Ймовірність настання негативних наслідків нестачі енергії:

$$P(\text{негативні наслідки}) = t/n, \quad (2)$$

де t – кількість випадків, коли відсутність енергоносіїв призводило до негативних наслідків.

Ризик нестачі енергії:

$$R(\text{відсутність енергії}) = P(\text{відсутність енергії}) \times P(\text{негативні наслідки}). \quad (3)$$

Для визначення потенційного збитку, заподіяного нестачею енергії в процесі транспортування, необхідно враховувати наступні фактори:

1. Витрати на енергоносії. Необхідно визначити, яку частку загальних витрат на транспортування складають витрати на енергоносії.

2. Тривалість перерви в енергопостачанні. Чим довша перерва, тим вищий потенційний збиток.

3. Вид і характер транспортування. Деякі види вантажів (наприклад, перевезення швидкопсувних продуктів) більш чутливі до затримок, викликаних нестачею енергії.

4. Можливість енергозаміни. Наприклад, за відсутності дизельного палива можливе використання біопалива або електричної енергії.

5. Можливі соціальні втрати.

Потенційний збиток, заподіяний нестачею енергії в процесі перевезення пасажирів, буде складатись із двох, найбільш суттєвих на наш погляд, складових: потенційного (ймовірного) збитку суспільства (ПЗС) та потенційного (ймовірного) збитку власне підприємства (ПЗП).

Потенційний збиток суспільства (ПЗС) складається зі зменшення особистих доходів активного населення від втрат робочого часу та втрат підприємств через відсутність працівників або зниження продуктивності праці. Такий збиток для суспільства є очевидним, але важко піддається підрахунку. Вочевидь, чим меншою є ймовірність відсутності енергоносія, тим меншими є такі втрати.

Потенційний збиток транспортного підприємства (ПЗП) буде дорівнювати втраченому доходу $Дох$ з причини зупинки транспортного процесу і підраховується як плановий дохід за відсутності ризику, помножений на відношення часу відсутності енергоносія до загального часу перевезень, тобто на ймовірність відсутності енергоносія:

$$ПЗП = Дох \cdot t / T, \quad (4)$$

$$ПЗП = Дох \cdot P, \quad (5)$$

де t , T – відповідно час нестачі енергоносія та запланований повний час транспортного процесу;

P – ймовірність нестачі енергоносія.

Дохід на одиницю пробігу під час транспортування фактично є тарифом на перевезення, який визначається відповідно до Методики [15] за рівнянням:

$$Дох = C + Пр, \quad \text{грн/км}, \quad (6)$$

де C – питома планова собівартість послуги з транспортування на маршруті, грн/км;

$Пр$ – плановий питомий прибуток за транспортування, грн/км.

Планова собівартість послуги розраховується згідно з пунктами 2.4-2.18 цієї Методики [15].

Залежно від типів рухомого складу під час визначення повної собівартості транспортного процесу буде змінюватись тільки складова, яка характеризує прямі витрати на експлуатацію рухомого складу. Всі інші складові собівартості залишаться незмінними, тому що розглядається одне підприємство.

За відсутності енергоносія весь дохід від перевезень дорівнює нулю, тому що зупиняється транспортний процес і наявність інших ненульових складових собівартості не має значення.

Отже, ризик нестачі енергоносія вимірюється потенційним збитком і може бути підрахований як добуток ймовірності відсутності енергоносія на дохід від транспортного процесу за відсутності ризику.

Зменшення дії такого виду ризику може бути виконано шляхом заміни виду рухомого складу для пасажирських перевезень на більш дорогий, наприклад: використання тролейбусів з АКБ (питомі витрати на перевезення 40 грн/км) може бути замінено на використання газових автобусів (40,5 грн/км), електробусів (42 грн/км), автобусів з дизелем (50 грн/км), що здорожує транспортний процес на різницю $C2 - C1$, де $C2$ та $C1$ відповідно питомі (на одиницю пробігу) собівартості транспортного процесу для другого і першого видів рухомого складу. При цьому $C2$ є більшим за $C1$.

Постає питання, за яких умов доцільно здійснювати таку заміну.

На наш погляд, очевидним є твердження, що заміна рухомого складу на більш дорогий є доцільною за умови, коли здороження питомої собівартості перевезень є меншим за можливий потенційний збиток від ризику:

$$C2 - C1 < (ПЗП + ПЗС). \quad (7)$$

Проігноруємо ПЗС і будемо визначати лише ризик для підприємства як потенційний збиток для підприємства ПЗП у разі відсутності енергоносія:

$$C2 - C1 < P \cdot (C1 + Пр), \quad (8)$$

де $C1$, $C2$ – відповідно питомі собівартості експлуатації першого та другого видів рухомого складу;

$Пр$ – питомий плановий прибуток від перевезень;

$P = t / T$ – ймовірність нестачі енергоносія;

t, T – відповідно час нестачі енергоносія та запланований повний час транспортного процесу.

З цього рівняння можна визначити граничне значення P_{gr} ймовірності відсутності енергоносія, вище якого заміна рухомого складу на більш дорогий, але більш надійний, є доцільною:

$$P_{gr} = (C_2 - C_1) / (C_1 + Pr). \quad (9)$$

Приклад.

Проблема. Існує ризик відсутності електроенергії. Виникає питання визначення доцільності заміни тролейбусів з частковим автономним ходом на акумуляторах ($C_1 = 40$ грн/км) на маршруті на дизельний автобус ($C_2 = 50$ грн/км). Оскільки експлуатація пасажирського транспорту є планово збитковою і міський транспорт отримує дотації, прийmemo, що прибуток підприємства відсутній $Pr = 0$.

Потрібно визначити, за якої величини ймовірності P_{gr} відсутності електроенергії є доцільним замінити на маршруті тролейбус на дизельний автобус.

Розв'язання.

Здороження транспортного процесу за заміни тролейбуса на дизельний автобус складає:

$$(C_2 - C_1) = 50 \text{ грн/км} - 40 \text{ грн/км} = 10 \text{ грн/км}.$$

Гранична ймовірність, за якої потенційний збиток від ризику відсутності електроенергії складає:

$$P_{gr} = (C_2 - C_1) / (C_1 + Pr) = (50 - 40) / (40 + 0) = 0,25.$$

За таких умов заміну тролейбусів на дизельні автобуси на маршруті доцільно проводити, якщо ймовірність відсутності електроенергії перевищує 25 %.

Із графіків відключення енергопостачання визначена ймовірність відсутності енергоносія $P = t / T$, наприклад, за тиждень, $P = 0,4$.

Оскільки ймовірність відсутності енергоносія 0,4 є більшою за її граничне значення 0,25, тобто заміна тролейбусів на маршруті на дизельні автобуси є доцільною.

Здороження собівартості 1 км перевезень складе 10 грн, але підприємство буде мати питомий дохід від автобусів $Дох_2 = 50$ грн/км за ймовірності отримання 100 %, замість доходу $(1 - P) \cdot Дох_1 = (1 - 0,4) \cdot 40 = 24$ грн/км за ймовірності наявності енергоносія 60 % у разі подальшого використання тролейбусів.

Також у разі використання автобусів замість тролейбусів потенційний збиток суспільства буде відсутній.

Висновки.

Вибір має робитись для конкретного часу та місця.

На теперішній момент за прийнятого в розрахунках (варіант 3) співвідношення цін на рухомий склад і енергоносії вигідним на маршрутах з часткою автономного ходу до 25 % є використання тролейбусів з АКБ. Далі йдуть газові автобуси та електробуси. Зі збільшенням частки маршруту без контактної мережі експлуатаційні витрати тролейбусів з АКБ та ДГУ зростають. Натомість такі витрати для автобусів не залежать від частки маршруту без контактної мережі тому, що вона їм не потрібна. За відсутності нестачі енергоносія автобус з дизелем є менш конкурентним через високу вартість дизельного палива.

Але важливим є питання надійності постачання різних енергоносіїв (електрична енергія, дизельне паливо або газ), що важко піддається прогнозуванню. Треба враховувати ризики, які можна оцінити ймовірністю зникнення певного виду енергоносія або суттєвої зміни його вартості.

Аналіз показав, що ризики можуть оцінюватись потенційними збитками підприємства ПЗП та суспільства ПЗС, які підраховується як добуток ймовірності відсутності енергоносія на потенційний дохід підприємства або суспільства за відсутності ризиків та потенційних втрат.

У разі відсутності електропостачання способом зниження ризику порушення транспортного процесу може бути заміна троллейбусів на автобуси на відповідних маршрутах, що призводить до здороження перевезень. Але при цьому зростає надійність здійснення транспортного процесу.

Визначене значення граничної величини ймовірності відсутності електроенергії залежно від питомих собівартостей перевезень різними видами транспорту, вище якого заміна рухомого складу на більш дорогий, але й надійний, є доцільною.

Якщо, наприклад, питома собівартість експлуатації троллейбуса складає 40 грн/км, а дизельного автобуса – 50 грн/км, то гранична величина ймовірності відсутності електроенергії, вище якої заміна троллейбусів на автобуси стає доцільно, складає 25 %. Тому видається, що в разі якщо ймовірність відсутності електроенергії більше цієї величини, використання автобусів на газовому або дизельному паливі є більш надійним та вигідним виходячи з меншої вразливості такої транспортної системи ризикам через відсутність контактної мережі та централізованого постачання електричної енергії.

Перспективи подальшого дослідження.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на вдосконалення методики оцінки ризиків та розрахунки конкретних варіантів транспортного процесу для розуміння впливу різних параметрів на собівартість та надійність діяльності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сайт «Хмарочос» – Транспорт міст під обстрілами сильно пошкоджений. Чи будуть його реформувати в Чернігові, Миколаєві, Харкові? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hmarochos.kiev.ua/2022/09/23/transport-mist-pid-obstrilamy-sylno-poshkodzhenyj-chy-budut-jogo-reformuvaty-v-chernigovi-mykolayevi-harkovi>.
2. Пять новых троллейбусов с автономным ходом в Запорожье готовятся к выходу на маршруты [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://iz.com.ua/zaporoje/pyat-novyih-trolleybusov-s-avtonomnym-hodom-v-zaporozhe-gotovyat-k-vyihodu-na-marshruty>.
3. Тяговые батареи троллейбусов с удлиненным автономным ходом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.liotech.ru/products/batarei-i-nakopiteli/tyagovye-batarei-trolleybusov-s-avtonomnym-khodom/>.
4. Троллейбус с увеличенным автономным ходом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.liotech.ru/docs/Katalog_Liotech.pdf.
5. Электробусы, троллейбусы. ВКМ Holding [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://holdingbkm.com/catalog/elektrobusy>.
6. В Ровно начали испытывать гибридный троллейбус с дизельным генератором [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://traffic.od.ua/news/eltransua/1186511>.
7. Розбіг цін на троллейбуси в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nashigroshi.org/2018/04/20/rozbih-tsin-na-trolejbusy-v-ukrajini>.
8. Андрущенко С.І. Оцінка вартостей експлуатації транспортних засобів з різними типами силових установок / Андрущенко С.І., Бугайчук О.С., Лобода А.В., Савостін-Косяк Д.О. // Технічна інженерія: науковий журнал. – Ж.: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. – № 2 (86) – С. 3-12. – DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2020-2\(86\)-3-12](https://doi.org/10.26642/ten-2020-2(86)-3-12).
9. Андрущенко С.І. Розробка методики визначення експлуатаційних витрат автобусів та троллейбусів з різними видами силових установок / С.І. Андрущенко, В.Б. Будниченко, В.С. Подпіснєв // Науково-виробничий журнал «Автошляховик України» (Автомобільний транспорт). – 2022. – № 2 (270). – С. 15-25. – DOI: <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2022-2-270-15-25>.
10. Андрущенко С.І. Вибір рухомого складу міського пасажирського транспорту на основі оптимізації витрат на експлуатацію та ризиків / С.І. Андрущенко, О.С. Бугайчук, В.С. Подпіснєв, О.Д. Пилипівський // Міжнародна конференція «Покращення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів і машин». Збірник тез доповідей (16-17 листопада 2022 р.). – К.: НТУ, 2022. – 186 с. (с. 64-66). – DOI: <https://doi.org/10.33744/978-966-632-316-6-2022-1>.
11. Андрущенко С.І. Використання методів управління ризиками для зменшення аварійності на транспорті / С.І. Андрущенко, О.С. Бугайчук, В.Б. Будниченко, В.С. Подпіснєв // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: Луцький НТУ, 2021. – № 2 (17). – С. 31-40. – DOI: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i17.632>.

12. Voytkiv, S. (2021). The method of optimizing the main technical parameters of the promising city electric buses of ONC Type. *Vehicle and Electronics. Innovative Technologies*, № 20 (2021), pp. 6-16. DOI: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2021.20.0.01>.

13. Дембіцький Валерій. Дослідження енергетичних показників транспортних засобів з електричним приводом. Монографія / за заг. ред. Д.В. Ломотька. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ: Видавець Кушнір Г.М. – 2022. Т1 – 216 с. (с. 77-114).

14. Андрусенко С.І. Методика оцінки споживання енергії електробусом та параметрів тягової акумуляторної батареї в умовах експлуатації / С.І. Андрусенко, В.Б. Будниченко, В.С. Подпіснєв // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. – 2022. – № 22 (2022). – С. 64-71. – DOI: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2022.22.0.8>. – Режим доступу: <http://veit.khadi.kharkov.ua/article/view/268300/266081>.

15. 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>.

REFERENCES

1. Sait «Hmarochos» – Transport mist pid obstrilamy sylno poshkodzhenyi. Chy budut yoho reformuvaty v Chernihovi, Mykolaievi, Kharkovi? [Site "Skyscraper" – Transport of cities under shelling is badly damaged. Will it be reformed in Chernigov, Nikolaev, Kharkov?]. Retrieved from: <https://hmarochos.kiev.ua/2022/09/23/transport-mist-pid-obstrilamy-sylno-poshkodzhenyj-chy-budut-jogo-reformuvaty-v-chernigovi-mykolayevi-harkovi/> [in Ukrainian].

2. Pjat' novykh trolleybusov s avtonomnym hodom v Zaporozh'e gotovjatsja k vyhodu na marshruty [Five new trolleybuses with autonomous running in Zaporozhye are preparing to enter the routes]. Retrieved from: <http://iz.com.ua/zaporoje/pyat-novyih-trolleybusov-s-avtonomnym-hodom-v-zaporozhe-gotovyat-k-vyihodu-na-marshruty> [in Russian].

3. Tjagovye batarei trolleybusov s udlinennym avtonomnym hodom [Traction batteries for trolleybuses with an extended autonomous run]. Retrieved from: <https://www.liotech.ru/products/batarei-i-nakopiteli/tyagovye-batarei-trolleybusov-s-avtonomnym-khodom/> [in Russian].

4. Trolleybus s uvelichenym avtonomnym hodom [Trolleybus with increased autonomous running]. Retrieved from https://www.liotech.ru/docs/Katalog_Liotech.pdf [in Russian].

5. Jelektrobusy, trolleybusy. BKM Holding [Electric buses, trolleybuses. BKM Holding]. Retrieved from: <https://holdingbkm.com/catalog/elektrobusy/> [in Russian].

6. V Rovno nachali ispytyvat' gibridnyj trolleybus s dizel'nym generatorom [In Rivne testing of a hybrid trolleybus with a diesel generator has been begun]. Retrieved from: <https://traffic.od.ua/news/eltransua/1186511> [in Russian].

7. Rozbih tsin na troleibusy v Ukraini [The spread of prices for trolleybuses in Ukraine]. Retrieved from: <http://nashigroshi.org/2018/04/20/rozbih-tsin-na-troleibusy-v-ukrajini/> [in Ukrainian].

8. Andrusenko, S.I., Buhaichuk, O.S., Loboda, A.V., Savostin-Kosiak, D.O. (2020). Otsinka vartosti ekspluatatsii transportnykh zasobiv z riznymi tytamy sylovykh ustanovok [Estimation of operating costs of vehicles with different types of power plants]. *Tekhnichna inzheneriia: naukovyi zhurnal – Technical engineering: A scientific journal*, № 2 (86), 3-12. Retrieved from: [https://doi.org/10.26642/ten-2020-2\(86\)-3-12](https://doi.org/10.26642/ten-2020-2(86)-3-12) [in Ukrainian].

9. Andrusenko, S.I., Buhaichuk, O.S., Podpisnov, V.S. (2022). Rozrobka metodyky vyznachennia ekspluatatsiinykh vytrat avtobusiv ta troleibusiv z riznymi vydamy sylovykh ustanovok [Development of methods for operating costs calculating for buses and trolleybuses equipped with different types of power plants]. *Naukovo-vyrobynychi zhurnal «Avtoshliakhovyk Ukrainy» (Automobilnyi transport) – Research and production magazine "Automobile of Ukraine" (Motor transport)*, № 2 (270), 15-25. Retrieved from: <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2022-2-270-15-25> [in Ukrainian].

10. Andrusenko, S.I., Buhaichuk, O.S., Podpisnov, V.S., Pylypivskyi, O.D. (2022). Vybir rukhomoho skladu miskoho pasazhyrskoho transportu na osnovi optymizatsii vytrat na ekspluatatsiiu ta ryzykiv [Selection of rolling stock for urban passenger transport based on optimization of operating costs and risks]. *Mizhnarodna konferentsiia «Pokrashchennia konstruktyvnykh ta ekspluatatsiinykh pokaznykiv avtomobiliv I mashyn. Zbirnyk tez dopovidei – International conference "Improvement of constructive and operational*

performances of vehicles and road machines". Collection of abstracts. 186 p. (pp. 64-66). Kyiv, NTU [in Ukrainian].

11. Andrusenko, S.I., Buhaichuk, O.S., Budnychenko, V.B., Podpisnov, V.S. (2021). Vykorystannia metodiv upravlinnia ryzykamy dlia zmenshennia avariinosti na transporti [Using risk management methods to reduce traffic accidents]. Naukovi zhurnal «Suchasni tekhnologhii v mashynobuduvanni ta transporti» – Scientific journal «Modern technologies in mechanical engineering and transport», № 2 (17), 31-41. Retrieved from: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i17.632> [in Ukrainian].

12. Voytkiv, S. (2021). The method of optimizing the main technical parameters of the promising city electric buses of ONC Type. *Vehicle and Electronics. Innovative Technologies*, № 20, 6-16. Retrieved from: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2021.20.0.01> [in English].

13. Dembitskyi, V. (2022). Doslizhennia enerhgetychnykh pokaznykiv transportnykh zasobiv z elektrychnym pryvodom. Monografiia [Research of energy indicators of vehicles with an electric drive. Monograph]. (Vol. 1). Ivano-Frankivsk: Publisher Kushnir, H.M. [in Ukrainian].

14. Andrusenko, S.I., Budnychenko, V.B., & Podpisnov, V.S. (2022). Metodyka otsinky spozhyvannia enerhii elektrobosom ta parametriv tiahovoi akumuliatornoї batarei v umovakh ekspluatatsii [Methodology for estimating energy consumption for an electric bus and traction battery parameters in operating conditions]. *Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnologhii – Vehicle and Electronics. Innovative Technologies*, № 22 (2022), 64-71. DOI: <https://doi.org/10.30977/VEIT.2022.22.0.8>. Retrieved from: <http://veit.khadi.kharkov.ua/article/view/268300/266081> [in Ukrainian].

15. Metodyka rozrakhunku taryfiv na poslughy pasazhyrskohgo avtomobilnohgo transport [Methodology for calculating tariffs for passenger road transport services]. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1146-09> [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Андрусенко С.І. Особливості вибору рухомого складу міського пасажирського транспорту за сучасних умов в Україні / С.І. Андрусенко, О.М. Іванушко, В.С. Подпіснєв, І.В. Будниченко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

У статті викладена методика обґрунтування вибору рухомого складу міського колісного пасажирського транспорту на основі мінімізації вартості експлуатації рухомого складу з урахуванням ризиків нестачі енергоносіїв.

Об'єкт дослідження – процес перевезення пасажирів міським колісним транспортом.

Мета роботи – розробка методики вибору рухомого складу міського пасажирського транспорту за сучасних умов в Україні на основі вартості експлуатації та врахування ризиків для забезпечення надійності транспортного процесу.

Методи дослідження – математичне моделювання процесів.

Розглянуті умови доцільності заміни тролейбусів на автобуси на маршрутах під час регулярних перевезень пасажирів у містах. Визначено, що вибір має робитись для конкретного часу та місця.

На теперішній момент за прийнятого в розрахунках співвідношення цін на рухомий склад і енергоносії найбільш вигідним на маршрутах з частковим автономним ходом є використання тролейбусів з АКБ. Далі йдуть газові автобуси та електробуси. Зі збільшенням частки маршруту без контактної мережі експлуатаційні витрати тролейбусів з АКБ та ДГУ зростають. Натомість такі витрати для автобусів не залежать від частки маршруту без контактної мережі тому, що вона їм не потрібна. За відсутності нестачі енергоносія автобус з дизелем є менш конкурентним через високу вартість дизельного палива.

Важливим є питання надійності постачання різних енергоносіїв (електрична енергія, дизельне паливо або газ), яка важко піддається прогнозуванню. Треба враховувати ризики, які можна оцінити ймовірністю зникнення певного виду енергоносія або суттєвої зміни його вартості.

Показано, що ризики можуть оцінюватись потенційними збитками підприємства та суспільства, які підраховується як добуток ймовірності відсутності енергоносія на потенційний дохід підприємства або суспільства за відсутності ризику та потенційних втрат.

У разі відсутності електропостачання способом зниження ризику порушення транспортного процесу може бути заміна тролейбусів на автобуси на відповідних маршрутах, що призводить до

здороження перевезень. Але при цьому зростає надійність здійснення транспортного процесу і зменшуються потенційні збитки.

Визначене значення граничної величини ймовірності відсутності електроенергії залежно від питомих собівартостей перевезень різними видами транспорту, вище якого заміна рухомого складу на більш дорогий, але й надійний, є доцільною.

Одержані результати можуть бути використані владою міст для оперативного управління процесом перевезення пасажирів та планування цієї діяльності.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПАСАЖИРІВ, НАДІЙНІСТЬ, МІСЬКИЙ ТРАНСПОРТ, ПІДПРИЄМСТВО, РУХОМИЙ СКЛАД, ЕФЕКТИВНІСТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЇ, ЕНЕРГОНОСІЇ, НАСТАЧА, РИЗИКИ. ВАРТОСТІ, СОБІВАРТІСТЬ, ЙМОВІРНІСТЬ НЕСТАЧІ.

ABSTRACT

Andrusenko S.I., Ivanushko O.M., Podpisnov V.S., Budnychenko I.V. Features of rolling stock choice for urban passenger transport in modern conditions in Ukraine. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The article describes the method of substantiating the choice of rolling stock for urban wheeled passenger transport based on the minimization of the rolling stock operating cost, taking into account the risk of energy shortages.

The object of research is the process of transporting passengers by urban wheeled transport.

The aim of the work is to develop a methodology of rolling stock choosing for urban passenger transport under modern conditions in Ukraine based on the cost of operation and taking into account risks to ensure the reliability of the transport process.

Processes mathematical modelling is a research method.

The conditions for expediency of replacing trolleybuses with buses on routes with regular passenger transportation in cities are considered.

It is determined that the choice should be made for a specific time and place. At present, with the ratio of prices for rolling stock and energy carriers adopted in the calculations the use of battery-powered trolleybuses is the most profitable on routes with partial autonomous running. This is followed by gas buses and electric buses. As the share of the route without a contact network increases, the operating costs for trolleybuses from batteries and diesel generators grow. At the same time, such costs for buses do not depend on the share of the route without contact network because they do not need it. In the absence of energy lack, a diesel bus is less competitive due to diesel fuel high cost.

An important issue is the reliability of various energy carriers supply (electricity, diesel fuel or gas), which is difficult to predict. Risks should be taken into account that can be assessed by the probability of certain type of energy carrier disappearance or a significant change in its cost.

It is shown that risks can be assessed by the potential losses of the enterprise and society, which are calculated as the product of the energy carrier absence probability by the potential income of the enterprise or society in the absence of risk and potential losses.

In the absence of electricity, a way to reduce the risk of disruption to the transport process may be to replace trolleybuses with buses on the corresponding routes, which leads to higher transportation costs. But at the same time, the reliability of the transport process increases and potential losses decrease.

A certain value of the limiting value of the probability of electricity lack, depending on the specific cost of transportation by various modes of transport, above which the replacement of rolling stock with a more expensive and reliable one is advisable.

The results can be used by city authorities for the operational management of passenger transportation process and planning of this activity.

KEY WORDS: PASSENGER TRANSPORTATION, RELIABILITY, URBAN TRANSPORT, ENTERPRISE, ROAD STOCK, OPERATING EFFICIENCY, ENERGY, TUNING, INFORMATION. COSTS, COST PRICE, PROBABILITY OF SHORTAGE.

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.

Іванушко Олександр Миколайович, доктор філософії, Національний транспортний університет, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: o.ivanushko@ntu.edu.ua, тел. +380969298556, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 410, orcid.org/0000-0003-3759-5856.

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.

Будниченко Ігор Валерійович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: repair2006@ukr.net, тел. +380674655796, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 410, orcid.org/0000-0003-3073-4913.

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.

Ivanushko Oleksandr M., Ph.D., National Transport University, Associate Professor of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, e-mail: o.ivanushko@ntu.edu.ua, tel. +380969298556, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 410, orcid.org/0000-0003-3759-5856.

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.

Budnychenko Ihor V., National Transport University, Doctoral Student of the Department of Motor Vehicle Maintenance and Service, e-mail: repair2006@ukr.net, tel. +380674655796, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 410, orcid.org/0000-0003-3073-4913.

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.

ПРОЕКТУВАННЯ ДОДАТКУ ДЛЯ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ

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

Сергієнко І.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, sergienko339@gmail.com, orcid.org/0009-0009-1722-2869

Шкабура О.Ю., Національний транспортний університет, Київ, Україна, ashkabura@gmail.com, orcid.org:0000-0002-3335-066X

DESIGN OF THE APPLICATION FOR MANAGEMENT OF SOFTWARE DEVELOPMENT PROCESSES

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

Sergienko I.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, sergienko339@gmail.com, orcid.org/0009-0009-1722-2869

Shkabura O.Yu., National Transport University, Kyiv, Ukraine, ashkabura@gmail.com, orcid.org:0000-0002-3335-066X

Вступ

На ринку програмних засобів для керування розробкою програмного забезпечення(ПЗ) існує велика кількість сервісів з схожим цільовим призначенням. Сучасні реалії процесу планування та розробки програмних продуктів вимагають від розробника взаємодії з великою їх кількістю, що суттєво впливає на продуктивність роботи та зменшує швидкість створення кінцевого продукту. Ефективність ІТ – спеціаліста визначається якістю виконаної ним роботи за визначений проміжок часу. На фактор ефективності суттєво впливає середовище роботи фахівця. В даному випадку розглядається можливість оптимізації робочого процесу програміста шляхом централізації усіх робочих аспектів у одному додатку, що дозволить ефективніше використовувати робочий час та будувати більш якісні і змістовні комунікації, пов'язані з робочим процесом.

1. Аналіз основних існуючих додатків

Під час планування процесу розробки було розглянуто наступні програмні додатки:

Slack – найпопулярніший в нас час додаток для синхронних та асинхронних комунікацій серед спеціалістів ІТ галузі. Програма має версії для всіх популярних операційних систем, веб-додаток а також додатки для мобільних операційних систем IOS та Android.

Jira – додаток для керування процесами розробки та тайм-менеджменту ІТ проєктів, розроблений компанією Atlassian. Додаток дає можливість керувати процесами розробки ПЗ за двох методологій: Scrum та Kanban.

Trello – безкоштовна багато платформна система управління проєктами, розроблена Trello Enterprise, дочірньою компанією Atlassian. Застосунок надає користувачам схожі до Jira можливості, проте фокус цього додатку належить стороні замовника, а не розробника (як у випадку з Jira).

Після аналізу трьох перелічених додатків було виділено такі особливості:

1. Інтерфейс додатків має доступну візуалізацію процесів, є сучасним та інтуїтивно зрозумілим.
2. Додатки містять реалізацію лише одного з основних процесів розробки ПЗ (планування, візуалізація прогресу або комунікації).
3. Декомпозиція процесів розробки потребує використання декількох з представлених додатків разом для досягнення оптимального робочого процесу.
4. Jira та Trello мають споріднений функціонал, що відноситься до планування завдань для розробки та візуалізацій прогресу виконаної роботи.
5. Slack має перевагу у реалізації концепцій комунікацій між користувачами, але йому бракує функціоналу двох попередніх додатків для забезпечення повноти робочого процесу.

Зважаючи на переваги та недоліки програм аналогів було визначено наступні функціональні вимоги до розроблюваного продукту:

- Можливість авторизації та створення профілю

- Авторизація за допомогою сервісів Google
 - Можливість створення та редагування робочих середовищ (організацій)
 - Можливість динамічно налаштовувати користувацькі потреби робочого середовища
 - Можливість створювати та налаштовувати чати та канали робочих середовищ
 - Можливість редагувати кількість користувачів робочих середовищ, каналів та чатів
 - Можливість створювати та редагувати повідомлення у чатах та каналах
 - Можливість реагувати на повідомлення
 - Динамічні згадки у повідомленнях
 - Відповіді на повідомлення
 - Можливість створювати та редагувати ролі у організації
 - Можливість створювати та редагувати робочі дошки та завдання для них
 - Аналітичні відображення даних організацій, чатів та робочих дошок
 - Персональні налаштування користувача для кожної організації
 - Інформування членів організації через e-mail повідомлення
- Зважаючи на визначені функціональні вимоги було визначено структуру розроблюваного додатку.

2. Проектування та розробка додатку

Додаток включає у себе клієнт-серверну частину, а також синхронізовану базу та статичну базу даних (для зберігання різного типу даних) та файлове сховище для зберігання постійних файлів.

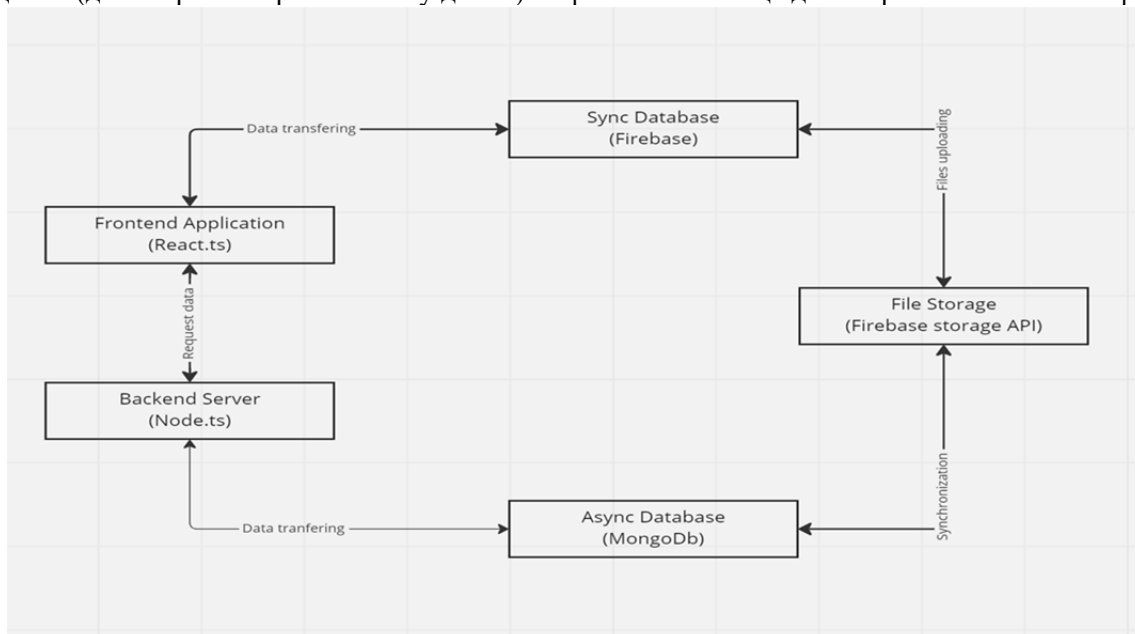


Рисунок 1 – Структура проекту

Figure 1 – Project structure

Для розробки Frontend складової додатку обрано мови програмування JavaScript та TypeScript, а також фреймворк React.js. Для Backend складової додатку було обрано мову Node.js. В якості синхронізованої системи зберігання інформації (бази даних) було обрано FireBase. Для реалізації зберігання інформації користувачів, зважаючи на концепцію проекту, використана no-sql база даних MongoDB.

При розробці автори виходили з необхідності спеціалізації баз даних, завдяки чому їм вдалося відійти від принципу «один розмір під усе». За рахунок мінімізації семантики для роботи з транзакціями з'являється можливість вирішення цілого ряду проблем, пов'язаних з нестачею продуктивності, причому горизонтальне масштабування стає простішим.

Керуючись визначеними вимогами та загальною концепцією додатку було визначено інформаційні сутності:

- Organization – організація.
- User – користувач.
- Role – роль.
- Chat, Channel – чат та канал.

- Message – повідомлення.
- Work board – робоча дошка.
- Column – колонка завдань (складова робочої дошки).
- Task – завдання (складова колонки).

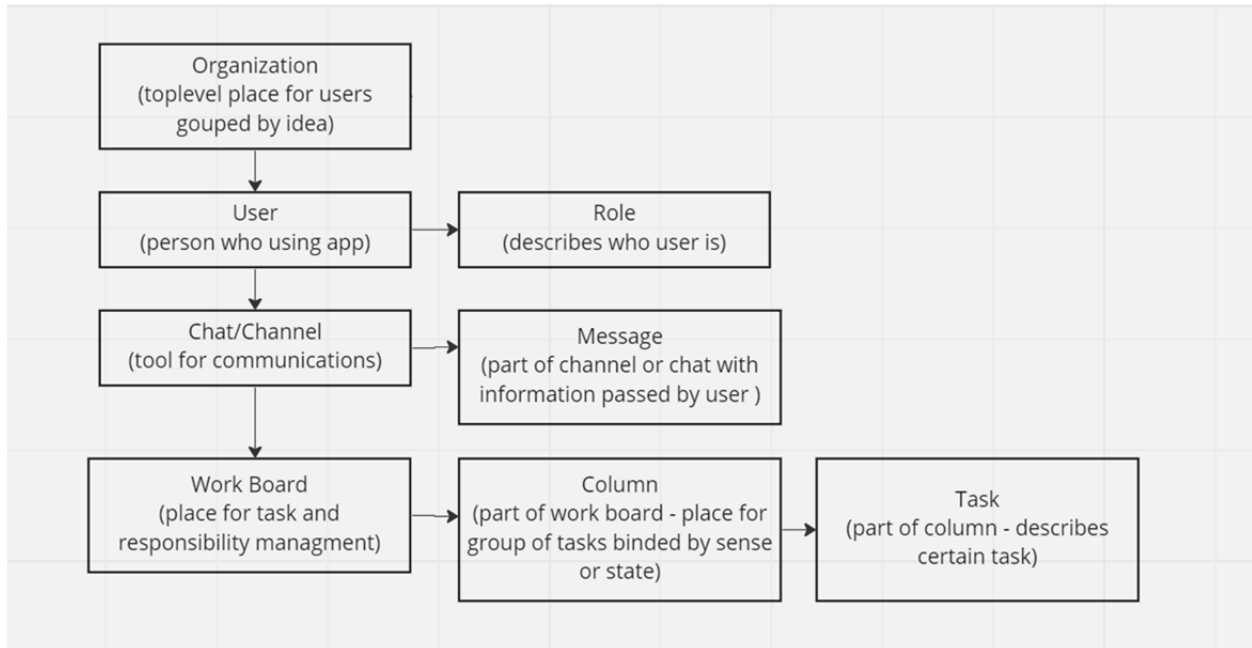


Рисунок 2 – Представлення інформаційної структури додатку
Figure 2 – Presentation of the information structure of the application

В процесі розробки проекту для зберігання статичної інформації було обрано об'єктно-орієнтовну базу даних MongoDB. Обрана база даних є статичною і буде використовуватися у проекті як середовище зберігання основної статичної інформації (такої, яка не потребує швидкісних оновлень у реальному часі). До такої інформації відносяться сутності: організація, чати та канали, ролі та користувачі. Найвищою інформаційною одиницею обраної бази даних є кластер. В рамках проектування та розробки бази даних проекту було використано такі типи даних як: String, Object, Date, ObjectId, Binary.

Концепція MongoDB передбачає роботу з даними за допомогою методів схеми. Схеми являють собою екземпляр класу Mongoose.Schema, який забезпечує екземпляр методами для роботи з даними. Завдяки сумісності MongoDB з середовищем мови JavaScript та Node.js існує можливість реалізації функціоналу бази даних за допомогою інструментів мови програмування.

Клас схеми у MongoDB містить визначені методи для роботи з даними [14]. Під час розробки сайту проекту та інтеграції його інтерфейсу з базою даних було використано наступні методи: findById, findOne, find, save.

Перераховані методи реалізували функціональну частину додатку та інтеграцію з базою даних, що дозволило зробити сайт динамічним. Також значною перевагою MongoDB є швидкість реалізації запитів та структуроване зберігання інформації (об'єкти кожної схеми зберігаються у окремій директиві кластеру).

Статичні файли програми розміщуються на хостингу Firebase. Кроссплатформні рішення Firebase Messaging дозволяють відправляти повідомлення на пристрої користувачів програми. Повідомлення можуть бути відправлені на пристрої будь-якого типу, в тому числі на ПК – як на окремі, так і на групи або на всі пристрої, на яких встановлено додаток.

Серверна логіка додатку реалізована за допомогою бібліотеки Express та мови програмування TypeScript. Важливою складовою серверної частини додатку є роутер. Роутер визначає механізми взаємодії клієнта з сервером та дозволяє обробляти кожен з запитів, даючи на нього відповідь.

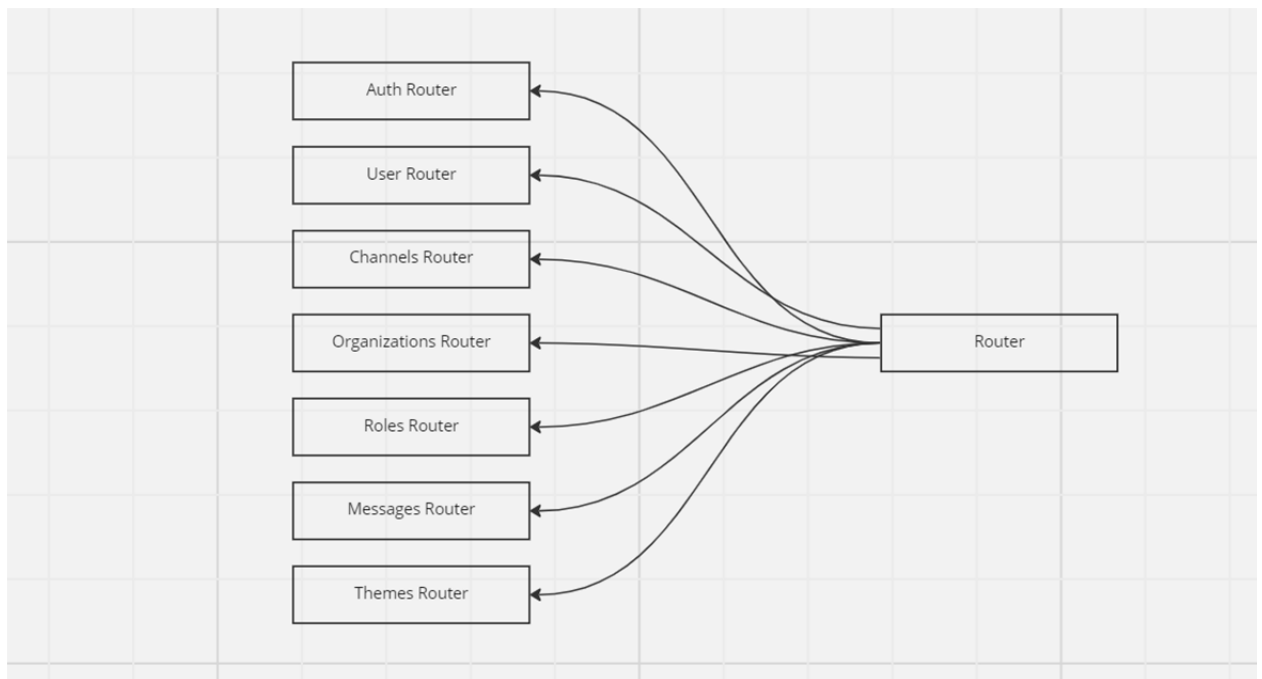


Рисунок 3 – Структура серверу додатку
Figure 3 – Application server structure

Таким чином, структура серверної логіки додатку складається з основного серверу та роутеру, що керує обміном інформації між клієнтом та сервером. Логічна структура модулів додатку визначає розподіл інформаційних ресурсів між вкладками та порядок зв'язків компонентів з серверною частиною.

Основною складовою клієнтського середовища додатку є візуальне представлення інтерфейсу. Спираючись на дані основних модулів застосунку була визначена структура інтерфейсу додатку у відповідності з призначенням кожного модуля.

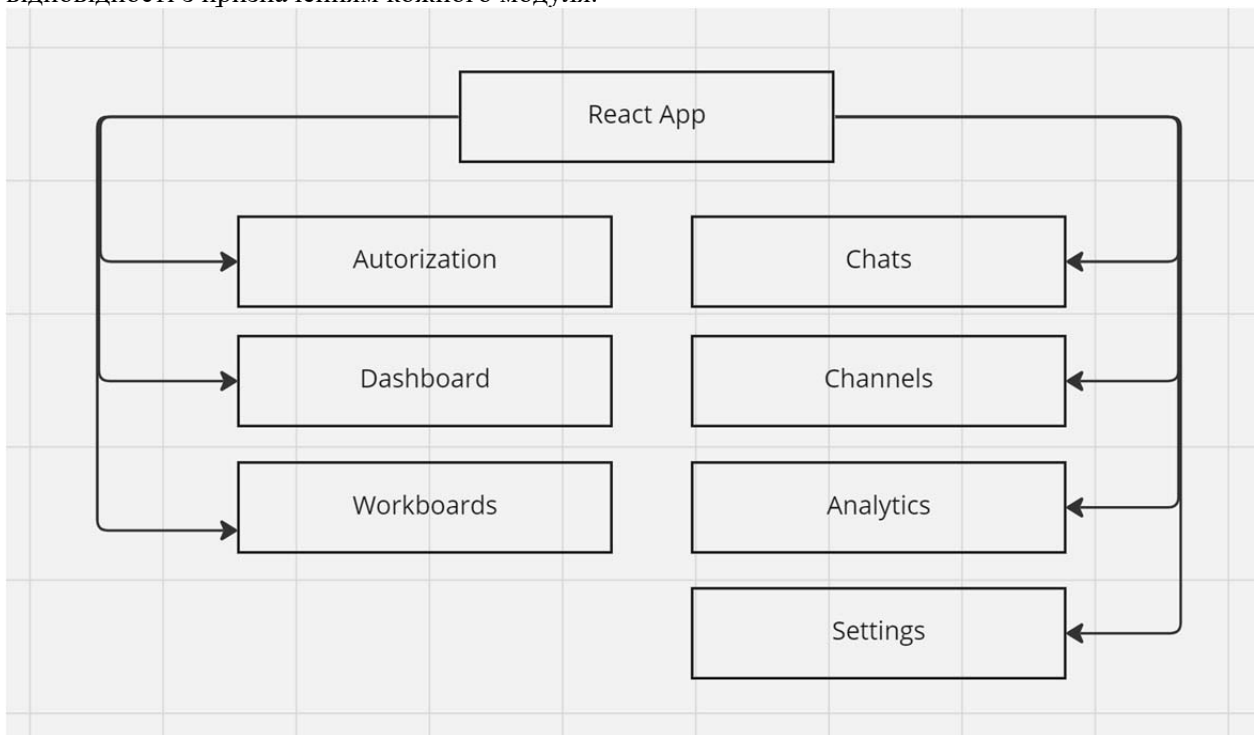


Рисунок 4 – Схема структурного розподілу модулів додатку
Figure 4 – Scheme of the structural distribution of application modules

Інтерфейс авторизації дозволяє користувачеві увійти, або зареєструватися у додатку використовуючи email та пароль, або сервіси авторизації Google. Після авторизації користувач може обрати одну з існуючих, чи створити нову організацію. Цей процес визначає подальші дії користувача. Інтерфейс дашборду дозволяє користувачеві взаємодіяти з усіма компонентами додатку та представляє основну інформацію, серед якої бокове меню з компонентами, менеджер вікон та основний контент. Вкладки Chats та Channels є спорідненими за значенням та відображають список чатів та каналів, до яких поточний користувач має доступ. Кожний чат зі списку може бути відкритим для перегляду повідомлень. Повідомлення у чатах та каналах сортуються за датою та мають функціонал реакцій. Також у чаті користувач може надіслати нове повідомлення. Вкладка з налаштуваннями представляє інтерфейс взаємодії з інформацією користувача та організації. Інформацію можна змінити, оновити та видалити. Представлення аналітичної вкладки полягає у відображенні інформації з активностей у чатах та каналах, а також графічного відображення ієрархії ролей у організації. Налаштування ролей є опціональним. Користувач має можливість змінювати ролі організації тільки якщо він є її власником. Також можливість зміни кількості учасників чатів і каналів організації належить лише її власнику. Це дозволяє запобігти негативним ситуаціям у ієрархічних рішеннях. Інтерфейс робочих дошок візуалізує процес роботи над завданнями, використовуючи принципи методології Scrum. Ця методологія є кращим рішенням для невеликих організацій. Механізм взаємодії з завданнями споріднена з програмою Jira, оскільки інтерфейс її взаємодії з робочим простором визнається найзручнішим. Користувач має змогу створити або видалити колонку для завдань на робочій дошці. Також є можливість створити, видалити та оновити завдання та його статус.

Основним напрямом модульного тестування є найважливіший функціонал клієнтської частини, а саме: модулі авторизації, чатів та налаштувань. У розроблюваному програмному додатку було протестовано клієнтську частину (Frontend). Для тестування було обрано бібліотеку тестів Jest та модуль бібліотеки React – react testing library. Ці засоби дозволять ефективно протестувати додаток та виявити будь-які відхилення від очікуваної функціональної поведінки.

Висновки

Проведено аналіз можливостей та функцій розроблюваної системи. Були розглянуті системи, аналогічні до розроблюваної, а саме: Slack, Atlassian Jira, Atlassian Trello. Встановлено основні переваги та недоліки цих систем. Зокрема, відмічено, що інтерфейс додатків має доступну візуалізацію процесів, є сучасним та інтуїтивно зрозумілим, додатки містять реалізацію лише одного з основних процесів розробки ПЗ (планування, візуалізація прогресу або комунікації), декомпозиція процесів розробки потребує використання декількох з представлених додатків разом для досягнення оптимального робочого процесу. В кінці розділу було визначено технології для розробки. А саме, було обрано бази даних Firebase та MongoDB, мови програмування JavaScript, TypeScript та середовище Node.js, фреймворки React та Express.js.

Визначено концепцію баз даних проекту, а саме: розподілено дані на динамічні та статичні, створено та проілюстровано схематично структуру бази даних, визначено кількість полів та види інформації, що будуть зберігатися ці поля. Реалізовано підключення до кластеру статичної бази даних MongoDB та підключення за клієнтським посиланням до динамічної бази даних Firebase, описано принцип роботи з запитами, описано колекцію методів взаємодії з інформацією та проініціалізовано схему користувача.

Розглянуто процес створення додатку проекту. Визначено основні функціональні вимоги та реалізовано логічні модулі frontend та backend структури додатку за допомогою визначених технологій розробки. Процес розробки та структуру застосунку було зображено схематично. Було проілюстровано компоненти інтерфейсу, а також описано способи зберігання інформації у клієнтському середовищі додатку.

Було обрано модульне тестування та протестовано клієнтську частину додатку технологіями Jest та React Testing Library.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Орлик С. Введение в программную инженерию и управление жизненным циклом ПЗ Программная инженерия. Программные требования [Електронний ресурс] / С. Орлик, Ю. Булуй – Режим доступу до ресурсу: http://www.sorlik.ru/swebok/3software_engineering_requirements.pdf.
2. Cockburn, A. (2015). Writing Effective Use Cases. Addison-Wesley. 270p

3. Standard Glossary of terms used in Software Testing. Version 1.2, ISTQB, 2006. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.istqb.org/downloads/glossary
4. 1061-1998 IEEE Standard for Software Quality Metrics Methodology. – (Галузевий стандарт)
5. Alistair Cockburn. Methodology per project. Humans and Technology Technical Report, TR 99.04, Oct.1999 7691 Dell Rd, Salt Lake City, UT 84121 USA. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://alistair.cockburn.us/Methodology+per+project>
6. Вигерс К. Разработка требований к программному обеспечению / Пер. с англ., М. 2004.-576с.
7. Electron Js – Офіційна Документація [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.electronjs.org/docs>.
8. Simpson K. You don't know js: this & object prototypes / Kyle Simpson., 2017, 173p
9. MongoDB Офіційна документація [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.mongodb.com/>.

REFERENCES

1. Orlyk S. Introduction to software engineering and software life cycle management. Software engineering. Program requirements [Electronic resource] / S. Orlyk, Yu. Buluy – Mode of access to the resource: http://www.sorlik.ru/swebok/3software_engineering_requirements.pdf.
2. Cockburn, A. (2015). Writing Effective Use Cases. Addison-Wesley. 270
3. Standard Glossary of terms used in Software Testing. Version 1.2, ISTQB, 2006. [Electronic resource]. – Access mode: www.istqb.org/downloads/glossary
4. 1061-1998 IEEE Standard for Software Quality Metrics Methodology. – (Industry Standard)
5. Alistair Cockburn. Methodology per project. Humans and Technology Technical Report, TR 99.04, Oct.1999 7691 Dell Rd, Salt Lake City, UT 84121 USA. [Electronic resource]. Access mode: <http://alistair.cockburn.us/Methodology+per+project>
6. Vygers K. Development of requirements for software / Trans. with Eng., M. 2004.-576p.
7. Electron Js – Official Documentation [Electronic resource] – Resource access mode: <https://www.electronjs.org/docs>.
8. Simpson K. You don't know js: this & object prototypes / Kyle Simpson., 2017, 173
9. MongoDB Official documentation [Electronic resource] – Resource access mode: <https://docs.mongodb.com/>.

РЕФЕРАТ

Безверхий О.І. Проектування додатку для керування процесами розробки програмних продуктів / О.І. Безверхий, І.В. Сергієнко, О.Ю. Шкабура. // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

У даній статті розглядається особливості процесу планування та розробки програмних продуктів, які вимагають від розробника взаємодії з великою їх кількістю, що суттєво впливає на продуктивність роботи та зменшує швидкість створення кінцевого продукту. В даному випадку розглядається можливість оптимізації робочого процесу програміста шляхом централізації усіх робочих аспектів у одному додатку, що дозволить ефективніше використовувати робочий час та будувати більш якісні і змістовні комунікації, пов'язані з робочим процесом.

Об'єкт дослідження – процес розробки додатку для керування процесами розробки програмних продуктів. Мета роботи: проектування розробки додатку для керування процесами розробки програмних продуктів, що буде представляти цілісну систему для розробки ПЗ, мінімізуючи складність комунікацій та сприйняття інформації та дозволить суттєво пришвидшити основні процеси роботи над розроблюваним програмним забезпеченням. Проаналізувавши найпопулярніші інструменти для розробки встановлено основні переваги та недоліки цих систем. Визначено концепцію баз даних проекту, а саме: розподілено дані на динамічні та статичні, створено та проілюстровано схематично структуру бази даних, визначено кількість полів та види інформації, що будуть зберігатися ці поля. Реалізовано підключення до кластеру статичної бази даних MongoDB та підключення за клієнтським посиланням до динамічної бази даних Firebase.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПРОГРАМНИЙ ПРОДУКТ, МЕНЕДЖМЕНТ ОБОВ'ЯЗКІВ, SCRUM, АСИНХРОННА КОМУНІКАЦІЯ.

ABSTRACT

Bezverhiy O.I., Sergienko I.V., Shkabura O.Yu. Design of the application for management of software development processes. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

This article examines the features of the process of planning and developing software products that require the developer to interact with a large number of them, which significantly affects work productivity and reduces the speed of creating the final product. In this case, the possibility of optimizing the programmer's work process by centralizing all work aspects in one application is considered, which will allow more efficient use of work time and build more qualitative and meaningful communications related to the work process.

The object of research is the process of developing an application for managing software product development processes. The purpose of the work: designing the development of an application for managing the development processes of software products, which will represent a complete system for software development, minimizing the complexity of communications and information perception, and will significantly speed up the main processes of work on the developed software. Having analyzed the most popular tools for development, the main advantages and disadvantages of these systems have been established. The concept of project databases was determined, namely: data was divided into dynamic and static, the structure of the database was created and schematically illustrated, the number of fields and the types of information that these fields will store were determined. A connection to a static MongoDB database cluster and a client link connection to a dynamic Firebase database have been implemented.

KEYWORDS: SOFTWARE PRODUCT, RESPONSIBILITY MANAGEMENT, SCRUM, ASYNCHRONOUS COMMUNICATION.

АВТОРИ

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

Сергієнко Ігор Вадимович, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: sergienko339@gmail.com.

Шкабура Олександр Юрійович, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: ashkabura@gmail.com

AUTHORS

Bezverkhii Oleksandr Ihorovych, Doctor of Technical Sciences, professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: o_bezver@ukr.net

Sergienko Igor.Vadymovych National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: sergienko339@gmail.com.

Shkabura Oleksandr Yuriiovych, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: ashkabura@gmail.com.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гавриленко Валерій Володимирович., д-ф.м.н., професор, Національний транспортний університет, Київ, Україна.

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 Viktorovych, Doctor of Physical and Mathematical sciences, professor, National university Taras Shevchenko, Kyiv, Ukraine.

КРИТЕРІЇ ФОРМУВАННЯ ПОРТФЕЛІВ 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

Патрашко М.О., Національний транспортний університет, Київ, Україна, marinapatrashko@icloud.com, orcid.org/0009-0004-2061-0233

Петунін А.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, petunin.andrew@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8072-6842

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

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

CRITERIA FOR THE FORMATION OF PUBLIC PARTICIPATION 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.

Patrashko M.O., National Transport University, Kyiv, Ukraine, marinapatrashko@icloud.com, orcid.org/0009-0004-2061-0233

Petunin A.V., PhD, National Transport University, Kyiv, Ukraine, petunin.andrew@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8072-6842

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

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

Постановка проблеми. Як зазначається в роботах [1, 2], 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 59 (за деякими джерелами – 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.) [3, 4].

При цьому простежується використання відмінних показників у якості критеріїв для оцінювання, відбору і пріоритизації проєктів ГУ щодо реалізації. Водночас, умовами побудови зазначених критеріїв, як правило, передбачається використання показника «кількість голосів, які отримав проєкт на підтримку» – як самостійного критерію або в поєднанні на різних засадах із іншими показниками в рамках відповідних критеріїв. Можна припускати, що певні характеристики проєкта ГУ виступають за фактори, які впливають на кількість голосів, які може отримати проєкт ГУ на підтримку. Можна також припускати, що наявність такого впливу взагалі, а також його сила і напрям, носять ситуативний характер. Виявлення даних факторів представляє інтерес у різних аспектах. Насамперед, за умовами забезпечення раціонального структурування певної сукупності проєктів ГУ, розглядуваної за портфель проєктів, – за категоріями (підпортфелями), підрозділами тощо. Таким чином, актуальним науковим завданням у контексті подальшого розвитку методології управління портфелями проєктів, у частині управління портфелями проєктів ГУ, є виявлення тих характеристик проєкта ГУ, які виступають за фактори, які впливають на кількість голосів на підтримку, які може отримати проєкт ГУ, – як критерій формування портфелів останніх.

Аналіз останніх досліджень. Натепер Інститут управління проектами (Project Management Institute, PMI), виокремлюючи зі свого базового стандарту з управління проектами – Зводу знань із управління проектами [5] – стандарт із управління портфелями проектів, пропонує чотири видання стандарту управління портфелем [6, 7, 8, 9]. В 4-му, останньому на 2022 р., виданні наведено наступні визначення понять «портфель» і «управління портфелем». Портфель – це сукупність проектів, програм, підпортфелів, а також операцій, які управляються як група для досягнення стратегічних цілей [9]. 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 [9]. Саме в цих значеннях поняття «портфель» і «управління портфелями» вживаються в даній роботі.

В роботах [1, 2] розглядаються умови застосування на прикладі м. Києва в якості критеріїв для оцінювання, відбору і пріоритизації проектів ГУ щодо реалізації двох критеріїв – як альтернативних. Це критерій «кількість голосів, які отримав проект на підтримку» (далі – критерій кількості голосів) і критерій «відношення кількості голосів, які отримав проект на підтримку, до запиту на обсяг фінансування за проектом» (далі – критерій відношення кількості голосів до запиту на обсяг фінансування). Окреме використання даних критеріїв за проектами ГУ в м. Києві мало місце в різних часових періодах. На основі аналізу статистичних даних за період із 2017 р. по 2021 р. включно в роботі [1] показано, що 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. Водночас, при зверненні авторів роботи [1] до статистичних даних за 2020 р., коли за критерій при прийнятті до реалізації проектів ГУ виступав критерій відношення кількості голосів на підтримку до запиту на обсяг фінансування, маємо протилежну ситуацію. А саме, середнє значення величини запиту на обсяг фінансування за проектами ГУ, прийнятими до реалізації, суттєво зменшилось майже за всіма тематичними спрямуваннями, порівняно до значення аналогічного показника, визначеного за проектами ГУ, допущеними до голосування. Відповідну до останньої мали ситуацію і в 2021 р. Відмінність 2021 р. відносно попереднього полягала у виокремленні категорій «малі» і «великі», зі встановленням окремого бюджету на кожну категорію. При цьому зменшення середнього значення величини запиту на обсяг фінансування за проектами ГУ мало місце по кожній категорії.

Вищенаведене, очевидно, може опосередковано вказувати на існування зв'язку між обираємим до використання, при виокремленні сукупності проектів ГУ до реалізації із загальної сукупності проектів ГУ, які брали участь у голосуванні, критерієм і такою характеристикою проектів ГУ як запит на обсяг фінансування.

Разом із тим, окремий інтерес являє перевірка припущення про існування залежності кількості голосів, які отримують проекти ГУ на підтримку, від запиту за ними на обсяг фінансування – як загалом за сукупністю (портфелем) проектів ГУ, так і за окремими категоріями (підпортфелями), наприклад, «малі» та «великі», а також тематичними спрямуваннями (підрозділами). Висунення такого припущення ґрунтується, зокрема, на тому, що більші за запитом на обсяг фінансування проекти ГУ з вищою ймовірністю можуть мати, з одного боку, більше стейкхолдерів, а з іншого – ресурсів для поширення позитивної інформації про себе відносно проектів ГУ з меншим запитом на обсяг фінансування.

Метою даного дослідження є перевірка гіпотези про існування залежності кількості голосів, які отримують проекти ГУ на підтримку, від запиту за проектами ГУ на обсяг фінансування – загалом, за окремими категоріями і за окремими тематичними спрямуваннями.

Об'єкт дослідження – процеси формування сукупностей проектів ГУ до реалізації за умовами м. Києва.

Предмет дослідження – критерії формування портфелів проектів.

Метод дослідження – метод кореляційного аналізу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Загальна кількість проєктів ГУ, які було прийнято до голосування в м. Києві в 2017 р., склала 317, із яких 59 було відібрано до реалізації [3, 4]. Дані проведеного аналізу залежності кількості голосів, які отримали проєкти ГУ на підтримку, від запиту за проєктами ГУ на обсяг фінансування в м. Києві в 2017 р. наведено в табл. 1. Як видно, кореляційний аналіз виконано з використанням методу Спірмена. Це зумовлено тим, що, як відомо, для вибору різновиду коефіцієнта кореляції необхідно мати відомості про тип розподілу даних. В результаті перевірки за допомогою критерію Колмогорова-Смірнова гіпотези про нормальність розподілу остання була відхилена. Відповідно, застосування критерію Пірсона не було можливим. В роботі було застосовано критерій рангової кореляції Спірмена.

Оцінка значущості коефіцієнта кореляції відбувались через розрахунок значення p , ґрунтуючись на перевірці двох гіпотез:

основна гіпотеза $H_0: p=0$,

альтернативна гіпотеза $H_1: p \neq 0$.

Основна гіпотеза стверджує, що кореляції не існує між розглядуваними ознаками, а альтернативна гіпотеза стверджує, що кореляція між розглядуваними ознаками в генеральній сукупності значуща. Коли основна гіпотеза відкидається на певному рівні значущості, це означає, що існує значуща відмінність між значенням коефіцієнта кореляції Спірмена та 0. Коли основна гіпотеза приймається, то це означає, що значення коефіцієнта кореляції Спірмена не сильно відрізняється від 0 і є випадковим. Інтерпретація сили зв'язку між змінними здійснювалась за шкалою Чеддока. Розрахунки проводились із використанням програмного продукту IBM SPSS Statistic 22. Прийнятий рівень значущості – 0,05.

Таблиця 1 – Дані аналізу залежності кількості голосів, які отримали проєкти ГУ на підтримку, від запиту за проєктами ГУ на обсяг фінансування в м. Києві в 2017 р. (критерій формування портфеля – кількість голосів): кореляційний метод Спірмена

Table 1 – Data analysis of the dependence of the number of votes received by GU projects for support on the request for GU projects for the amount of funding in the city of Kyiv in 2017 (portfolio formation criterion – number of votes): Spearman correlation method

Тематичне спрямування	Статус проєктів ГУ			
	прийняті до голосування		відібрані до реалізації	
	значення коефіцієнта Спірмена	інтерпретація сили зв'язку між змінними	значення коефіцієнта Спірмена	інтерпретація сили зв'язку між змінними
ІТ (інформаційні технології) (13*/0**)	0,399	помірна	-	-
Безпека (11/2)	0,318	помірна	-	-
Освіта (47/18)	0,072	слабка	- 0,306	помірна негативна
Дороги, транспорт (18/3)	0,100	слабка	0,500	помітна
Екологія (24/7)	- 0,030	слабка негативна	- 0,286	слабка негативна
Комунальне господарство, енергозбереження (64/7)	0,007	слабка	0,107	слабка
Культура, туризм (36/3)	0,026	слабка	0,500	помітна
Охорона здоров'я (27/5)	0,036	слабка	0,300	помірна
Соціальний захист (14/2)	0,189	слабка	-	-
Спорт (66/12)	0,255	слабка	- 0,319	помірна негативна
Проєкти ГУ в цілому (317/59)	0,136	слабка	- 0,045	слабка негативна

* кількість проєктів ГУ, прийнятих до голосування

** кількість проєктів ГУ, відібраних до реалізації

Як видно з табл. 1, за проєктами ГУ в цілому, які брали участь у голосуванні в 2017 р., була отримана пряма статистично значима кореляція 0,136 ($p < 0,05$), що свідчить про наявність слабого зв'язку між змінними кількості голосів і запиту на обсяг фінансування. Водночас, за проєктами ГУ в цілому, відібраними до реалізації в 2017 р. за критерієм кількості голосів, маємо обернену статистично значиму кореляцію 0,045 ($p < 0,05$). Зауважимо, що в деяких джерелах маємо інтерпретацію значення коефіцієнтів кореляції до 0,100 як відсутність зв'язку. Якщо звернутись до окремих тематичних спрямувань, то за проєктами ГУ, які брали участь у голосуванні, помірний позитивний зв'язок між відповідними змінними простежуємо для «ІТ» і «Безпека», а для всіх інших –

слабкий позитивний. Виключення складає «Екологія», де маємо слабкий негативний зв'язок. За проектами ГУ, відібраними до реалізації в 2017 р., маємо помітний позитивний зв'язок за тематичним спрямуванням «Дороги, транспорт», а також «Культура, туризм». Помірний позитивний зв'язок має місце для «Охорона здоров'я», слабкий позитивний зв'язок для «Комунальне господарство, енергозбереження». Водночас, помітний негативний зв'язок відмічається для «Освіта і спорт», а слабкий негативний – для «Екологія». За тематичними спрямуваннями «Освіта», «Екологія», «Комунальне господарство, енергозбереження», «Культура, туризм», «Охорона здоров'я» маємо значення коефіцієнта Спірмена за проектами ГУ, які приймали участь у голосуванні, меншим від 0,100, що, як зазначалось вище, можна інтерпретувати як відсутність зв'язку.

Загальна кількість проектів ГУ, які було прийнято до голосування в м. Києві в 2020 р., склала 1501, із яких 524 проекти було відібрано до реалізації [3, 4]. Розрахунки за 2020 р., аналогічні наведеним у табл. 1, представлено в табл. 2. При цьому, як видно, маємо певну відмінність у переліку тематичних спрямувань відносно табл. 1 [1].

Таблиця 2 – Аналіз залежності кількості голосів, які отримали проекти ГУ на підтримку, від запиту за проектами ГУ на обсяг фінансування в м. Києві в 2020 р. (критерій формування портфеля – відношення кількості голосів до запиту на обсяг фінансування): кореляційний метод Спірмена

Table 2 – Analysis of the dependence of the number of votes received by GU projects for support on the request for GU projects for the amount of funding in the city of Kyiv in 2020 (portfolio formation criterion – the ratio of the number of votes to the request for the amount of funding): Spearman's correlation method

Тематичне спрямування	Статус проектів ГУ			
	прийняті до голосування		відібрані до реалізації	
	значення коефіцієнта Спірмена	інтерпретація сили зв'язку між змінними	значення коефіцієнта Спірмена	інтерпретація сили зв'язку між змінними
ІТ (інформаційні технології) (14*/6**)	0,272	слабка	0,943	дуже висока
Безпека (54/19)	0,256	слабка	0,646	помітна
Освіта (646/288)	0,453	помірна	0,931	дуже висока
Громадянське суспільство (148/22)	0,111	слабка	0,881	висока
Дороги, транспорт (12/5)	0,462	помірна	1,000	дуже висока
Екологія (27/12)	0,493	помірна	0,851	висока
Комунальне господарство, енергозбереження (147/49)	- 0,002	слабка негативна	0,885	висока
Культура, туризм (85/30)	0,018	слабка	0,899	висока
Охорона здоров'я (49/9)	0,258	слабка	1,000	дуже висока
Публічний простір (99/25)	0,173	слабка	0,913	дуже висока
Соціальний захист (40/10)	0,386	помірна	0,903	дуже висока
Спорт (170/44)	0,398	помірна	0,926	дуже висока
Інше (18/5)	0,255	слабка	0,975	дуже висока
Проекти ГУ в цілому (1501/524)	0,381	помірна	0,927	дуже висока

* кількість проектів ГУ, прийнятих до голосування

** кількість проектів ГУ, відібраних до реалізації

Як видно з табл. 2, за проектами ГУ в цілому, які брали участь у голосуванні в 2020 р., була отримана пряма статистично значима кореляція 0,381 ($p < 0,05$), що свідчить про наявність помірного зв'язку між змінними кількості голосів і запиту на обсяг фінансування. Водночас, за проектами ГУ в цілому, відібраними до реалізації в 2020 р. за критерієм відношення кількості голосів до запиту на обсяг фінансування, маємо пряму статистично значиму кореляцію 0,927 ($p < 0,05$), що свідчить про наявність дуже високого зв'язку між змінними кількості голосів і запиту на обсяг фінансування. Відносно окремих тематичних спрямувань маємо позитивний помітний зв'язок для «Освіта», «Дороги, транспорт», «Екологія», «Соціальний захист», «Спорт»; позитивний слабкий для «ІТ», «Безпека», «Громадянське суспільство», «Культура, туризм», «Охорона здоров'я», «Публічний простір», «Інше»; негативний слабкий для «Комунальне господарство, енергозбереження». Для останнього отриманий результат, як вказувалось вище, можемо інтерпретувати як відсутність зв'язку. За проектами ГУ, відібраними до реалізації в 2020 р., маємо помітний позитивний зв'язок за «Безпека», високий за «Громадянське суспільство», «Екологія», «Комунальне господарство,

енергозбереження», «Культура, туризм». Всі інші тематичні спрямування вирізняє дуже високий позитивний зв'язок між змінними кількості голосів і запиту на обсяг фінансування.

Авторами даної статті було проведено окреме дослідження з використанням баз проєктів ГУ, які були прийняті до голосування і відібрані до реалізації в 2020 р. Це дослідження мало на меті з'ясувати, яким би чином змінилась (і чи змінилась би взагалі) залежність кількості голосів, які отримали проєкти ГУ на підтримку, від запиту за проєктами ГУ на обсяг фінансування в м. Києві в 2020 р., якби продовжував використовуватися критерій кількості голосів. Результати відповідного дослідження наведено в табл. 3. Очевидно, що стовпчики 1, 2 і 3 табл. 3 повторюють стовпчики 1, 2 і 3 табл. 2, за виключенням кількості проєктів, відібраних до реалізації.

Таблиця 3 – Дані аналізу залежності кількості голосів, які отримали проєкти ГУ на підтримку, від запиту за проєктами ГУ на обсяг фінансування в м. Києві в 2020 р. (критерій формування портфеля – кількість голосів): кореляційний метод Спірмена

Table 3 – Data analysis of the dependence of the number of votes received by GU projects for support on the request for GU projects for the amount of funding in the city of Kyiv in 2020 (portfolio formation criterion – the number of votes): Spearman's correlation method

Тематичне спрямування	Статус проєктів ГУ			
	прийняті до голосування		відібрані до реалізації (умовно)	
	значення коефіцієнта Спірмена	інтерпретація сили зв'язку між змінними	значення коефіцієнта Спірмена	інтерпретація сили зв'язку між змінними
ІТ (інформаційні технології) (14*/3**)	0,272	слабка	-	-
Безпека (54/4)	0,256	слабка	-	-
Освіта (646/96)	0,453	помірна	0,640	помітна
Громадянське суспільство (148/6)	0,111	слабка	0,058	слабка
Дороги, транспорт (12/2)	0,462	помірна	-	-
Екологія (27/1)	0,493	помірна	-	-
Комунальне господарство, енергозбереження (147/5)	- 0,002	слабка негативна	0,700	висока
Культура, туризм (85/9)	0,018	слабка	0,831	висока
Охорона здоров'я (49/6)	0,258	слабка	0,829	висока
Публічний простір (99/4)	0,173	слабка	0,600	помітна
Соціальний захист (40/2)	0,386	помірна	-	-
Спорт (170/25)	0,398	помірна	0,537	помітна
Інше (18/2)	0,255	слабка	-	-
Проєкти ГУ в цілому (1501/165)	0,381	помірна	0,649	помітна

* кількість проєктів ГУ, прийнятих до голосування

** кількість проєктів ГУ, відібраних до реалізації

Співставляючи табл. 2 і 3, бачимо, що при переході до критерію кількості голосів, як критерію відбору проєктів ГУ до реалізації, в 2020 р. за проєктами ГУ в цілому ми мали б зменшення як загальної кількості проєктів ГУ, відібраних до реалізації, так і за окремими тематичними спрямуваннями, табл. 4. При цьому, на відміну від 2017 р., для сукупності проєктів ГУ, відібраних до реалізації, простежується позитивний помітний або високий зв'язок – як за проєктами ГУ в цілому, так і окремими тематичними спрямуваннями – між кількістю голосів, які отримали проєкти ГУ на підтримку, від запиту за цими проєктами на обсяг фінансування. Очевидно, що мова йде про тематичні спрямування, де цей зв'язок може бути зазначено. Разом із тим, порівняно до 2020 р., в умовах використання в останньому для відбору проєктів ГУ до реалізації критерію відношення кількості голосів до запиту на обсяг фінансування, сила вищезазначеного зв'язку є дещо меншою.

В 2021 р. маємо поділ проєктів за двома категоріями. Кожна з цих категорій, маючи власний бюджет, може бути в рамках методології управління портфелями проєктів інтерпретована як підпортфель проєктів. Загальна кількість проєктів ГУ, які було прийнято до голосування в м. Києві в 2021 р., склала 1405, із яких 351 проєкт було відібрано до реалізації [3, 4]. Розрахунки за 2021 р., аналогічні наведеним у табл. 1 і 2, представлено в цілому, а також окремо за категоріями «малі» і «великі» в табл. 5, 6 і 7 відповідно, з поділом за тематичними спрямуваннями. Порівняно до 2017 р. і 2020 р., як видно, перелік тематичних спрямувань зазнав змін.

Таблиця 4 – До співставлення кількості проєктів ГУ, які могли бути реалізовані в 2020 р. за умовами використання альтернативних критеріїв відбору проєктів ГУ до реалізації

Table 4 – To compare the number of GU projects that could be implemented in 2020 under the conditions of using alternative criteria for the selection of GU projects for implementation

Тематичне спрямування	Критерій відбору проєктів ГУ до реалізації				Потенційне скорочення проєктів ГУ, відібраних до реалізації, за умов використання критерію кількості голосів, %
	кількість голосів		відношення кількості голосів до запиту на обсяг фінансування		
	кількість проєктів ГУ, які було відібрано до реалізації, од.	доля проєктів ГУ, які було відібрано до реалізації, %	кількість проєктів ГУ, які відібрані до реалізації, од.	доля проєктів ГУ, які відібрані до реалізації, %	
ІТ (інформаційні технології)	3	21,4	6	42,8	50,0
Безпека	4	7,4	19	35,2	78,9
Освіта	96	14,9	288	44,6	66,7
Громадянське суспільство	6	4,0	22	14,9	72,7
Дороги, транспорт	2	16,7	5	41,7	60,0
Екологія	1	3,7	12	44,4	91,7
Комунальне господарство, енергозбереження	5	3,4	49	33,3	89,8
Культура, туризм	9	10,6	30	35,3	70,0
Охорона здоров'я	6	12,2	9	18,4	33,3
Публічний простір	4	4,0	25	25,3	84,0
Соціальний захист	2	5,0	10	25,0	80,0
Спорт	25	14,7	44	25,9	43,2
Інше	2	11,1	5	27,8	60,0
Проєкти ГУ в цілому	165	11,0	524	34,9	68,5

Таблиця 5 – Аналіз залежності кількості голосів, які отримали проєкти ГУ на підтримку, від запиту за проєктами ГУ на обсяг фінансування в м. Києві в 2021 р. в цілому (критерій формування портфеля – відношення кількості голосів до запиту на обсяг фінансування): кореляційний метод Спірмена

Table 5 – Analysis of the dependence of the number of votes received by GU projects for support on the request for GU projects for the amount of funding in the city of Kyiv in 2021 as a whole (the portfolio formation criterion is the ratio of the number of votes to the request for the amount of funding): Spearman's correlation method

Тематичне спрямування	Статус проєктів ГУ			
	прийняті до голосування		відібрані до реалізації	
	значення коефіцієнта Спірмена	інтерпретація сили зв'язку між змінними	значення коефіцієнта Спірмена	інтерпретація сили зв'язку між змінними
ІТ (інформаційні технології) (22*/8**)	0,220	слабка	0,976	дуже висока
Освіта, громадянське суспільство (771/193)	0,480	помірна	0,962	дуже висока
Дороги, транспорт (32/11)	0,055	слабка	0,961	дуже висока
Екологія (31/7)	0,143	слабка	0,893	висока
ЖКГ (комунальне господарство, енергоефективність) (162/30)	0,339	помірна	0,950	дуже висока
Культура, туризм (66/24)	0,210	слабка	0,956	дуже висока
Здоров'я (50/11)	0,295	слабка	0,982	дуже висока
Соціальний захист, інклюзія (44/10)	0,519	помітна	0,927	дуже висока
Молодь, спорт (201/48)	0,263	слабка	0,991	дуже висока
Міжтематичні (26/9)	0,269	слабка	0,967	дуже висока
Проєкти ГУ в цілому (1405/351)	0,388	помірна	0,970	дуже висока

* кількість проєктів ГУ, прийнятих до голосування

** кількість проєктів ГУ, відібраних до реалізації

Як видно з табл. 5, за проектами ГУ в цілому, які брали участь у голосуванні в 2021 р., без поділу на категорії «малі» і «великі», що мало місце в даному році, була отримана пряма статистично значима кореляція 0,358 ($p < 0,05$), що свідчить про наявність помірного зв'язку між змінними кількості голосів і запиту на обсяг фінансування. Водночас, за проектами ГУ в цілому, відібраними до реалізації в 2021 р. за критерієм відношення кількості голосів до запиту на обсяг фінансування, маємо пряму статистично значиму кореляцію 0,970 ($p < 0,05$), що вказує на наявність дуже високого зв'язку між змінними, які розглядаються. При цьому, відносно окремих тематичних спрямувань за проектами ГУ, які брали участь у голосуванні, маємо позитивний помітний зв'язок за «Соціальний захист, інклюзія»; позитивний помітний за «Освіта, громадянське суспільство», «ЖКГ». За всіма іншими тематичними спрямуваннями – позитивний слабкий зв'язок. За проектами ГУ, відібраними до реалізації в 2021 р., маємо дуже високий позитивний зв'язок за всіма тематичними спрямуваннями, крім «Екологія», за якою цей зв'язок є високим позитивним.

Таблиця 6 – Аналіз залежності кількості голосів, які отримали проекти ГУ на підтримку, від запиту за проектами ГУ на обсяг фінансування в м. Києві в 2021 р. за категорією «малі» (критерій формування портфеля – відношення кількості голосів до запиту на обсяг фінансування): кореляційний метод Спірмена

Table 6 – Analysis of the dependence of the number of votes received by GU projects for support on the request for GU projects for the amount of funding in the city of Kyiv in 2021 by the «small» category (portfolio formation criterion – the ratio of the number of votes to the request for the amount of funding) : Spearman's correlation method

Тематичне спрямування	Статус проектів ГУ			
	прийняті до голосування		відібрані до реалізації	
	значення коефіцієнта Спірмена	інтерпретація сили зв'язку між змінними	значення коефіцієнта Спірмена	інтерпретація сили зв'язку між змінними
ІТ (інформаційні технології) (17*/7**)	0,088	слабка	0,964	дуже висока
Освіта, громадянське суспільство (661/148)	0,402	помірна	0,938	дуже висока
Дороги, транспорт (27/11)	0,137	слабка	0,961	дуже висока
Екологія (18/5)	0,226	слабка	0,700	висока
ЖКГ (комунальне господарство, енергоефективність) (144/24)	0,225	слабка	0,929	дуже висока
Культура, туризм (53/19)	0,062	слабка	0,912	дуже висока
Здоров'я (33/6)	- 0,173	слабка негативна	0,943	дуже висока
Соціальний захист, інклюзія (43/10)	0,569	помітна	0,927	дуже висока
Молодь, спорт (150/39)	0,252	слабка	0,988	дуже висока
Міжтематичні (19/7)	- 0,375	помірна	0,964	дуже висока
Проекти ГУ категорії «малі» в цілому (1165/276)	0,312	помірна негативна	0,954	дуже висока

* кількість проектів ГУ, прийнятих до голосування

** кількість проектів ГУ, відібраних до реалізації

За категорією «малі», табл. 6, за проектами ГУ в цілому, які брали участь у голосуванні в 2021 р., була отримана пряма статистично значима кореляція 0,312 ($p < 0,05$), що вказує на наявність помірного зв'язку між змінними кількості голосів і запиту на обсяг фінансування. Водночас, за проектами ГУ категорії «малі» в цілому, відібраними до реалізації в 2021 р., маємо пряму статистично значиму кореляцію 0,954 ($p < 0,05$), що вказує на наявність дуже високого зв'язку між змінними, які розглядаються. За тематичними спрямуваннями за проектами ГУ, які брали участь у голосуванні, – маємо позитивний помітний зв'язок за «Соціальний захист, інклюзія», помітний позитивний зв'язок за «Освіта, громадянське суспільство», слабкий позитивний – за «ІТ», «Дороги, транспорт», «Екологія», «ЖКГ», «Культура, туризм», «Молодь, спорт». Як зазначалось вище, за «ІТ»; «Культура, туризм», зв'язок можна інтерпретувати як відсутній. Разом із тим, деякі тематичні спрямування демонструють негативний зв'язок. А саме: «Здоров'я» – негативно слабкий і «Міжтематичні» негативно помітний. Для проектів ГУ, відібраних до реалізації в 2021 р. за категорією «малі», маємо дуже високий позитивний зв'язок за всіма тематичними спрямуваннями, крім «Екологія», за якою цей зв'язок є високим позитивним.

Таблиця 7 – Аналіз залежності кількості голосів, які отримали проекти ГУ на підтримку, від запиту за проектами ГУ на обсяг фінансування в м. Києві в 2021 р. за категорією «великі» (критерій формування портфеля – відношення кількості голосів до запиту на обсяг фінансування): кореляційний метод Спірмена

Table 7 – Analysis of the dependence of the number of votes received by GU projects for support on the request for GU projects for the amount of funding in the city of Kyiv in 2021 by the «large» category (portfolio formation criterion – the ratio of the number of votes to the request for the amount of funding): Spearman's correlation method

Тематичне спрямування	Статус проектів ГУ			
	прийняті до голосування		відібрані до реалізації	
	значення коефіцієнта Спірмена	інтерпретація сили зв'язку між змінними	значення коефіцієнта Спірмена	інтерпретація сили зв'язку між змінними
ІТ (інформаційні технології) (5*/1**)	- 0,700	висока негативна	-	-
Освіта, громадянське суспільство (110/45)	0,051	слабка	0,621	помітна
Дороги, транспорт (5/0)	- 0,600	помітна	-	-
Екологія (13/12)	- 0,444	негативна	-	-
ЖКГ (комунальне господарство, енергоефективність) (18/6)	- 0,456	помірна	-	-
Культура, туризм (13/5)	0,137	негативна	- 0,698	помітна негативна
Здоров'я (17/5)	- 0,567	слабка	1,000	дуже висока
		помітна	1,000	дуже висока
		негативна		
Соціальний захист, інклюзія (1/0)	-	-	-	-
Молодь, спорт (51/9)	- 0,073	слабка негативна	0,8	висока
Міжтематичні (7/2)	- 0,786	висока негативна	-	-
За проектами ГУ категорії «великі» в цілому (240/75)	- 0,15	слабка негативна	0,614	помітна

* кількість проектів ГУ, прийнятих до голосування

** кількість проектів ГУ, відібраних до реалізації

За категорією «великі», табл. 7, за проектами ГУ в цілому, які брали участь у голосуванні в 2021 р., була отримана обернена статистично значима кореляція 0,15 ($p < 0,05$), що вказує на наявність слабого негативного зв'язку між змінними кількості голосів і запиту на обсяг фінансування. Водночас, за проектами ГУ категорії «великі» в цілому, відібраними до реалізації в 2021 р., маємо пряму статистично значиму кореляцію 0,614 ($p < 0,05$), що вказує на наявність помітного зв'язку між змінними, які розглядаються. За тематичними спрямуваннями за проектами ГУ, які брали участь у голосуванні, – маємо негативний зв'язок за всіма, крім двох – «Освіта, громадянське суспільство» (слабкий зв'язок), «Культура, туризм» (слабкий зв'язок). При цьому високий зв'язок маємо за «Міжтематичні», «ІТ»; помітний – за «Дороги, транспорт», «Здоров'я»; помірний – за «Екологія», «ЖКГ»; слабкий – за «Освіта, громадянське суспільство». Для проектів ГУ, відібраних до реалізації у 2021 р. за категорією «великі», там, де цей зв'язок можна простежити, хоч і з певними застереженнями, маємо помітний позитивний зв'язок для «Освіта, громадянське суспільство», а також помітний, проте, негативний, для «ЖКГ». Дуже високий позитивний зв'язок демонструють «Культура, туризм», а також «Здоров'я». Для «Молодь, спорт» даний зв'язок є високим позитивним.

Висновки з проведеного дослідження та перспективи подальших розвідок за даним напрямом. Дослідження, проведене за умовами формування сукупності проектів ГУ до реалізації в м. Києві, вказує на наявність зв'язку між змінними кількості голосів, які отримують проекти ГУ на підтримку, і запиту за проектами ГУ на обсяг фінансування.

Сила даного зв'язку за проектами ГУ, які приймали участь у голосуванні, варіює від слабкої до помітної і різниться за окремими тематичними спрямуваннями. За відповідною сукупністю проектів ГУ зазначений зв'язок носить позитивний характер. Виключення складає категорія «великі» проекти ГУ, за якою маємо переважно негативний зв'язок між змінними кількості голосів, які отримують проекти на підтримку, і запиту за проектами ГУ на обсяг фінансування. Зв'язок за проектами ГУ, які було відібрано до реалізації, варіює від слабого до дуже високого і має, для більшості тематичних спрямувань, позитивний характер. При цьому, в умовах використання критерію відношення кількості

голосів до запиту на обсяг фінансування, домінує сила зв'язку від високої до дуже високої. Водночас, при використанні критерію кількості голосів в 2017 р. сукупність відібраних проєктів ГУ до реалізації демонструє не лише відносно меншу силу зв'язку між вищевказаними змінними, а й за багатьма тематичними спрямуваннями негативний характер такого зв'язку. Разом із тим, проведене окреме дослідження щодо гіпотетичного використання критерію кількості голосів для відбору проєктів ГУ на базі даних 2020 р. показало для більшості тематичних спрямувань позитивний зв'язок у діапазоні від помітного до високого за сукупністю проєктів ГУ, відібраних до реалізації. За джерело такої розбіжності може, в тому числі, виступати втручання в систему відбору проєктів ГУ до реалізації через взяття до уваги інших, додаткових, критеріїв, крім декларованого, а також відносно мала сукупність розглядуваних проєктів ГУ.

Можна дійти висновку, що прийнятий критерій для відбору проєктів ГУ до реалізації значуще впливає на характеристики сукупності відібраних до реалізації проєктів ГУ. Використання критерію кількості голосів зумовлює прийняття до реалізації відносно більших за запитом на фінансування проєктів ГУ, що, в умовах обмеженого бюджету, зменшує кількість останніх. При цьому простежується відносно менша сила зв'язку в сукупності відібраних до реалізації проєктів ГУ між змінними кількості голосів, які отримали проєкти ГУ на підтримку, і запиту за проєктами ГУ на обсяг фінансування. Водночас, даний зв'язок за умов, коли при відборі проєктів ГУ не використовуються додаткові критерії, має місце і носить позитивний характер.

Характер зв'язку між змінними кількості голосів, які отримують проєкти ГУ на підтримку, і запиту за проєктами ГУ на обсяг фінансування має бути взятий до уваги при формуванні структури портфелів проєктів ГУ, яка б забезпечила, головним чином, «справедливість» у відборі проєктів ГУ до реалізації. Насамперед, при визначенні умов виокремлення бюджетів за групами малих і великих проєктів ГУ, а також за групами проєктів відмінних тематичних спрямувань. Напрямок подальших досліджень може бути подовження досліджень відмінностей у запитах на обсяг фінансування проєктів ГУ різних тематичних спрямувань.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Воркут Т.А., Божок Ю.О., Лушчай Ю.В., Петунін А.В., Харута В.С. Структурування портфелів проєктів громадської участі. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 3 (53). С. 82-94
2. Vorkut T.A, Bozhok Y.O., Lushchai Y.V., Petunin A.V., Kharuta V.S. Public Participation Project Management in the Context of Portfolio Management. International Journal of Innovative Technologies in Economy, (1(41)). https://doi.org/10.31435/rsglobal_ijite/30032023/7943
3. 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>.
4. 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>.
5. The Standard for Project Management and a Guide to the Project Management Body of Knowledge – Seventh Edition, Project Management Institute Inc, 2021, 370 p.
6. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – First Edition, Project Management Institute Inc, 2006, 79 p.
7. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Second Edition, Project Management Institute Inc, 2008, 146 p.
8. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Third Edition, Project Management Institute Inc, 2013, 121 p.
9. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Fourth Edition, Project Management Institute Inc, 2017, 140 p.

REFERENCES

1. 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). P. 82-94.
2. Vorkut T.A, Bozhok Y.O., Lushchai Y.V., Petunin A.V., Kharuta V.S. Public Participation Project Management in the Context of Portfolio Management. International Journal of Innovative Technologies in Economy, (1(41)). https://doi.org/10.31435/rsglobal_ijite/30032023/7943
3. 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>.

4. 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>.
5. The Standard for Project Management and a Guide to the Project Management Body of Knowledge – Seventh Edition, Project Management Institute Inc, 2021, 370 p.
6. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – First Edition, Project Management Institute Inc, 2006, 79 p.
7. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Second Edition, Project Management Institute Inc, 2008, 146 p.
8. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Third Edition, Project Management Institute Inc, 2013, 121 p.
9. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Fourth Edition, Project Management Institute Inc, 2017, 140 p.

РЕФЕРАТ

Воркут Т.А. Критерії формування портфелів громадської участі / Т.А. Воркут, Ю.О. Божок, М.О. Патрашко, А.В. Петунін, Н.В. Срібна, В.С. Харута // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

Актуальним теми дослідження зумовлена необхідністю вдосконалення і подальшого розвитку науково-методичного забезпечення процесів управління проектами громадської участі (ГУ).

Мета дослідження: перевірка гіпотези про існування залежності кількості голосів, які отримують проекти ГУ на підтримку, від запиту за проектами ГУ на обсяг фінансування – загалом, за окремими категоріями і за окремими тематичними спрямуваннями.

Завдання дослідження: 1) обрати різновид методу кореляційного аналізу для перевірки гіпотези про існування залежності кількості голосів, які отримують проекти ГУ на підтримку, від запиту за проектами ГУ на обсяг фінансування; 2) перевірити, з використанням обраного методу, гіпотезу про існування залежності між кількістю голосів, які отримують проекти ГУ на підтримку, від запиту за проектами ГУ на обсяг фінансування; 3) зробити висновки.

Методика дослідження. При обранні різновиду методу кореляційного аналізу для перевірки гіпотези про існування залежності кількості голосів, які отримують проекти ГУ на підтримку, від запиту за проектами ГУ на обсяг фінансування – критерій Колмогорова-Смірнова для перевірки гіпотези про нормальність розподілу; для перевірки гіпотези про існування залежності між кількістю голосів, які отримують проекти ГУ на підтримку, від запиту за проектами ГУ на обсяг фінансування – метод Спірмена.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПРОЄКТ, ПРОЄКТ ГРОМАДСЬКОЇ УЧАСТІ, ПОРТФЕЛІ ПРОЄКТІВ ГРОМАДСЬКОЇ УЧАСТІ.

ABSTRACT

Vorkut T.A., Bozhok Y.O., Patrashko M.O., Petunin A.V., Sribna N.V., Kharuta V.S. Criteria for the formation of public participation portfolios. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The relevance of the research topic is determined by the need for improvement and further development of scientific and methodological support for the management processes of public participation (PP) projects.

The purpose of the research: verification of the hypothesis about the existence of a dependence of the number of votes received by PP projects for support on the request for PP projects for the amount of funding - in general, by separate categories and by separate thematic directions

The task of the research: 1) choose a type of correlation analysis method to test the hypothesis about the existence of a dependence of the number of votes received by PP projects for support on the request for PP projects for the amount of funding; 2) to verify, using the chosen method, the hypothesis of the existence of a dependence between the number of votes received by PP projects for support, and the request for PP projects for the amount of funding; 3) draw conclusions.

Research methodology. When choosing a type of correlation analysis method to test the hypothesis of the existence of a dependence of the number of votes received by PP projects for support on the request for PP projects on the amount of funding – the Kolmogorov-Smirnov test for testing the hypothesis of normality of the distribution; to test the hypothesis about the existence of a dependence between the number of votes received by PP projects for support and the request for PP projects for the amount of funding – Spearman's method.

KEY WORDS: PROJECT, PUBLIC PARTICIPATION PROJECT, PORTFOLIO OF PUBLIC PARTICIPATION PROJECTS.

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

Патрашко Марина Олександрівна, студентка, Національний транспортний університет, e-mail: marinapatrashko@icloud.com, тел.: (+38 044) 254-43-26, 01010, Україна, Київ, вул. М. Омеляновича-Павленко, 1, оф. 439, orcid.org/0009-0004-2061-0233

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

Срібна Наталія Василівна, Національний транспортний університет, Київ, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри транспортного права та логістики, e-mail: natasribna28@gmail.com, ел.: (+38 044) 254-43-26, 01010, Україна, Київ, вул. М. Омеляновича-Павленко, 1, оф. 439, orcid.org/0000-0002-7543-2997

Харута Віталій Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри транспортного права та логістики, Національний транспортний університет, e-mail: kharuta_vitaliy@ukr.net, тел.: (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

Maryna O. Patrashko, student, National Transport University, e-mail: marinapatrashko@icloud.com, tel. (044) 2544326, Ukraine, Kyiv 01010, 1 Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka Str., office 439, orcid.org/0009-0004-2061-0233

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 433a, orcid.org/0000-0002-8072-6842

Natalia V., Sribna, National Transport University, Senior Lecturer at the Department of Transport Law and Logistics, e-mail: natasribna28@gmail.com, tel. (044) 2544326, Ukraine, Kyiv 01010, 1 Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka Str., office 439, orcid.org/0000-0002-7543-2997

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:

Харченко А.М., доктор технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, Київ, Україна.

Данченко О.Б., доктор технічних наук, професор, Черкаський державний технологічний університет, професор кафедри комп'ютерних наук та системного аналізу, Черкаси, Україна.

REVIEWERS:

A. M. Kharchenko, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Professor at the Department of Transport Construction and Property Management, Kyiv, Ukraine.

O. B. Danchenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Cherkasy State Technological University, Professor of the Department of Computer Science and System Analysis, Cherkasy, Ukraine.

ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ РОЗВИТКУ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СТРУКТУР МИТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Галак І.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, 1017imiia@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5038-7771

Добровольська А.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, anet_chechet@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5912-0678

Омельченко А.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, oma2000@ukr.net, orcid.org/0009-0005-5552-3671

THE PECULIARITIES OF DEVELOPMENT PROJECTS MANAGEMENT OF CUSTOMS SERVICE ORGANIZATIONAL STRUCTURES

Halak I.I., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, 1017imiia@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5038-7771

Dobrovolska A.M., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, anet_chechet@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5912-0678

Omelchenko A.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, oma2000@ukr.net, orcid.org/0009-0005-5552-3671

Постановка проблеми. Митниця є невід’ємним атрибутом державності та ознакою суверенітету, вона з’являється на ранніх етапах виникнення суспільства і супроводжує всі форми державного устрою і є джерелом бюджетних надходжень та інструментом захисту[1].

На сьогодні в країні відбувається масштабне реформування митної сфери, що відображає кардинальну перебудову структури управління митних органів шляхом спроби об’єднання незалежного самостійного органу влади – Державної митної служби з Міністерством цифрової трансформації України. Цифровізація, розвиток інфраструктури, робота з міжнародними проєктами є пріоритетними напрями діяльності Держмитслужби сьогодні. Через обмеження повітряного та морського шляхів суттєво збільшилось навантаження на автомобільні пункти пропуску західних регіонів. Відтак невідкладні заходи з оптимізації роботи, перерозподілу ресурсів та пошуку альтернативних шляхів були спрямовані на забезпечення сталого функціонування кордону. Завдяки бізнесу та міжнародним партнерам Держмитслужбі вдалося досягти значних результатів у розвитку служби, і таким чином наша країна отримала унікальну можливість – стати частиною європейської спільноти[2].

Основними перевагами євроінтеграції, як пріоритету зовнішньополітичного курсу України, є створення надійних механізмів безпеки, політичної стабільності та демократії, а перспектива членства у Європейському Союзі визначена стратегічним орієнтиром національних прагнень до перетворення і головною ціллю, для досягнення якої відбуваються реформи[1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Діяльність митних органів неодноразово ставала предметом досліджень, при чому розробки велись як власне представниками історичної науки, так і юристами, яких цікавили певні закономірності виникнення та розвитку митної справи на території України. Особливості становлення та формування митних органів у різні періоди з огляду на завдання з протидії контрабанді вивчали О.В. Поліщук [3] та Н.В. Ігнатко [4]. Інституційний розвиток державної митної служби та питання управління ним стали темою дисертаційного дослідження доктора наук з державного управління Н.А. Липовської, в якому вчений вдалось розв’язати проблеми управління інституціональним розвитком Держмитслужби [5]. Механізми державного управління процесами адаптації митної системи України до європейських вимог стали предметом дослідження С. І. Доротича [6;7]. І. В. Письменний сформулював основні принципи діяльності митних органів та обґрунтував доцільність побудови організаційної структури управління системою митних органів з урахуванням змін адміністративно-територіального устрою України [8], А.П. Павлов вивчав організаційно-правові аспекти кадрового забезпечення цих органів [9;10], С. П. Петрусь та Н. М. Стецюк – питання управління кадровими ресурсами в умовах модернізації Держмитслужби [11; 12].

Попри широко представлені дослідження в сфері митної справи та діяльності митних органів відмічаємо, що в Україні мало досліджень присвячені управлінню проектами розвитку організаційних структур митного обслуговування. Організаційні засади митного обслуговування суб'єктів зовнішньоекономічної діяльності досліджені в роботі Н.О. Шпак та О.Ф. Будз, отримані результати дозволяють зрозуміти, як організувати злагоджену, впорядковану та взаємовигідну співпрацю, що об'єктивно враховуватиме інтереси усіх її учасників, та забезпечити одержання ефективних результатів митного обслуговування [13], Б. В. Літовченко та В. Ю. Єдинак у своїй роботі, на прикладі діяльності митної служби України і її структурних підрозділів, розглядають перспективи вдосконалення будови організаційної структури в контексті стратегічного розвитку митної служби [14]. Етапи розвитку та реформування системи управління митною справою в Україні представлені в роботі І.Г. Бережнюка [15], на думку автора чіткий розподіл повноважень і відповідальності стане функціональною основою вдосконалення організаційної структури підрозділів усіх рівнів та доопрацювання чи розробки типових положень про відповідні підрозділи. Г.О. Комарницька вивчає інструментарій розвитку митного обслуговування в умовах реалізації проєктів державно-приватного партнерства щодо розвитку митного обслуговування, ідентифікує ключові напрями та принципи розвитку митного обслуговування, визначає ресурсне забезпечення реалізації такого роду проєктів, обґрунтовує засади співпраці державного та приватного партнерів через реалізацію управлінського механізму для досягнення результативних показників та синергічного ефекту розвитку митного обслуговування [2]. Про режим роботи вантажного митного комплексу в якості системи масового обслуговування, де відбувається митне обслуговування вантажовласників при експорті та імпорті вантажів, розповідається у роботі О. Мазуренко та інші [16], що дозволяє ознайомитись із організаційною структурою митного обслуговування через її окремі елементи.

Мета статті – дослідити роль та значення основних організаційних структур митного обслуговування, ідентифікувати пріоритетні напрями їх розвитку, які реалізуються через проєкти та запропонувати методичні положення щодо стану та поведінки основних властивостей кожного із потенційних проєктів розвитку організаційних структур митного обслуговування.

Виклад основного матеріалу. Процес митного обслуговування ґрунтується на взаємодії суб'єктів різних рівнів (вітчизняних та зарубіжних суб'єктів господарювання, національних та іноземних митних органів, митних посередників, міжнародних організацій, тощо). Для того щоб митна служба могла ефективно здійснювати свої функції в системі зовнішньоекономічної діяльності та митному обслуговуванні їй необхідний певний фундамент у вигляді матеріальної бази, обладнання, офісних приміщень, інформаційні системи, транспортно-експедиційних компаній, митно-брокерських компаній, страхових компаній та гарантів, складів тимчасового зберігання, терміналів, автопортів та вантажно-митних комплексів, вся сукупність матеріальних об'єктів, державних і ринкових структур, система забезпечення діяльності митних органів, називається структурою митного обслуговування (рис.1).



Рисунок 1 – Умовна схема структури митного обслуговування
Figure 1 – Conventional scheme of the customs service structure

Для дослідження ролі та значення організаційної структури митного обслуговування пропонується розглянути окремі її елементи, такі як обладнання та технічне забезпечення пунктів пропуску туристичних, товарних та фінансових потоків. Звичайні засоби огляду, контролю і пропуску вантажів та особистих речей пасажирів серйозно ускладнюють швидке переміщення через митний кордон. Недостатнє технічне забезпечення призводить до затягування часу виконання обов'язкового огляду та пропуску вантажів. Отже, до основних елементів, які впливають на ефективне функціонування організаційних структур митного обслуговування пропонується віднести:

1. Електронні інформаційні ресурси митних органів – сукупність інформаційних (автоматизованих), електронних комунікаційних та інформаційно-комунікаційних, інформаційно-телекомунікаційних, та/або телекомунікаційних систем, що забезпечують функціонування електронних інформаційних ресурсів митних органів [17].

2. Діяльність транспортно-експедиційних компаній, що надають послуги з перевезення вантажів, як у середині країни так і за її межами, з оформленням усіх потрібних формальностей, в тому числі, митних, у разі потреби.

3. Діяльність митно-брокерських компаній – підприємства, що надає послуги з декларування товарів, транспортних засобів комерційного призначення, які переміщуються через митний кордон України [17].

4. Страхування зовнішньоекономічної діяльності, що являє собою комплекс видів страхування, які забезпечують захист майнових інтересів суб'єктів господарської діяльності, що беруть участь у різних формах міжнародного та світогосподарського співробітництва, у зовнішньоекономічних зв'язках страхуються угоди, що укладаються між іноземними контрагентами [18]. Гарантами можуть виступати такі фінансові установи, як банки, страховики (окрім тих, що здійснюють страхування життя), фінансові компанії, які мають право на провадження діяльності з надання гарантій. Гарантія є зобов'язанням гаранта щодо виплати на вимогу митного органу коштів у межах розміру гарантії та в обумовлені строки, у разі невиконання особою обов'язку із сплати митних платежів [17].

5. Функціонування складів тимчасового зберігання. Товари з моменту пред'явлення їх митному органу до розташування їх у відповідний митний режим можуть перебувати на тимчасовому зберіганні під митним контролем, яке здійснюється на складах тимчасового зберігання або на території об'єктів підприємств (будівель, споруд, відкритих або закритих майданчиків тощо), визначених для застосування спрощень, якщо інше не передбачено Митним кодексом України [17].

6. Наданням логістичних послуг в зовнішньоекономічній діяльності підприємств, що охоплює організацію міжнародних перевезень від виробника, організацію митного оформлення та складського зберігання вантажів, займаються функціональні логістичні термінали, автопорти та вантажно-митні комплекси. На базі таких об'єктів є відкриті та закриті склади тимчасового зберігання, митний пост, а також є можливість проведення екологічного та фітосанітарного контролів, свої транспортні та страхові компанії, брокерські компанії та інших підприємств, що забезпечують функціонування вантажних митних комплексів, автопортів, автотерміналів.

Митне обслуговування – є полісуб'єктним процесом, який реалізовується на різних рівнях. Мова йде не лише про державні та місцеві органи влади (Державну фіскальну службу України, регіональні митниці, митні пости, тощо), але й про уповноважених фізичних та юридичних осіб, які здійснюють спеціалізовані контрольовані види митної діяльності (митних брокерів, утримувачів магазину безмитної торгівлі, митного складу, складу тимчасового зберігання, вантажного митного комплексу, вільної митної зони), некомерційні самоврядні організації митної специфіки (торгово-промислові палати, бізнес-асоціації, тощо), а також безпосередньо працівників митного профілю суб'єктів зовнішньоекономічної діяльності. Митне обслуговування не є одностороннім процесом, а реалізовується у взаємодії різних вищезазначених суб'єктів залежно від ситуативних умов. Таким чином, вирішення наявних проблем у митному обслуговуванні на різних рівнях повинно відбуватись спільними зусиллями представників кожного рівня задля створення ефективної системи митного обслуговування підприємств [19].

Україна, як і інші країни світу, зазнала відчутний негативний вплив як світової пандемії та, відповідно, скорочення світового попиту, так і карантинних заходів, запроваджених всередині країни. А в умовах воєнного стану, митні органи працюють в посиленому режимі, адже повинні забезпечити якомога швидший процес митного оформлення вантажів, значна частина яких завозиться в Україну у якості гуманітарної допомоги. Тому, проектно-орієнтоване управління розвитком організаційних структур митного обслуговування є актуальним питанням в контексті реформи «Нова митниця», яка найперше передбачає приєднання України до Конвенції про процедуру спільного транзиту із Європейським Союзом на постійній основі, а також розширення пунктів пропуску в рамках проекту

«Відкритий кордон» та створення сучасних сервісних зон біля кордону для вантажних автомобілів та їх водіїв[20].

Пріоритетні напрями розвитку організаційних структур митного обслуговування, що реалізуються через проекти, представлені на рисунку 2.

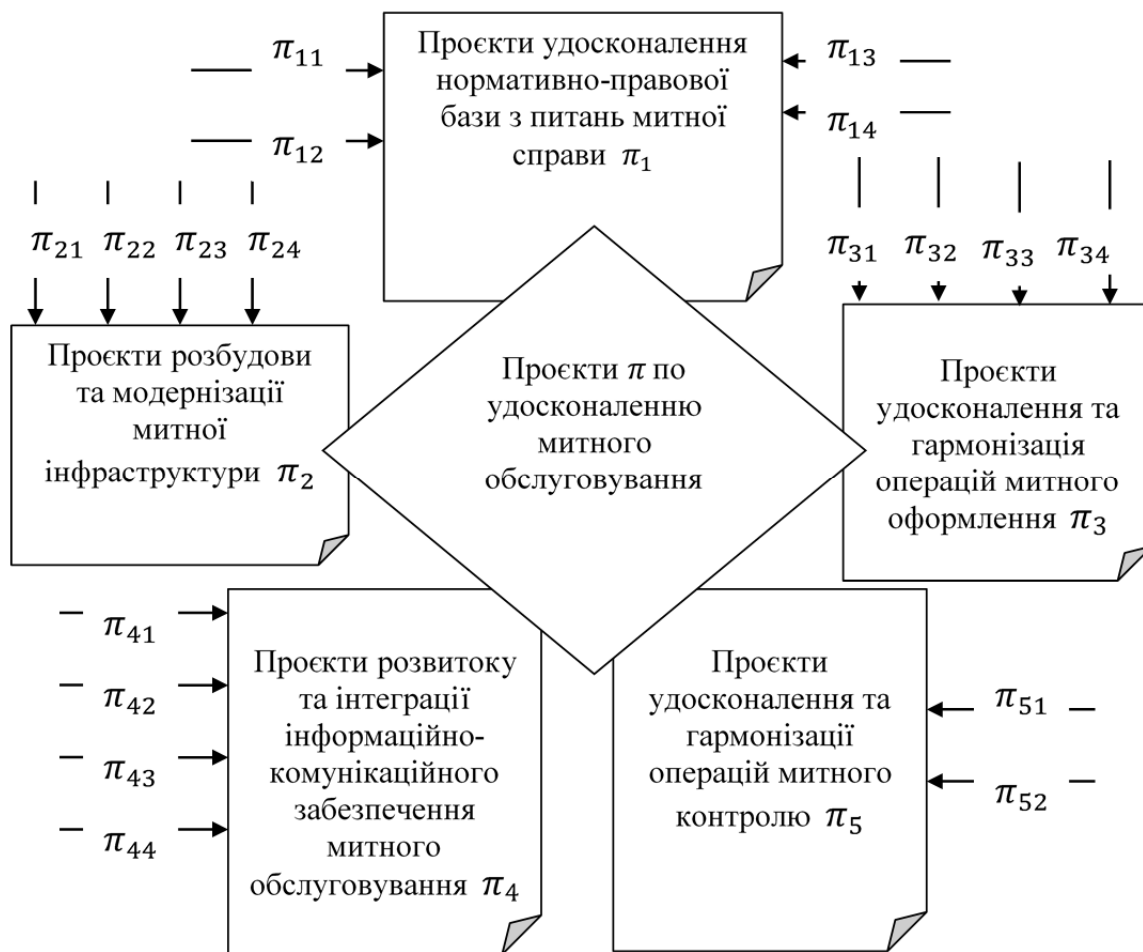


Рисунок 2 – Основні проекти в сфері митного обслуговування
Figure 2 – Customs services projects

Важливою складовою запропонованої схеми є ідентифікування пріоритетних напрямів розвитку митного обслуговування, обґрунтований вибір яких дасть змогу не лише удосконалити роботу митних органів у різних сферах, модернізувати та оптимізувати процеси надання митних послуг, але й створити сприятливі умови для залучення іноземних інвестицій у проекти. З огляду на рекомендації міжнародних та національних організацій, загальнодержавні пріоритети розвитку митної сфери, сучасний стан та проблеми національної митної системи, рекомендовано такі ключові пріоритетні напрями та цілі розвитку митного обслуговування в межах реалізації проектів:

– проекти удосконалення нормативно-правової бази з питань митної справи передбачають розробку змін до Митного кодексу України з метою приведення його у відповідність до Митного Кодексу України Європейського Союзу. Здійснення аналізу законодавства та підготовка переліку актів, які потребують затвердження або актуалізації та визначення переліку необхідних організаційних заходів. Підготовка проектів відповідних нормативно-правових актів та реалізація заходів. Кабінет міністрів України схвалив законопроект про зміни до Митного кодексу України, необхідні для забезпечення міжнародного застосування нової комп'ютеризованої транзитної системи (New Computerized Transit System) та розширення імплементації положень митного законодавства ЄС. Запропоновані зміни до Митного кодексу надзвичайно важливі для українського бізнесу, зокрема, для пришвидшення проходження товарів через митний кордон та їх митного оформлення, що стало особливо гострою потребою під час війни. Окрім того, такі зміни необхідні для

забезпечення міжнародного застосування нової комп'ютеризованої транзитної системи (NCTS) та подальшої гармонізації Митного кодексу України з Митним кодексом Європейського Союзу [21].

π_{11} – можливість застосування українськими підприємствами транзитних декларацій із використанням нової комп'ютеризованої транзитної системи без необхідності оформляти будь-які додаткові транзитні документи в межах 36 країн світу, що пришвидшить проходження товарів через митні кордони.

π_{12} – розширення спектра підприємств, яким стануть доступні митні спрощення, аналогічні європейським (з вимогами до фінансової стійкості для підприємств, що мають статус авторизованого економічного оператора (АЕО) та із можливістю використання комбінації спрощень без вимог до фінансової стійкості для підприємств без статусу АЕО та підприємств, що користуються NCTS).

π_{13} – запровадження європейської системи прийняття рішень для надання авторизацій на спрощення та інших рішень за заявою підприємства (запровадження "права бути почутим" для зменшення спірних питань).

π_{14} – закладення основи для вибудовування партнерських відносин між митницею та бізнесом, внаслідок чого можна буде пришвидшити митне оформлення.

– проекти розбудови, удосконалення та модернізації митної інфраструктури шляхом покращення стану існуючих пунктів пропуску (покращення стану доріг у пунктах пропуску та при в'їзді і виїзді з них, побудова пішохідних переходів, удосконалення проектування смуг руху та розміщення об'єктів митної інфраструктури у пунктах пропуску, покращення стану доріг між пунктами пропуску, побудова нових споруд та доріг у пунктах пропуску, забезпечення пунктів пропуску необхідними технічними засобами та дорожнім обладнанням, запровадження та використання прогресивних оглядових технологій вантажів), удосконалення сервісної інфраструктури у пунктах пропуску (проведення капітальних ремонтів у будівлях санітарно-гігієнічного призначення та побудова закладів харчування, стоянок для транспортних засобів, готелів, банківських, страхових, юридичних організацій), побудови нових пунктів пропуску на територіях інтенсивних потоків, побудови спільних пунктів пропуску з іноземними митними органами тощо.

π_{21} – впровадження митного складу щодо положень ЄС.

π_{22} – впровадження складу тимчасового зберігання щодо положень ЄС.

π_{23} – впровадження вільних митних зон щодо положень ЄС.

π_{24} – впровадження магазинів безмитної торгівлі щодо положень ЄС.

– проекти удосконалення процесів митного оформлення на засадах розроблення, запровадження і підтримки використання інноваційних автоматизованих технологій, інтелектуальних моделей перетину митного кордону та митного оформлення для забезпечення автоматизації операцій розподілу митних декларацій; визначення місць, обсягів та моменту завершення митного оформлення; випуску товарів в обіг на підставі результатів аналізування митних ризиків; здійснення митного оформлення за місцем знаходження підприємства; створення, впровадження та підтримки застосування прогресивних інструментів електронного обміну даними для розширення функціональних можливостей механізму "Єдине вікно" за міжнародними стандартами.

π_{31} – цифровізація транспортних коридорів з сусідніми країнами.

π_{32} – підвищення ефективності протидії митним правопорушенням.

π_{33} – криміналізація контрабанди товарів.

π_{34} – створення гнучкої митної системи, яка спроможна реагувати на кризові ситуації [22].

– проекти розвитку інформаційно-комунікаційного забезпечення митного обслуговування на засадах створення, впровадження та підтримки застосування інформаційно-аналітичних платформ, котрі об'єднуюватимуть дані митної і податкової служб, митної служби та інших національних органів влади, вітчизняних та іноземних митних органів; обладнання доріг міжнародного призначення електронними табло, що висвітлюватимуть інформацію про завантаженість пунктів пропуску; удосконалення інтернет-ресурсів митних органів шляхом забезпечення їхнього систематичного оновлення, зручності перегляду та зв'язку з інформаційними базами даних митних органів, проектування віртуального проходження митних формальностей; створення і використання електронних інформаційно-довідкових та комунікаційних платформ для забезпечення оперативних відповідей митних органів на запити суб'єктів зовнішньоекономічної діяльності, митних посередників та інших зацікавлених сторін; розроблення мобільних додатків для розкриття актуальної інформації про стан завантаження пунктів пропуску на усіх кордонах; створення, впровадження та підтримки застосування механізму інтегрування інформаційної системи митних органів у міжнародну базу даних про рух міжнародних ланцюгів постачання.

π_{41} – впровадження ІТ рішень на основі MASP-C, удосконалення адміністрування митних платежів.

π_{42} – синхронізація роботи української та європейської митниці.

π_{43} – впровадження митних норм і практик, які відповідають стандартам ЄС.

π_{44} – підключення до загальної митної інформаційної системи ЄС (CCN) [22].

– проекти удосконалення процесів митного контролю шляхом створення, запровадження та підтримки використання прогресивних інструментів автоматизованої системи управління митними ризиками, митного пост-аудиту, інноваційних технологій відстеження товару на усіх етапах постачання та реалізації кінцевому споживачу, контролю за достовірністю визначення митної вартості, коду, країни походження товарів, а також застосування пільг і преференцій під час сплати митних платежів.

π_{51} – навчання працівників митниці передовим практикам інтелектуальної власності.

π_{52} – запровадження європейської практики гарантування сплати митних платежів з можливістю звільнення від гарантування для підприємств, що переміщують будь-які товари, а не лише товари за визначеним переліком (як елемент митного спрощення).

Пропонується розглядати в якості об'єкту проектної діяльності в сфері митного обслуговування потенційні напрями розвитку організаційних структур, а саме множину ідей розроблення і реалізації різних інновацій в процесі реформування митниці. Враховуючи вищевказане та використовуючи теорію множин, загальну множину проектів позначаємо як π , а окремі проекти, в залежності від напрямку розвитку – символами π_i , де $i=1,2,\dots,n$, то в результаті перетину $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \dots, \pi_n$ отримаємо множину π , тобто $\pi = \pi_1 \cap \pi_2 \cap \pi_3 \cap \pi_4 \cap \pi_5 \cap \dots \cap \pi_n$. Оскільки π є перерізом множин $\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \dots, \pi_n$, то це означає, що ці множини з π мають спільні елементи, тобто:

$$\begin{aligned}\pi \cap \pi_1 &:= \{\pi_{11}, \pi_{12}, \pi_{13}, \pi_{14}: \pi_{11}, \pi_{12}, \pi_{13}, \pi_{14} \in \pi \text{ і } \pi_{11}, \pi_{12}, \pi_{13}, \pi_{14} \in \pi_1\}, \\ \pi \cap \pi_2 &:= \{\pi_{21}, \pi_{22}, \pi_{23}, \pi_{24}: \pi_{21}, \pi_{22}, \pi_{23}, \pi_{24} \in \pi \text{ і } \pi_{21}, \pi_{22}, \pi_{23}, \pi_{24} \in \pi_2\} \\ \pi \cap \pi_3 &:= \{\pi_{31}, \pi_{32}, \pi_{33}, \pi_{34}: \pi_{31}, \pi_{32}, \pi_{33}, \pi_{34} \in \pi \text{ і } \pi_{31}, \pi_{32}, \pi_{33}, \pi_{34} \in \pi_3\} \\ \pi \cap \pi_4 &:= \{\pi_{41}, \pi_{42}, \pi_{43}, \pi_{44}: \pi_{41}, \pi_{42}, \pi_{43}, \pi_{44} \in \pi \text{ і } \pi_{41}, \pi_{42}, \pi_{43}, \pi_{44} \in \pi_4\} \\ \pi \cap \pi_5 &:= \{\pi_{51}, \pi_{52}: \pi_{51}, \pi_{52} \in \pi \text{ і } \pi_{51}, \pi_{52} \in \pi_5\}\end{aligned} \quad (1)$$

де елементи $\pi_{11}, \pi_{12}, \pi_{13}, \pi_{14}$ спільні для множин $\pi \cap \pi_1$; $\pi_{21}, \pi_{22}, \pi_{23}, \pi_{24}$ – елементи, спільні для множин $\pi \cap \pi_2$; $\pi_{31}, \pi_{32}, \pi_{33}, \pi_{34}$ – елементи, спільні для множин $\pi \cap \pi_3$; $\pi_{41}, \pi_{42}, \pi_{43}, \pi_{44}$ елементи, спільні для множин $\pi \cap \pi_4$, а елементи π_{51}, π_{52} спільні для множин $\pi \cap \pi_5$.

Створення відповідних множин як компонент системи управління проектами доцільно задля [23]:

- прискорення розв'язання проблем, які виникають під час життєвого циклу проекту;
- раціоналізації управлінських зусиль щодо уникнення конфліктів в команді проекту, зниження рівня опору членів команди змінам;
- оптимізації використання матеріальних, фінансових, інтелектуальних ресурсів під час розроблення і реалізації управлінських рішень;
- покращання структури бази даних та удосконалення методів і технологій обробки інформації тощо.

Висновки. В роботі досліджено роль та значення основних організаційних структур митного обслуговування, побудована умовна схема структури митного обслуговування, а також описані окремі її елементи, такі як обладнання та технічне забезпечення пунктів пропуску туристичних, товарних та фінансових потоків, діяльність митних брокерів, утримувачів магазину безмитної торгівлі, митних складів, складів тимчасового зберігання, вантажних митних комплексів, некомерційних організацій митної специфіки тощо.

Детально описані пріоритетні напрями розвитку організаційних структур митного обслуговування, що реалізуються через проекти та запропоновані методичні положення щодо формування проектних множин, які дозволяють створити більш сприятливі умови в процесі управління проектами розвитку організаційних структур митного обслуговування, а саме зростання значення процесу планування ресурсів, обміну знань, використання гнучких та гібридних методів, віддаленої роботи та гібридного робочого середовища, управління змінами стає критичним, а управління проектами – більш стратегічним.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дорофеева Л.М. Адміністративно-правове регулювання організації та діяльності митних органів в контексті євроінтеграційного вибору України: дис. ... доктора юрид. наук: 12.00.07. Ужгород: УжНУ, 2019. – с. 526.
2. Комарницька Г.О. Механізм розвитку митного обслуговування в умовах державно-приватного партнерства. Економічна наука. – 2019 – №15. 28-34 с.
3. Поліщук О.В. Особливості формування, функціонування та боротьби з контрабандою митних органів Криму в 1920-ті рр.: автореф. дис. ... канд. іст. наук. Дніпропетровськ, 2013. 20 с.
4. Ігнатко Н.В. Організаційно-правові основи становлення системи дізнання митних органів української держави (середина XVII – початок XXI ст.): дис. ... канд. юрид. наук. Київ, 2016. 205 с.
5. Липовська Н. А. Управління інституціональним розвитком державної митної служби України: дис. ... д-ра наук з держ. упр. Київ, 2007. 544 с.
6. Доротич С. Адаптація митного законодавства України до європейських та міжнародних норм. Публічне адміністрування: теорія та практика: електронний зб. наук. праць. Дніпропетровськ: ДРІДУ НАДУ, 2010. Вип. 1 (3). URL: <http://www.dbuara.dp.ua/zbirnik/2010-01/index.html> (дата звернення: 15.02.2023).
7. Доротич С.І. Механізми державного управління процесами адаптації митної системи України до європейських вимог: дис. ... канд. юрид. наук. Київ, 2010. 225 с.
8. Письменний І.В. Концептуальні засади реформування митної служби України: дис. ... канд. наук з держ. упр. Дніпропетровськ, 2005. с. 220.
9. Павлов А.П. Кадрове забезпечення митних органів: організаційноправові аспекти: автореф. дис. ... канд. юрид. наук. Київ, 2001. 16 с. 448.
10. Павлов А.П. Українська митниця на шляху відродження та розвитку: Правові та історичні аспекти. Київ: Акцент, 2002. с. 417.
11. Петрусь С.П. Управління кадровими ресурсами в умовах модернізації Державної митної служби України: дис. ... канд. наук з держ. упр. Дніпропетровськ, 2006. 248 с.
12. Стецюк. Н.М. Розвиток процесу управління персоналом (на прикладі митної служби України): дис. ... канд. наук. з державного управління Київ, 2007. 239 с.
13. Шпак Н.О., Будз О.Ф. Організаційні засади митного обслуговування суб'єктів зовнішньоекономічної діяльності. Науковий журнал Бізнес інформ. Економіка міжнародних відносин. 2018. №6. Режим доступу <file:///C:/Users/User/Downloads/organizatsiyini-zasadi-mitnogo-obslugovuvannya-sub-ektiv-zovnishnoekonomichnoyi-diyalnosti.pdf>
14. Єдинак В.Ю., Єдинак Т.С. Ретроспективно-компаративний аналіз системи управління митними органами в Україні. Ефективна економіка. 2019. № 12. – URL: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=7491> (дата звернення: 12.04.2023). DOI: 10.32702/2307-2105-2019.12.66
15. Концептуалізація оцінювання митних процедур в умовах активізації зовнішньоекономічної діяльності: монографія; за заг. ред. І.Г. Бережнюка. Хмельницький: ПП Мельник А.А., 2015. 196 с.
16. Mazurenko, A., Kudriashov, A., Lebid, I., Luzhanska, N., Kravchenya, I., Pitsyk, M. (2021). Development of a simulation model of a cargo customs complex operation as a link of a logistic supply chain. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5(3 (113), 19-29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242915>.
17. Митний кодекс України: за станом на 04 березня 2023 р.// Відомості Верховної Ради України (ВВР). [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4495-17#Text>
18. Державна митна служба України. Україна отримала високу оцінку Єврокомісії щодо виконання вимог ЄС у митній сфері [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.customs.gov.ua/news/zagalne-20/post/ukrayina-otrimala-visoku-otsinku-ievrokomisiyi-shchodo-vikonannia-vimog-ies-u-mitnii-sferi-1075>
19. Падун П.П. Сучасна система управління митною справою в Україні [Текст] : навчальний посібник / П.П. Падун, В. А. Онишкевич, І.Г. Бережнюк. – Дніпропетровськ: АМСУ, 1999. – с. 30
20. Державний сайт України Урядовий портал [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/news/denys-shmyhal-onovliuiemo-stratehiu-reformuvannia-mytntsi>
21. Сайт журналу Landlord [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://landlord.ua/news/uriad-skhvalyv-zminy-do-mytneho-kodeksu-ukrainy>
22. Сайт Державної митної служби [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://customs.gov.ua/en/news/novini-20/post/ukrayina-otrimala-visoku-otsinku-ievrokomisiyi-shchodo-vikonannia-vimog-ies-u-mitnii-sferi-1075>

23. Коломієць О.Л. Евристичні функції управління: сутність, види, способи застосування. Ефективна економіка. – 2013. – № 9. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2013_9_60.

REFERENCES

1. Dorofeieva L.M. Administratyvno-pravove rehuliuвання orhanizatsii ta diialnosti mytnykh orhaniv v konteksti yevrointehratsiinoho vyboru Ukrainy: dys. ... doktora yuryd. nauk: 12.00.07. Uzhhorod: UzhNU, 2019. – s. 526 [in Ukrainian]
2. Komarnytska H.O. Mekhanizm rozvytku mytnoho obsluhovuvannya v umovakh derzhavno-pryvatnoho partnerstva. Ekonomichna nauka. – 2019 – №15. -28-34 [in Ukrainian]
3. Polishchuk O.V. Osoblyvosti formuvannya, funktsionuvannya ta borotby z kontrabandoiu mytnykh orhaniv Krymu v 1920-ti rr.: avtoref. dys. ... kand. ist. nauk. Dnipropetrovsk, 2013. 20 s. [in Ukrainian]
4. Ihnatko N. V. Orhanizatsiino-pravovi osnovy stanovlennia systemy diznannia mytnykh orhaniv ukraïnskoi derzhavy (seredyna KhVII – pochatok KhKhI st.): dys. ... kand. yuryd. nauk. Kyiv, 2016. 205 s. [in Ukrainian]
5. Lypovska N.A. Upravlinnia instytutsionalnym rozvytkom derzhavnoi mytnoi sluzhby Ukrainy: dys. ... d-ra nauk z derzh. upr. Kyiv, 2007. 544 s. [in Ukrainian]
6. Dorotych S. Adaptatsiia mytnoho zakonodavstva Ukrainy do yevropeïskykh ta mizhnarodnykh norm. Publichne administruvannya: teoriia ta praktyka: elektronnyi zb. nauk. prats. Dnipropetrovsk: DRIDU NADU, 2010. Vyp. 1 (3). URL: <http://www.dbuapa.dp.ua/zbirnik/2010-01/index.html> (data zvernennia: 15.02.2023). [in Ukrainian]
7. Dorotych S.I. Mekhanizmy derzhavnoho upravlinnia protsesamy adaptatsii mytnoi systemy Ukrainy do yevropeïskykh vymoh: dys. ... kand. yuryd. nauk. Kyiv, 2010. 225 s. [in Ukrainian]
8. Pysmennyi I.V. Kontseptualni zasady reformuvannya mytnoi sluzhby Ukrainy: dys. ... kand. nauk z derzh. upr. Dnipropetrovsk, 2005. s. 220 [in Ukrainian]
9. Pavlov A. P. Kadrove zabezpechennia mytnykh orhaniv: orhanizatsiinopravovi aspekty: avtoref. dys. ... kand. yuryd. nauk. Kyiv, 2001. 16 s. 448[in Ukrainian]
10. Pavlov A.P. Ukraïnska mytnytisia na shliakhu vidrozhennia ta rozvytku: Pravovi ta istorychni aspekty. Kyiv: Aktsent, 2002. s. 417 [in Ukrainian]
11. Petrus S.P. Upravlinnia kadrovymy resursamy v umovakh modernizatsii Derzhavnoi mytnoi sluzhby Ukrainy: dys. ... kand. nauk z derzh. upr. Dnipropetrovsk, 2006. 248 s. [in Ukrainian]
12. Stetsiuk. N.M. Rozvytok protsesu upravlinnia personalom (na prykladi mytnoi sluzhby Ukrainy): dys. ... kand. nauk. z derzhavnoho upravlinnia Kyiv, 2007. 239 s. [in Ukrainian]
13. Shpak N.O., Budz O.F. Orhanizatsiini zasady mytnoho obsluhovuvannya subiektiv zovnishnoekonomichnoi diialnosti. Naukovyi zhurnal Biznes inform. Ekonomika mizhnarodnykh vidnosyn. 2018. №6. Rezhym dostupu <file:///C:/Users/User/Downloads/organizatsiyni-zasadi-mitnogo-obslugovuvannya-sub-ektiv-zovnishnoekonomichnoyi-diyalnosti.pdf> [in Ukrainian]
14. Iedynak V.Yu., Yedynak T.S. Retrospektyvno-komparatyvnyi analiz systemy upravlinnia mytnymy orhanamy v Ukraïni. Efektyvna ekonomika. 2019. № 12. – URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=7491> (data zvernennia: 12.04.2023). DOI: 10.32702/2307-2105-2019.12.66 [in Ukrainian]
15. Kontseptualizatsiia otsiniuvannya mytnykh protsedur v umovakh aktyvizatsii zovnishnoekonomichnoi diialnosti: monohrafiia; za zah. red. I.H. Berezhniuka. Khmelnytskyi: PP Melnyk A.A., 2015. 196 s [in Ukrainian].
16. Mazurenko, A., Kudriashov, A., Lebid, I., Luzhanska, N., Kravchenya, I., Pitsyk, M. (2021). Development of a simulation model of a cargo customs complex operation as a link of a logistic supply chain. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5(3 (113), 19–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.242915>. [in Ukrainian]
17. Mytnyi kodeks Ukrainy: za stanom na 04 bereznia 2023 r.// Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy (VVR). [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4495-17#Text> [in Ukrainian]
18. Derzhavna mytna sluzhba Ukrainy. Ukraina otrymala vysoku otsinku Yevrokomisii shchodo vykonannya vymoh YeS u mytnii sferi [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://www.customs.gov.ua/news/zagalne-20/post/ukrayina-otrimala-visoku-otsinkuievrokomisiyi-shchodo-vikonannya-vimog-ies-u-mitnii-sferi-1075> [in Ukrainian]

19. Padun P.P. Suchasna systema upravlinnia mytnoiu spravoiu v Ukraini [Tekst] : navchalnyi posibnyk / P.P. Padun, V.A. Onyshkevych, I. H. Berezniuk. – Dnipropetrovsk: AMSU, 1999. – s. 30 [in Ukrainian]
20. Derzhavnyi sait Ukrainy Uriadovi portal [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://www.kmu.gov.ua/news/denys-shmyhal-onovliuiemo-stratehiiu-reformuvannia-mytnytsi> [in Ukrainian]
21. Sait zhurnal Landlord [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://landlord.ua/news/uriad-skhvalyv-zminy-do-mytnoho-kodeksu-ukrainy> [in Ukrainian]
22. Sait Derzhavnoi mytnoi sluzhby [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://customs.gov.ua/en/news/novini-20/post/ukrayina-otrimala-visoku-otsinku-ievrokomisiyi-shchodovikonannia-vimog-ies-u-mitnii-sferi-1075> [in Ukrainian]
23. Kolomiets O. L. Evrystychni funktsii upravlinnia: sutnist, vydy, sposoby zastosuvannia. Efektyvna ekonomika. – 2013. – № 9. – Rezhym dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2013_9_60. [in Ukrainian]

РЕФЕРАТ

Галак І.І. Особливості управління проектами розвитку організаційних структур митного обслуговування / І.І. Галак, А.М. Добровольська, А.В. Омельченко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

В статті описані пріоритетні напрями розвитку організаційних структур митного обслуговування, що реалізуються через проекти та запропоновані методичні положення щодо формування проектних множин, які дозволяють створити більш сприятливі умови в процесі управління проектами.

Об'єкт дослідження – процес управління проектами розвитку організаційних структур митного обслуговування.

Мета роботи – дослідити роль та значення основних організаційних структур митного обслуговування, ідентифікувати пріоритетні напрями їх розвитку, які реалізуються через проекти та запропонувати методичні положення щодо стану та поведінки основних властивостей кожного із потенційних проектів розвитку організаційних структур митного обслуговування

Методи дослідження – аналітичний та математичний.

В роботі досліджено роль та значення основних організаційних структур митного обслуговування, побудована умовна схема структури митного обслуговування, а також описані окремі її елементи, такі як обладнання та технічне забезпечення пунктів пропуску туристичних, товарних та фінансових потоків, діяльність митних брокерів, утримувачів магазину безмитної торгівлі, митних складів, складів тимчасового зберігання, вантажних митних комплексів, некомерційних організацій митної специфіки тощо.

Детально описані пріоритетні напрями розвитку організаційних структур митного обслуговування, що реалізуються через проекти та запропоновані методичні положення щодо формування проектних множин, які дозволяють створити більш сприятливі умови в процесі управління проектами розвитку організаційних структур митного обслуговування, а саме зростання значення процесу планування ресурсів, обміну знань, використання гнучких та гібридних методів, віддаленої роботи та гібридного робочого середовища, управління змінами стає критичним, а управління проектами – більш стратегічним.

Результати дослідження можуть бути рекомендовані до впровадження в організаційних структурах митного обслуговування.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПРОЄКТИ РОЗВИТКУ, УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ, МИТНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ, ОРГАНІЗАЦІЙНА СТРУКТУРА, ПРИЙНЯТТЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ.

ABSTRACT

Halak I.I., Dobrovolska A.M., Omelchenko A.V. The peculiarities of development projects management of customs service organizational structures. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The article describes the priority directions for the development of organizational structures of customs services, which are implemented through projects and offers methodical provisions for the formation of project sets that allow creating more favorable conditions in the process of project management.

The object of research is the process of managing development projects of organizational structures of customs services.

The purpose of the work is to investigate the role and significance of the main organizational structures of the customs service. To identify the priority directions of their development, which are implemented through projects. To propose methodological provisions regarding the state and behavior of the main properties of each of the potential projects for the development of the customs service organizational structures.

Research methods are analytical and mathematical.

The paper examines the role and significance of the main organizational structures of customs service, builds a conditional scheme of the customs service structure, and also describes its individual elements, such as equipment and technical support of checkpoints for tourist, commodity and financial flows, activities of customs brokers, duty-free shop keepers, customs warehouses, temporary storage warehouses, cargo customs complexes, non-commercial customs specific organizations, etc.

The priority directions for the development of the organizational structures of customs services are described in detail, which are implemented through projects, and methodological provisions for the formation of project sets are proposed, which allow creating more favorable conditions in the process of managing projects for the development of the customs services organizational structures, namely, the importance of the resource planning process, knowledge exchange, the use of agile and hybrid methods, remote work and hybrid work environments, change management becomes critical and project management becomes more strategic.

The results of the research can be recommended for implementation in the organizational structures of the customs service.

KEYWORDS: DEVELOPMENT PROJECTS, PROJECT MANAGEMENT, CUSTOMS SERVICE, ORGANIZATIONAL STRUCTURE, PROJECT DECISIONS-MAKING.

АВТОРИ:

Галак Ірина Іванівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного права та логістики, e-mail: 1017imiia@gmail.com, тел. +380978459880, Україна, 01010, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка 1, к.439, orcid.org/0000-0002-5038-7771.

Добровольська А.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного права та логістики, e-mail: anet_chechet@ukr.net, тел. +380634321538, Україна, 01010, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка 1, к.245, orcid.org/0000-0002-5912-0678

Омельченко А.В., Національний транспортний університет, асистент кафедри транспортного права та логістики, e-mail: oma2000@ukr.net, тел. +380672176043, Україна, 01010, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка 1, к. 439, orcid.org/0009-0005-5552-3671

AUTHOR:

Halak Iryna, Ph.D., associate professor, National Transport University, associate professor of Department of transport Law and Logistics, e-mail: 1017imiia@gmail.com, tel. +380978459880, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str.1, of. 439, orcid.org/0000-0002-5038-7771.

Dobrovolska Anna, Ph.D., associate professor, National Transport University, associate professor of Department of transport Law and Logistics, e-mail: anet_chechet@ukr.net, тел. +380634321538, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str.1, of. 245, orcid.org/0000-0002-5912-0678

Omelchenko Anna, National Transport University, assistant of Department of transport Law and Logistics, e-mail: oma2000@ukr.net, тел. +380672176043, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str.1, of. 439, orcid.org/0009-0005-5552-3671.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Кульбако В.П. кандидат технічних наук, заступник директора – начальник управління дорожньої інфраструктури, Київ, Україна.

Прокудін Г.С., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю.

REVIEWERS:

Valentyn Kulbako, Ph.D., Deputy Director – Head of Road Infrastructure Department, Kyiv, Ukraine.

Georgii Prokudin, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of International Transportation and Customs Control.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ СИСТЕМАМИ ОПАЛЕННЯ ТА КОНДИЦІОНУВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ КЛАСУ І З ЕЛЕКТРИЧНОЮ ТЯГОВОЮ УСТАНОВКОЮ

Годованюк П.Д., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, pgodovanuk04@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6331-8698

Будниченко І.В., Igor.v.budnichenko@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3073-4913

Лобода А.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, andreylloboda7@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6956-3288

Кошарний М.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, kosarnijmikola@gmail.com, orcid.org /0000-0002-5969-4858

STUDY OF ENERGY CONSUMPTION BY HEATING AND AIR-CONDITIONING SYSTEMS OF A CLASS I VEHICLE WITH ELECTRIC TRACTIONAL UNIT

Godovanyuk P.D., Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, pgodovanuk04@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6331-8698

Budnichenko I.V., Igor.v.budnichenko@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3073-4913

Loboda A.V., candidate of technical sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, andreylloboda7@gmail.com, orcid.org/0000-0002-6956-3288

Kosharny M.M., Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, kosarnijmikola@gmail.com, orcid.org /0000-0002-5969-4858

Постановка проблеми.

Покращення екологічного стану міст може бути досягнуто за рахунок використання електробусів та тролейбусів з автономним ходом замість автобусів.

Обґрунтований вибір тягової акумуляторної батареї для електробуса та тролейбуса не можливий без урахування витрат електроенергії різними системами транспортного засобу класу І.

Сучасний рухомий склад з тяговою електричною установкою, який отримують комунальні підприємства України, як правило, обладнаний лічильниками постійного струму, що дозволяє виконувати дослідження, спрямовані на обґрунтування обсягів витрат електроенергії різними системами транспортного засобу з електричною тяговою установкою, зокрема на власні потреби та оцінювати їх енергоефективність.

Аналіз відомих нам публікацій.

Основна частина досліджень, які були виконані в Україні, де об'єктом дослідження були транспортні засоби з електричною тяговою установкою, стосувалася наукового обґрунтування окремих параметрів транспортних засобів та їх систем.

Так, оцінка вартості експлуатації транспортних засобів з різними типами силових установок викладена в роботі [1].

Доцільність використання накопичувачів енергії в електромережах міського транспорту розглянуто в роботах [2, 3], а оптимізацію параметрів накопичувачів енергії в роботі [4].

В роботі [5] надано обґрунтування вибору основних параметрів автобуса з живленням від тягової акумуляторної батареї.

Питання витрат енергоносія на пасажирські перевезення розглядалися в минулі роки на підставі статистичної інформації щодо витрат енергії згідно показань лічильників змінного струму, які встановлені на тягових підстанціях і реєструють усі витрати на перетворення електроенергії змінного струму в постійний та передавання її від тягової підстанції до струмоприймача тролейбуса чи трамвайного вагона.

За раніше виконаними дослідженнями був розроблений метод оцінювання обсягів спожитої енергії з метою планування її витрат на запланований період часу для підприємства та викладений в роботі [6]. Крім того, методологія контролювання та управління витратами енергії, у разі наявності на рухомому складі лічильників постійного струму були викладені в роботі [7].

Зазначимо, що в усіх вище вказаних роботах витрати енергії розглядалися у сукупності без поділу їх на складові, від яких залежить загальне енергоспоживання транспортного засобу.

Обґрунтування частки енергії, яка використовується у разі задіяння систем забезпечення комфорту пасажирів та водія в загальному обсязі енергії, яка використовується на власні потреби

транспортного засобу класу I, надає можливість більш точно визначати необхідну ємність тягової акумуляторної батареї за умови, що ця частка витрат не є сталою і має закон розподілу, який доцільно визначити.

Метою даного дослідження є визначення частки витрат енергії системами забезпечування комфорту пасажирів та водія в загальному обсязі витрат на власні потреби транспортного засобу класу I з електричною тяговою установкою.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Загальне споживання електричної енергії транспортним засобом має такі складові:

– кількість енергії, яка використовується тяговим приводом для створення кінетичної енергії транспортного засобу;

– кількість енергії, яка використовується транспортним засобом на власні потреби, а саме для живлення електричного приводу компресора та підсилювача керма, систем опалення, вентиляції, освітлення та зовнішніх світлових приладів.

В загальному випадку витрати на власні потреби можна поділити на дві групи:

– витрати на живлення систем, що впливають на безпечність експлуатації транспортного засобу, до яких відноситься пневматична система, системи кермування, зовнішнього освітлення та світлової сигналізації (група «А»);

– витрати на живлення систем, що забезпечують комфорт пасажирів та водія, до яких відносяться системи опалення, кондиціонування, внутрішнього освітлення (група «Б»).

В будь якому випадку споживання енергії цими групами не залежить від кількості енергії, яка споживається на створення кінетичної енергії транспортного засобу.

Якщо живлення систем групи «А» залежить від режиму руху транспортного засобу, то системи групи «Б» залежать тільки від температурного стану довкілля та протяжності світлого часу доби в регіоні, де експлуатується транспортний засіб.

Тому для дослідження середніх витрат на власні потреби транспортного засобу з електричною тяговою установкою було вибрано місто в центральній частині України на транспортному засобі, частка якого найбільша в загальному парку транспортних засобів класу I з електричною тяговою установкою.

Так, для оцінювання частки витрат енергії на власні потреби були організовані спостереження за показами лічильників постійного струму, що встановлені на 12-метрових тролейбусах типу «Богдан» Т70117, що експлуатуються у м. Вінниця.

Вибір тролейбуса Т70117 не випадковий, бо саме ці тролейбуси мають віртуальні лічильники постійного струму на пульті водія (див. рис. 1), які і дозволяють для досліджень отримати необхідну інформацію.

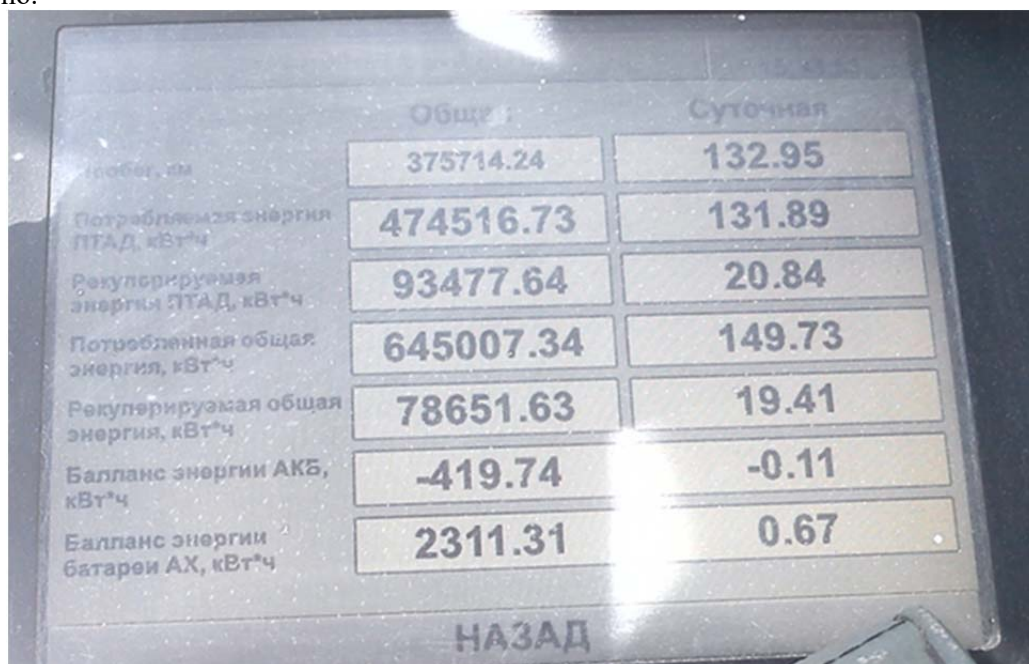


Рисунок 1 – Віртуальний лічильник електроенергії на панелі водія тролейбуса Богдан Т70117
Figure 1 – Virtual electricity meter on the driver's panel of the Bohdan T70117 trolleybus

Ця інформація надається за два періоди часу – від початку експлуатації тролейбуса та за добу і включає кількість:

- спожитої енергії тяговим перетворювачем (далі ПТАБ), яка використана для створення кінетичної енергії тролейбуса за періоди його розгону до заданих водієм швидкостей, яка зменшена на кількість рекуперованої енергії;
- рекуперованої енергії, яка є результатом перетворення кінетичної енергії тролейбуса в електричну під час електродинамічного гальмування;
- спожитої енергії тролейбусом із контактної мережі, яка зменшена на кількість рекуперованої енергії в контактну мережу.

Загальні характеристики отриманих вибірок даних щодо показів віртуальних лічильників подані у табл. 1.

Таблиця 1 – Загальні характеристики вибірок даних

Table 1 – General characteristics of data samples

Тривалість реєстрації даних	Кількість маршрутів	Кількість задіяних тролейбусів	Розмір вибірки
З початку експлуатації	Усі	38	36
За добу	Усі	34	27

Інформація щодо витрат енергії була отримана для тролейбусів, що виконали різний обсяг транспортної роботи. Для приведення до однакових умов був застосований показник питомих витрат, який був обчислений так:

$$E_{ВП} = \frac{(E_{КС}^c + E_{КС}^p) - (E_{ПТАБ}^c + E_{ПТАБ}^p)}{L} \quad (1)$$

де $E_{КС}^c$ – кількість спожитої енергії з контактної мережі, що зменшена на кількість рекуперованої, кВт*год;

$E_{КС}^p$ – кількість рекуперованої енергії в контактну мережу, кВт*год;

$E_{ПТАБ}^c$ – кількість енергії, яку спожив ПТАБ для створення кінетичної енергії тролейбуса;

$E_{ПТАБ}^p$ – кількість рекуперованої енергії ПТАБ під час електродинамічного гальмування тролейбуса.

Згідно отриманих даних питомі витрати електроенергії на власні потреби транспортного засобу мають мінливий характер (див. табл. 2), тому для визначення їх довірчих границь було виконано перевіряння можливості використання нормального закону розподілу.

Таблиця 2 – Загальні характеристики питомих витрат енергії на власні потреби

Table 2 – General characteristics of specific energy consumption for own needs

Тривалість реєстрації даних	Середнє значення, (кВт*год)/км	Дисперсія	Стандартне відхилення	Фактичне мінімальне значення, (кВт*год)/км	Фактичне максимальне значення, (кВт*год)/км
З початку експлуатації	0,414639	0,003175	0,056349	0,242649	0,527356
За добу	0,185663	0,002204	0,046944	0,12343	0,289931

Результати перевіряння свідчать, що з ймовірністю 0,99 обидві вибірки мають нормальний закон розподілу, оскільки розбіжність між емпіричним та теоретичним розподілом (див. рис. 2 та 3) незначна, бо обчислені значення критерію хі-квадрат (χ^2) не перевищують критичне значення (див. табл. 3).

Як видно з табл. 2, отримані середні значення та дисперсії для вибірок питомих витрат енергії різняться, що потребує обґрунтування того, що ця різниця суттєва або ні.

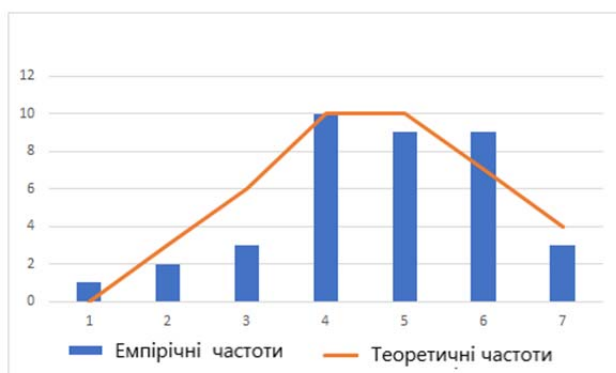


Рисунок.2 – Розподіл емпіричних та теоретичних частот для тривалого періоду часу

Figure 2 – Distribution of empirical and theoretical frequencies for a long period of time

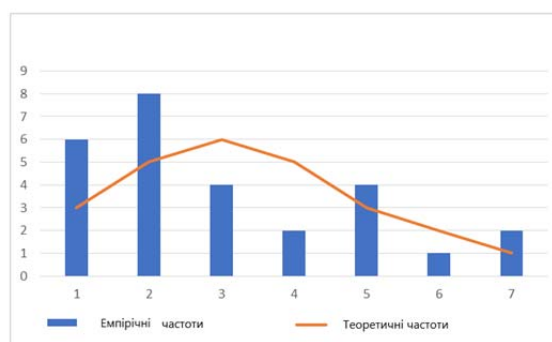


Рисунок 3 – Розподіл емпіричних та теоретичних частот для тривалого періоду часу

Figure 3 – Distribution of empirical and theoretical frequencies for a long period of time

Таблиця 3 – Значення критерію хі-квадрат (χ^2)

Table 3 – The value of the chi-square criterion (χ^2)

Тривалість реєстрації даних	Обчислене значення χ^2	Кількість ступенів вільності	Критичне значення χ^2 для 0,99 рівня ймовірності
З початку експлуатації	2,76	1	6,6
За добу	6,1	1	6,6

Оскільки обидві вибірки питомих витрат енергії на власні потреби мають нормальний закон розподілу, то обчислення їх довірчих границь були виконані за методикою ДСТУ ISO 2602 [9] та подані у табл. 4.

Таблиця 4 – Довірчі границі для вибірок питомих витрат енергії та їх середніх значень

Table 4 – Confidence limits for samples of specific energy consumption and their average values

Тривалість реєстрації даних	Довірчі границі для вибірки				Довірчі границі для середнього значення			
	Довірчий рівень 0,95		Довірчий рівень 0,99		Довірчий рівень 0,95		Довірчий рівень 0,99	
	Міні-мальне значення	Макси-мальне значення	Міні-мальне значення	Макси-мальне значення	Міні-мальне значення	Макси-мальне значення	Міні-мальне значення	Макси-мальне значення
З початку експлуатації	0,3002	0,5290	0,2612	0,5681	0,3956	0,4337	0,3891	0,4402
За добу	0,0893	0,2820	0,0556	0,3157	0,1671	0,2042	0,1606	0,2107

За критерій оцінки ступеню близькості дисперсій було взято відношення вибірових дисперсій F , яке підпорядковується розподілу Фішера.

Для отриманих значень дисперсії двох вибірок, обчислене значення критерію F дорівнює 1,44, в той час як його критичне значення для 36 та 27 ступенів вільності дорівнює 1,82. Тобто можна вважати дисперсії рівними з ймовірністю 0,95.

Для порівняння середніх значень вибірок з рівними дисперсіями генеральних сукупностей доцільно перейти до об'єднаної оцінки вибірових дисперсій, яка обчислюється так:

$$S^2 = \frac{(n-1) \cdot S_n^2 + (m-1) \cdot S_m^2}{n+m-2} \quad (2)$$

де S_n^2, S_m^2 – дисперсії вибірок, що розглядаються;
 n, m – розміри вибірок.

Критерій Стюдента, який використовується для прийняття рішення щодо рівності чи нерівності середніх значень вибірок для цього випадку, обчислений так:

$$t = \frac{\bar{A} - \bar{B}}{s \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{m}}} \quad (3)$$

де $\bar{A}, \bar{B}$ – середні значення вибірок

Кількість ступенів вільності, у разі об'єднання дисперсій, обчислюється за такою формулою:

$$v = n + m - 2$$

Результати обчислення критерію Стюдента та його критичне значення для $v = n + m - 2$ ступенів вільності подані у таблиці 5.

Таблиця 5 – Результати обчислення
Table 5 – Calculation results

Значення об'єднаної оцінки вибірових дисперсій	Обчислене значення критерію Стюдента оцінки вибірових дисперсій	Кількість ступенів вільності оцінки вибірових дисперсій	Критичне значення критерію Стюдента для довірчого рівня:	
			95%	99%
0,002761	17,11628	63	1,99	2,66

Як видно із табл.5, обчислене значення критерію Стюдента перевищує його критичне значення, що свідчить про нерівність середніх значень двох вибірок.

Нерівність середніх значень двох вибірок питомих витрат енергії на власні потреби транспортного засобу пов'язана з різними термінами виконання спостережень. Так, середнє значення довготривалих спостережень перевищує добові, бо вони мають додаткові витрати на забезпечення комфорту пасажирів в зимовий та літній період часу. Короткотермінові спостереження виконувалися протягом доби, коли під час руху тролейбусів не було потреби задіяти системи, що забезпечують комфортні умови пасажирів та водію.

Це дає можливість оцінити вплив систем забезпечення комфорту пасажирів та водія на загальні витрати на власні потреби транспортного засобу, як різницю середніх між вибірками даних за довготерміновий та добовий період спостереження, приведену до пробігу за періоди часу, які були розглянуті (див.табл.6).

Таблиця 6 – Значення складових питомих витрат енергії на власні потреби
Table 6 – The value of the components of specific energy consumption for own needs

Середнє значення питомих витрат на власні потреби, кВт*год/км		Витрати на живлення систем комфорту, кВт*год/км	Частка витрат на системи комфорту в загальному обсязі витрат на власні потреби, %
З витратами на системи комфорту	Без витрат на системи комфорту		
0,414639	0,185663	0,228976	55

Оскільки частка витрат на живлення систем комфорту також є мінливою, то було виконано оцінювання можливості застосування нормального закону розподілу для визначення її довірчих границь. Результати перевіряння свідчать, що з ймовірністю 0,99 частка витрат підпорядковується нормальному закону розподілу, адже розбіжність між емпіричним та теоретичним розподілом (див.рис.4) незначна, бо обчислені значення критерію хі-квадрат (χ^2) не перевищують критичне значення (див.табл.7).

Як видно із таблиці 8, частка витрат на живлення систем комфорту може доходити до 85% від загальних витрат на живлення власних потреб транспортного засобу класу І з електричною тяговою установкою.

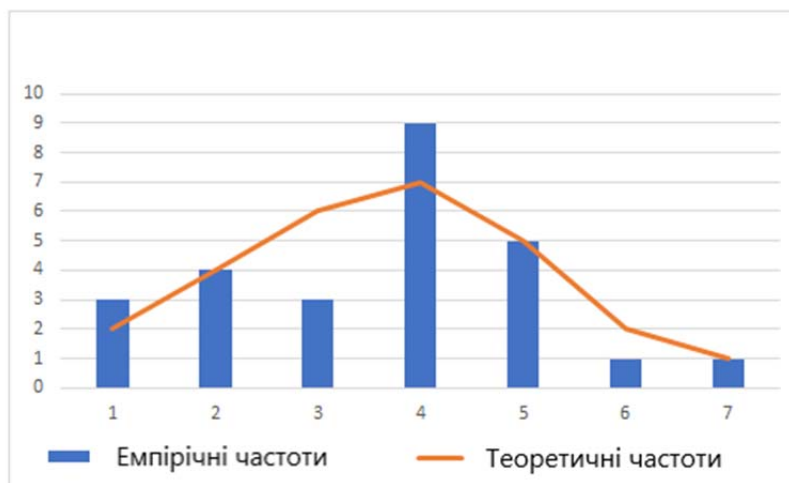


Рисунок 4 – Розподіл емпіричних та теоретичних частот частки витрат на живлення систем комфорту.
Figure 4 – Distribution of empirical and theoretical frequencies of the share of costs for powering comfort systems.

Таблиця 7 – Значення критерію хі-квадрат (χ^2) для частки витрат на живлення систем комфорту від загальних витрат на власні потреби

Table 7 – The value of the chi-square criterion (χ^2) for the share of costs for powering comfort systems from total costs for own needs

Обчислене значення χ^2	Кількість ступенів вільності	Критичне значення χ^2 для 0,95 рівня ймовірності	Критичне значення χ^2 для 0,99 рівня ймовірності
2,57	1	3,8	6,6

Результати обчислення довірчих границь для частки витрат на живлення систем комфорту від загальних витрат на живлення власних потреб транспортного засобу класу I подані у таблиці 8.

Таблиця 8 – Результати обчислення частки витрат на живлення систем комфорту

Table 8 – Results of the calculation of the share of costs for the power supply of comfort systems

Середнє значення		Довірчі границі для середнього значення				Довірча границя для вибірки, не більше		
		Для довірчого рівня 95%		Для довірчого рівня 99%		Для довірчого рівня 95%	Для довірчого рівня 99%	
		мін	макс	мін	макс			
кВт*год/км	0,569	0,332	0,805	0,249	0,888	0,764	3	0,853
%	57	33,2	80,5	24	89	76		85

Висновки та перспективи подальшого дослідження

В результаті дослідження визначено, що витрати енергії на живлення власних потреб транспортного засобу, систем, що забезпечують комфорт пасажирів та водія, а також їх частки в загальних витратах на живлення власних потреб підпорядковуються нормальному закону розподілу.

Частка витрат енергії на живлення систем забезпечення комфорту пасажирів та водія становить в середньому 57% від загальної кількості енергії, яка споживається на власні потреби транспортного засобу класу I з електричною тяговою установкою і може доходити до 85%.

Значна частка витрат на живлення систем, що забезпечують комфорт пасажирів та водія, має сприяти виконанню досліджень та розроблення за їх результатами енергоефективних систем забезпечення комфорту пасажирів та водія.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Андрусенко С.І. Оцінка вартостей експлуатації транспортних засобів з різними типами силових установок / Андрусенко С.І., Бугайчук О.С., Лобода А.В., Савостін-Косяк Д.О. // Технічна

інженерія: науковий журнал. – Ж.: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. – №2 (86) – С.3 – 12.

2. Андрусенко С.І. Обґрунтування доцільності використання накопичувачів енергії в електромережах міського транспорту та домогосподарств / С.І. Андрусенко, О.С. Бугайчук, В.Б. Будниченко, В.С. Подпіснєв // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46). – С. 10

3. Андрусенко С.І. Математична модель енергетичної ємності тягової акумуляторної батареї / С.І. Андрусенко, В.Б. Будниченко, В.С. Подпіснєв // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2021. – Вип. 3 (50)). – С. 3–10. – (doi.org/10.33744/2308-6645-2021-3-50-003-010).

4. Андрусенко С.І. Оптимізація параметрів тягової акумуляторної батареї у тролейбусах із частковим автономним ходом / С.І. Андрусенко, В.Б. Будниченко, В.С. Подпіснєв // Науково-виробничий журнал «Автошляховик України» (Автомобільний транспорт). – 2021. – № 3 (267)'2021. – С. 15–21. – (doi.org/10.33868/0365-8392-2021-3-267-15-21).

5. Войтків С. В. Методика оптимізації основних технічних параметрів перспективних міських електробусів типу ОНС/ Войтків С. В. // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології – 2021. – № 20. – С.6-17. –ORCID: 0000-0002-7789-2081

6. Витрати електроенергії трамвайними вагонами та тролейбусами. Нормативи. Метод розрахунку: ГКН 02.07.005-2001. – [Чинний від 2002-01-01]. Київ: ДП НДКТИ МГ, 2002. – 28 с. – (Державний комітет житлово-комунального господарства України).

7. Вимоги до методів визначення та оптимізації витрат електроенергії трамвайними вагонами та тролейбусами на рух: СОУ ЖКГ 09.05 - 009:2010.–[Чинний від 2010-05-01]. Київ: ДП НДКТИ МГ, 2010. – 27 с. – (Державний комітет житлово-комунального господарства України).

8. Опря А.Т. Статистика. Математична статистика. Теорія статистики. Навчальний посібник.- Київ: Центр навчальної літератури, 2005.-472с.

9. Подавання результатів випробування статистичне. Оцінювання середнього значення. Довірчий інтервал (ISO 2602:1980, IDT): ДСТУ ISO 2602:2006. – [Чинний від 2007-10-01]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2009. – 7 с. – (Національний стандарт України).

10.И.Ликеш, Й.Ляга Основные таблицы математической статистики/Пер. с чешского. - М:Фиансы и статистика, 1985.- 356 с.

REFERENCES

1. Andrusenko S.I. Estimation of operating costs of vehicles with different types of power plants / Andrusenko S.I., Bugaichuk O.S., Loboda A.V., Savostin-Kosyuk D.O. // Technical engineering: scientific journal. - Zh.: Zhytomyr Polytechnic State University, 2020. - No. 2 (86) - P.3 - 12.

2. Andrusenko S.I. Justification of the expediency of using energy storage devices in the power grids of urban transport and households / S.I. Andrusenko, O.S. Bugaichuk, V.B. Budnychenko, V.S. Podpisnov // Bulletin of the National Transport University. Series "Technical Sciences". Scientific and technical collection. - K.: NTU, 2020. - Issue 1 (46). - p. 10

3. Andrusenko S.I. Mathematical model of the energy capacity of the traction battery / S.I. Andrusenko, V.B. Budnychenko, V.S. Podpisnov // Bulletin of the National Transport University. Series "Technical Sciences". Scientific and technical collection. - K.: NTU, 2021. - Issue 3 (50)). – P. 3–10. – (doi.org/10.33744/2308-6645-2021-3-50-003-010).

4. Andrusenko S.I. Optimization of traction battery parameters in trolleybuses with partial autonomous operation / S.I. Andrusenko, V.B. Budnychenko, V.S. Podpisnov // Research and production journal "Automobile of Ukraine" (Automotive transport). – 2021. – No. 3 (267)'2021. – pp. 15–21. – (doi.org/10.33868/0365-8392-2021-3-267-15-21).

5. Voitkiv S.V. Methodology for optimizing the main technical parameters of promising urban electric buses of the ОНС type / Voitkiv S.V. // Automobile and electronics. Modern technologies - 2021. - No. 20. - P.6-17. – ORCID: 0000-0002-7789-2081

6. Electricity consumption by tram cars and trolleybuses. Norms. Calculation method: GKN 07.02.005-2001. .-[Effective from 2002-01-01]. Kyiv: SE NDKTI MG, 2002. – 28 p. - (State Committee of Housing and Communal Economy of Ukraine).

7. Requirements for methods of determining and optimizing the consumption of electricity by tram cars and trolleybuses for traffic: SOU ZHCG 09.05 - 009:2010.– [Effective from 2010-05-01]. Kyiv: SE NDKTI MG, 2010. – 27 p. - (State Committee of Housing and Communal Economy of Ukraine).

8. Oprya A.T. Statistics. Mathematical statistics. Theory of statistics. Study guide.-Kyiv: Center for educational literature, 2005.-472p.

9. Submission of test results is statistical. Estimating the mean value. Confidence interval (ISO 2602:1980, IDT): DSTU ISO 2602:2006. – [Effective from 2007-10-01]. - Kyiv: Derzhspozhivstandard of Ukraine, 2009. - 7 p. – (National Standard of Ukraine).

10. I. Likesh, Y. Lyaga Basic tables of mathematical statistics/Trans. from Czech - M: Fiance and statistics, 1985.- 356 p.

РЕФЕРАТ

Годованюк П.Д. Дослідження витрат енергії системами опалення та кондиціонування транспортного засобу класу І з електричною тяговою установкою / П.Д. Годованюк, І.В. Будниченко, А.В.Лобода, М.М. Кошарний // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

У даній науковій статті опрацьовано теоретичний матеріал на тему: Дослідження витрат енергії системами опалення та кондиціонування транспортного засобу класу І з електричною тяговою установкою», визначено частку витрат енергії, яка приходить на системи опалення та кондиціонування в загальному обсязі витрат енергії на власні потреби транспортного засобу класу І з електричною тяговою установкою та закони розподілу цих величин.

Об'єкт дослідження – тролейбуси типу «Богдан» Т70117, що експлуатуються у м. Вінниця. .

Мета роботи – є визначення частки витрат енергії системами забезпечування комфорту пасажирів та водія в загальному обсязі витрат на власні потреби транспортного засобу класу І з електричною тяговою установкою.

Метод дослідження – оцінювання частки витрат енергії на власні потреби, що були організовані спостереження за показами лічильників постійного струму, які встановлені на 12-метрових тролейбусах типу «Богдан» Т70117, що експлуатуються у м. Вінниця.

Згідно отриманих даних, щодо показів віртуальних лічильників, які подані у таблицях, було підраховано витрати енергії на власні потреби 12-метрових тролейбусів типу «Богдан» Т70117.

В результаті дослідження визначено, що витрати енергії на живлення власних потреб транспортного засобу, систем, що забезпечують комфорт пасажирів та водія, а також їх частки в загальних витратах на живлення власних потреб підпорядковуються нормальному закону розподілу.

Частка витрат енергії на живлення систем забезпечення комфорту пасажирів та водія становить в середньому 57% від загальної кількості енергії, яка споживається на власні потреби транспортного засобу класу І з електричною тяговою установкою і може доходити до 85%.

Значна частка витрат на живлення систем, що забезпечують комфорт пасажирів та водія, має сприяти виконанню досліджень та розроблення за їх результатами енергоефективних систем забезпечення комфорту пасажирів та водія.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЯ, ВЛАСНІ ПОТРЕБИ, ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ, ТЯГОВА УСТАНОВКА, ЗАКОН РОЗПОДІЛУ, ТРОЛЕЙБУС.

ABSTRACT

Godovanyuk P.D., Budnychenko I.V., Loboda A.V., Kosharnyi M.M. Research of energy consumption by heating and air-conditioning systems of a class I vehicle with an electric traction unit. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

This scientific article elaborates theoretical material on the topic: Study of energy consumption by heating and air conditioning systems of a class I vehicle with an electric traction unit", the share of energy consumption that falls on heating and air conditioning systems in the total amount of energy consumption for the own needs of a class I vehicle is determined And with an electric traction unit and the distribution laws of these quantities.

The object of the study is "Bohdan" type T70117 trolleybuses operated in Vinnytsia. .

The purpose of the work is to determine the share of energy consumption by passenger and driver comfort systems in the total amount of expenses for own needs of a Class I vehicle with an electric traction unit.

The research method is to estimate the share of energy consumption for own needs, which was organized by observing the readings of direct current meters installed on 12-meter trolleybuses of the "Bogdan" type T70117 operated in the city of Vinnytsia.

According to the received data, in relation to the readings of the virtual counters, which are presented in the tables, the energy consumption for the own needs of 12-meter trolleybuses of the "Bogdan" type T70117 was calculated.

As a result of the study, it was determined that energy costs for powering the vehicle's own needs, systems that ensure the comfort of passengers and the driver, as well as their shares in the total costs for powering own needs are subject to the normal law of distribution.

The share of energy consumption for powering passenger and driver comfort systems is on average 57% of the total amount of energy consumed for the own needs of a class I vehicle with an electric traction unit and can reach 85%.

A significant share of the costs of powering systems that ensure the comfort of passengers and the driver should contribute to the implementation of research and development based on their results of energy-efficient systems to ensure the comfort of passengers and the driver.

KEY WORDS: ELECTRICITY, OWN NEEDS, VEHICLE, TRACTION PLANT, DISTRIBUTION LAW, TROLLEY BUS.

АВТОРИ:

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.

Будниченко Ігор Валерійович, інженер, приватний підприємець, e-mail: Igor.v.budnichenko@gmail.com, тел.: +380674655796, Україна, 04211, м. Київ, вул. Приозерна ба, кв. 177, orcid.org/0000-0003-3073-4913

Лобода Андрій Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: andreyloboda7@gmail.com, тел.: +380674663569, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 410, orcid.org/0000-0002-6956-3288

Кошарний Микола Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, e-mail: kosarnijmikoла@gmail.com, тел.: +380936600992, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 410, orcid.org/0000-0002-5969-4858.

AUTHORS:

Petro Dmytrovych Godovanyuk, candidate of technical sciences, associate professor, National Transport University, associate professor of the department of technical operation of cars and car service, e-mail: pgodovanuk04@gmail.com, phone: +380505492210, Ukraine, 01010, Kyiv, str. M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, k. 410, orcid.org/0000-0001-6331-8698.

Budnichenko Igor Valeryovych., engineer, private entrepreneur, e-mail: Igor.v.budnichenko@gmail.com, phone: +380674655796, Ukraine, 04211, Kyiv, Priozerna St. 6a, sq. 177, orcid.org/ 0000-0003-3073-4913

Andriy. Viktorovych Loboda, candidate of technical sciences, associate professor, National Transport University, associate professor of the department of technical operation of cars and car service, e-mail: andreyloboda7@gmail.com, phone: +380674663569, Ukraine, 01010, Kyiv, str. M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, k. 410, orcid.org/0000-0002-6956-3288

Mykola Mykolayovych Kosharny, candidate of technical sciences, associate professor, National Transport University, associate professor of the department of technical operation of cars and car service, e-mail: kosarnijmikoла@gmail.com, phone: +380936600992, Ukraine, 01010, Kyiv, str. M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, k. 410, orcid.org/0000-0002-5969-4858.

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.

**ПОЛІПШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДВИГУНА
З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ В РЕЖИМАХ ПОВНИХ
НАВАНТАЖЕНЬ ВИКОРИСТАННЯМ ЗАКИСУ АЗОТУ**

Гора М.Д., ДП «ДержавтотрансНДІпроект», Київ, Україна, mgora@insat.org.ua,
orcid.org/0000-0002-1574-3080

**IMPROVEMENT OF ENVIRONMENTAL INDICATORS OF THE ENGINE WITH
SPARK IGNITION IN FULL LOAD MODES WITH USE OF NITROUS OXIDE**

Hora M.D., State Enterprise «State Road Transport Research Institute», Kyiv, Ukraine,
mgora@insat.org.ua, orcid.org/0000-0002-1574-3080

Постановка проблеми.

Кількість викидів забруднювальних речовин (ЗР) з відпрацьованими газами (ВГ) двигунів з іскровим запалюванням залежить від конструктивних особливостей двигунів, якості палива, рівня зношення деталей та режимів роботи двигунів. Режими роботи для автомобільних двигунів визначаються режимами руху транспортних засобів (ТЗ). На даний час зберігається тенденція збільшення на території України кількості приватних та комерційних ТЗ, в тому числі бувають у користуванні. Циклічні масові переміщення ТЗ (робочі та побутові поїздки приватним автомобілями в ранковий та вечірній час, тощо) в межах доби, тижня, місяця, пори року, супроводжується великою інтенсивністю руху ТЗ (окрім руху у заторах), в свою чергу недостатність логістичного управління рухом ТЗ в умовах міжміських сполучень та особливо при русі великими містами, не сприяють оптимізації експлуатації ТЗ в економних режимах, зокрема режимах усталеного руху. Тому досить актуальним є питання роботи двигунів ТЗ в режимах повних навантажень, для забезпечення динамічних показників автомобілів, наприклад при розгонах в умовах інтенсивного руху, при максимальній завантаженості ТЗ тощо. При цьому забезпечення отримання високих енергетичних показників двигунів може супроводжуватись погіршенням екологічних показників і паливної економічності автомобілів. З цієї точки зору і проведені розрахункові дослідження методу поліпшення екологічних показників двигуна з іскровим запалюванням у режимах повних навантажень додавкою закису азоту до повітряного заряду.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Зниження викидів ЗР з ВГ двигунів з іскровим запалюванням досягають конструктивними змінами та регульовальними заходами. Основними з них в сучасних двигунах є використання системи управління розподільчим валом, оптимізація геометрії камери згорання, використання декількох клапанів на циліндр, підвищення ступеня стиску, пошарове впорскування палива при безпосередньому впорскуванні, регулювання кута випередження запалювання та впорскування. Одним з найбільш ефективних шляхів поліпшення екологічних показників двигунів внутрішнього згорання є нейтралізація ЗР у ВГ. В сучасних двигунах з іскровим запалюванням використовують трикомпонентні каталітичні нейтралізатори. Для ефективної роботи каталітичного нейтралізатора необхідно забезпечити стехіометричний склад паливо-повітряної суміші. Разом з тим відомо, що найбільшу потужність можна отримати на збагаченій суміші при якій ефективність каталітичного нейтралізатора значно погіршується [4]. Одночасно створити умови для ефективної роботи каталітичного нейтралізатора при стехіометричному складі суміші без погіршення паливної економічності і енергетичних показників можливо змінюючи склад повітряного заряду. Впливати на склад повітряного заряду, зокрема підвищення в ньому кисню, можливо, коли частину повітря замінити газом з високим вмістом кисню. Таким газом є закис азоту, в якому кисень по масі складає близько 36 %.

У статті наведені результати розрахункових досліджень екологічних 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.

Як зазначено в статті [1] одним з напрямків поліпшення показників двигунів з іскровим запалюванням в режимах повних навантажень є добавка до повітряного заряду кисневмісного газу – закису азоту N_2O . Результати розрахункових і експериментальних досліджень [2] показують, що цей напрям дозволяє поліпшити енергетичні та екологічні показники і паливну економічність двигуна. Разом з тим одночасно поліпшити ці показники неможливо. В статті [1] за результатами розрахункових досліджень з використанням даних експерименту доведено, що добавкою 10% N_2O до повітряного заряду можливо підвищити енергетичні показники двигуна близько 18% без погіршення паливної економічності.

Ефективність використання в сучасних двигунах трикомпонентних каталітичних нейтралізаторів, для нейтралізації ЗР, які в основному утворюються в циліндрах двигуна і викидаються в навколишнє середовище з ВГ, найбільш висока при стехіометричній паливо-повітряній суміші ($\alpha = 1,0$). За такого складу суміші прискорюються реакції окислення і відновлення ЗР, що дозволяє значно знизити викиди основних ЗР, зокрема оксиду вуглецю CO , вуглеводнів C_mH_n і оксидів азоту NO_x . Тому доцільно розглянути питання використання добавки закису азоту N_2O для отримання стехіометричної суміші замість збагаченої паливо-повітряної суміші, яку традиційно використовують для отримання високих енергетичних показників двигуна. Для прикладу на рис. 1 [3] показана залежність коефіцієнту надміру повітря двигуна 6Ч9,5/6,98 обладнаного системою впорскування, зворотним зв'язком і нейтралізатором фірми Arvin Tefh.

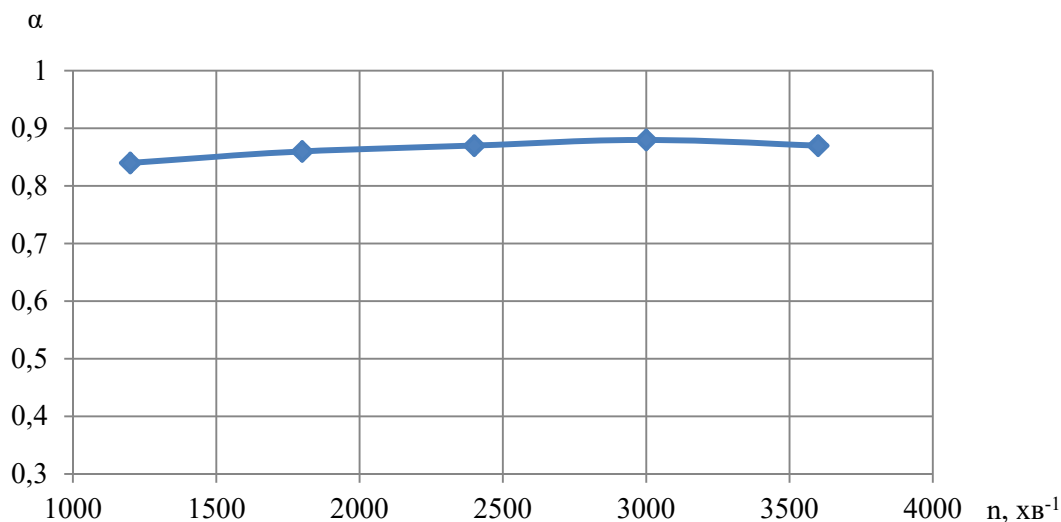


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнту надміру повітря від частоти обертання двигуна 6Ч9,5/6,98 за роботи з повним навантаженням

Figure 1 – Dependence of the coefficient of excess air on the engine speed of engine 6Ch9,5/6,98 at full load

Як видно з показаної залежності в усіх швидкісних режимах коефіцієнт надміру повітря за роботи з повним навантаженням знаходиться в межах 0,84...0,88. Такий склад паливо-повітряної суміші призводить до значного зниження ефективності нейтралізатора за винятком нейтралізації оксидів азоту. Використання закису азоту дозволяє змінити склад повітряного заряду, збільшити в ньому концентрацію кисню, що дозволить використовувати більші циклові подачі бензину при стехіометричному складі суміші. Розглянемо, як визначити необхідну добавку закису азоту для отримання стехіометричної суміші в режимі, де двигун працює на збагаченій суміші. Для аналізу виконаємо це для швидкісного режиму 2400 хв^{-1} , в якому була визначена навантажувальна характеристика [3], рис. 2.

В цьому режимі двигун працює з коефіцієнтом надміру повітря $\alpha = 0,87$. В роботі [3] проведені дослідження показників двигуна 6Ч9,5/6,98 в цьому режимі і отримані такі результати: крутний момент $M_K = 203,89 \text{ Н}\cdot\text{м}$, витрата палива $G_n = 14,52 \text{ кг/год}$, витрата повітря $G_{\text{пов}} = 188,23 \text{ кг/год}$, питома витрата палива $g_e = 284 \text{ г/кВт}\cdot\text{год}$, коефіцієнт наповнення $\eta_v = 0,72$, концентрація оксиду вуглецю $CO = 4,6 \%$, концентрація діоксиду вуглецю $CO_2 = 12,8 \%$, концентрація вуглеводнів $C_mH_n = 120 \text{ млн}^{-1}$, концентрація оксидів азоту $NO_x = 1180 \text{ млн}^{-1}$. Визначимо, яка добавка закису азоту до

повітряного заряду дозволить отримати стехіометричну суміш при незмінній витраті бензину. Для роботи без добавки N_2O витрату повітря на один робочий цикл визначимо з співвідношення:

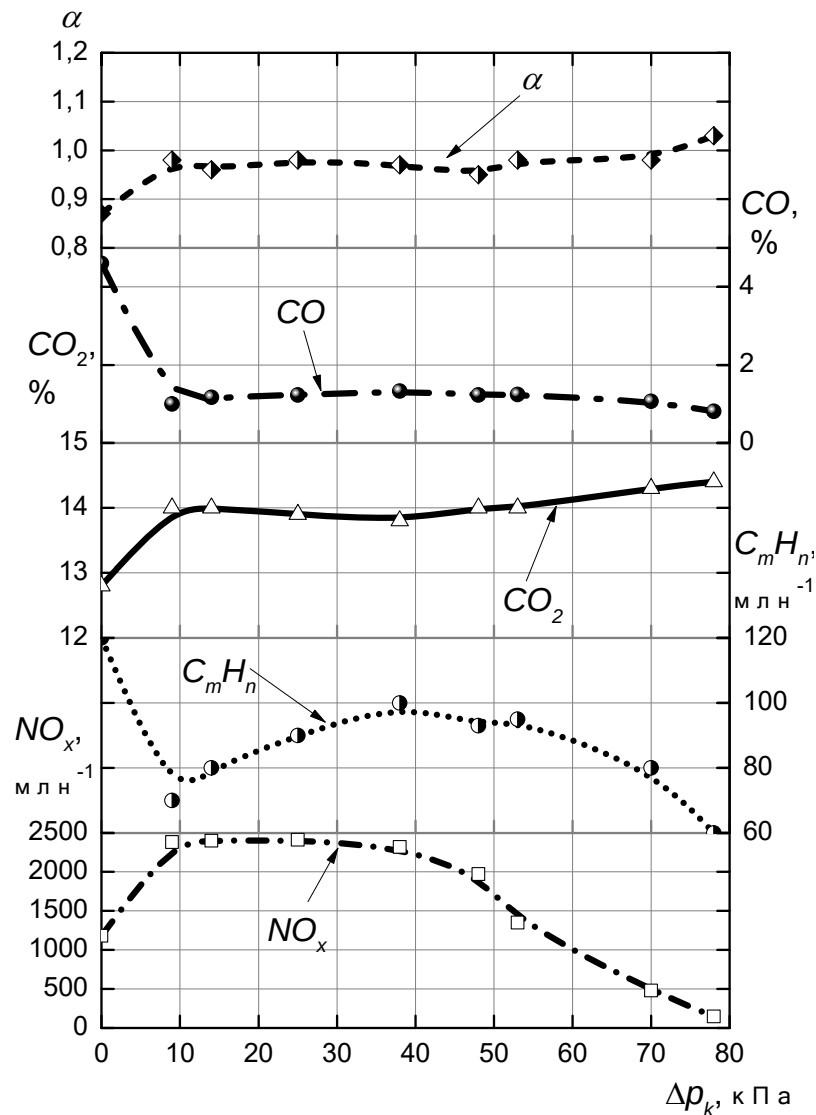


Рисунок 2 – Навантажувальна характеристика двигуна 6Ч9,5/6,98 ($n = 2400$ хв⁻¹)

Figure 2 – Load characteristics of the engine 6Ch9,5/6,98 ($n = 2400$ rpm)

$$V_h \cdot \eta_v \cdot \rho_{\text{пов}} = \alpha \cdot l_0 \cdot q_{\text{ц}}, \quad (1)$$

де V_h – робочий об'єм циліндра, м³; η_v – коефіцієнт наповнення, визначений в експерименті, $\eta_v = 0,72$; $\rho_{\text{пов}}$ – густина повітряного заряду, визначена в процесі експерименту, $\rho_{\text{пов}} = 1,22$ кг/м³; α – коефіцієнт надміру повітря, визначений в процесі експерименту, $\alpha = 0,87$; l_0 – теоретично необхідна кількість повітря для згорання 1 кг бензину, $l_0 = 14,8$ кг/кг (для роботи без добавки закису азоту); $q_{\text{ц}}$ – циклова подача бензину, кг/цикл. За добавки закису азоту ця рівність має вид:

$$V_h \cdot \eta_v \cdot \rho_{\text{сум}} = 1,0 \cdot l'_0 \cdot q_{\text{ц}}, \quad (2)$$

де $\rho_{\text{сум}}$ – густина суміші повітря і закису азоту, $\rho_{\text{сум}} = r_{N_2O} \cdot \rho_{N_2O} + (1 - r_{N_2O}) \cdot \rho_{\text{пов}}$; l'_0 – теоретично необхідна кількість суміші повітря і закису азоту для згорання 1кг бензину; r_{N_2O} – об'ємна частка закису азоту в суміші з повітрям. Розділив почленно (2) на (1), скоротивши V_h і η_v , отримаємо:

$$\frac{\rho_{\text{сум}}}{\rho_{\text{пов}}} = \frac{1,0}{0,87} \cdot \frac{l'_0}{l_0} \quad (3)$$

Величина l'_0 залежить від розміру частки N_2O в суміші. Згідно [2] $l'_0 = 14,8 - 10 \cdot r_{N_2O}$. З виразу (3) отримуємо величини $r_{N_2O} = 0,106$, $l'_0 = 13,74$ кг/кг. Як видно з графіків навантажувальної характеристики концентрації ЗР різко змінюються при розрідженні на впуску $\Delta p_k \approx 10$ кПа в результаті зміни складу паливо-повітряної суміші і різкого її збагачення. При цьому в режимі перед збагаченням коефіцієнт надміру повітря $\alpha = 0,98 \dots 0,99$, тобто суміш близька до стехіометричної. Так як цей режим за положенням дросельної заслінки і розрідженням близький до повного навантаження це дає підставу прийняти концентрації ЗР при повному навантаженні такі ж як і в цьому режимі в випадку, коли збагачення суміші не здійснювали, а з добавкою закису азоту при повному відкритті дросельної заслінки і розрідженні $\Delta p_k = 0$ двигун працює на стехіометричній суміші. При такому допущенні, точність якого буде перевірена експериментально, можна очікувати показники при переході від збагаченої суміші до стехіометричної на рівні: $\alpha = 0,98 \dots 0,99$, $CO = 1,0$ %, $CO_2 = 14,0$ %, $C_m H_n = 70$ млн⁻¹, $NO_x = 2380$ млн⁻¹. Задача полягає в порівнянні цих екологічних показників з наведеними вище показниками, отриманими експериментально.

Відомо, що більш об'єктивним показником забруднення двигуном навколишнього середовища є не концентрації ЗР, а їх масові викиди, віднесені до одиниці часу або роботи. Разом з тим, як зазначено вище, годинна витрата бензину при переході до стехіометричної суміші залишається однаковою, а змінюється повітряний заряд добавкою закису азоту. Повітряний заряд входить в залежність для розрахунку масових викидів ЗР [4]

$$G_i = \frac{C_i}{100} \cdot \mu_i \cdot a \cdot (b \cdot G_{\text{п}} + G_{\text{пов}}), \quad (4)$$

де G_i – маса ЗР, кг/год; C_i – i -концентрації i -ї шкідливої речовини, %; μ_i – молярна маса i -ї шкідливої речовини, кг/кмоль; a і b – розраховані коефіцієнти встановлені для випадків розрахунку кількості сухих і вологих продуктів згорання за умови згорання бідних і багатих сумішей [4]; $G_{\text{п}}$ – годинна витрата палива, кг/год; $G_{\text{пов}}$ – годинна витрата повітря, кг/год.

Годинна витрата повітря незначно зростає в зв'язку з тим, що густина закису азоту більша в порівнянні з густиною повітря ($\rho_{N_2O} = 1,77$ кг/м³, $\rho_{\text{пов}} = 1,22$ кг/м³). Можлива похибка в визначенні повітряного заряду

$$G_{\text{пов}} = V_h \cdot \eta_v \cdot \rho_{\text{сум}}, \quad (5)$$

$\rho_{\text{сум}}$ – густина повітряного заряду при добавці N_2O , $\rho_{\text{сум}} = \rho_{\text{пов}} \cdot r_{\text{пов}} + \rho_{N_2O} \cdot r_{N_2O}$, для $r_{\text{пов}} = 0,894$, $r_{N_2O} = 0,106$, $\rho_{\text{сум}} = 1,28$ кг/м³. Похибка не перевищує 5 %, тому можна прийняти свіжий заряд по масі при добавці N_2O незмінним. Тоді порівняння екологічних показників двигуна за роботи на збагаченій суміші і на стехіометричній на першому етапі можна провести на концентраціях ЗР, зокрема приведенням концентрацій до оксиду вуглецю

$$G_{\Sigma CO} = CO + 3,16 \cdot C_m H_n \cdot 10^{-4} + 41,1 \cdot NO_x \cdot 10^{-4}, \quad \% \quad (6)$$

Сумарні, приведені до CO концентрації ЗР складають при $\alpha = 0,87$ $G_{\Sigma CO} = 9,48$ %, при $\alpha = 1,0$ $G_{\Sigma CO} = 10,8$ %, тобто для двигуна без системи нейтралізації екологічні показники практично однакові за роботи на збагаченій суміші і на стехіометричній суміші.

Сучасні двигуни з іскровим запалюванням обладнані каталітичними трикомпонентними нейтралізаторами. Коефіцієнт ефективності такого нейтралізатора при стехіометричному складі суміші становить [4] $K_{CO} = 95$ %, $K_{CH} = 85$ %, $K_{NO_x} = 95$ %, при збагаченій суміші ($\alpha = 0,87$) $K_{CO} = 35$ %, $K_{CH} = 25$ %, $K_{NO_x} = 95$ %. При таких коефіцієнтах ефективності нейтралізації приведені до CO концентрації при збагаченій суміші $G_{\Sigma CO} = 5,61$ %, при стехіометричній суміші $G_{\Sigma CO} = 0,542$ %. Таким чином можна стверджувати, що використовуючи добавку кисневмісного газу N_2O можливо значно поліпшити екологічні показники двигуна з іскровим запалюванням з системою впорскування і каталітичним нейтралізатором в режимах повних навантажень. Питання зміни енергетичних показників двигуна при переході від роботи на збагаченій бензоповітряній суміші до стехіометричної суміші потребує додаткових досліджень.

Висновки.

Добавка кисневмісного газу – закису азоту до повітряного заряду двигуна з іскровим запалюванням неоднозначно впливає на показники двигуна за роботи з повним навантаженням. Змінюючи склад паливо-повітряної суміші добавкою закису азоту до повітряного заряду двигуна таким чином, щоб забезпечити його роботу при повному навантаженні на стехіометричній паливо-повітряній суміші, можливо значно поліпшити екологічні показники двигуна з іскровим запалюванням з системою впорскування, зворотним зв'язком і каталітичним нейтралізатором. Разом з тим, якісна зміна паливо-повітряної суміші дозволяє забезпечити роботу двигуна без погіршення паливної економічності і енергетичних 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 добавкою закису азоту до повітряного заряду у кількості, яка забезпечує роботу двигуна на стехіометричній паливо-повітряній суміші ($\alpha = 1,0$), забезпечить отримання сумарних, приведених до CO концентрації ЗР на рівні 0,542% у порівнянні з відповідними концентраціями ЗР при роботі на збагаченій суміші ($\alpha = 0,87$), які становлять 5,61%. При цьому для двигуна без системи нейтралізації екологічні показники практично однакові за роботи на збагаченій суміші і на стехіометричній суміші та складають при $\alpha = 0,87$ $G_{SCO} = 9,48$ %, при $\alpha = 1,0$ $G_{SCO} = 10,8$ %.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гора, М.Д. Поліпшення енергетичних показників двигуна з іскровим запалюванням в режимах повних навантажень / М. Д. Гора // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». - К., 2022. - Вип. 53. - С. 104-109.
2. 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.
3. Дядченко В.Л. Покращення паливної економічності багаточиліндрових 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.
4. Екологія та автомобільний транспорт: навчальний посібник / Ю. Ф. Гутаревич, Д. В. Зеркалов, А. Г. Говорун, А. О. Корпач, Л. П. Мержиєвська. - К.: Арістей, 2006. – 292 с.

REFERENCES

1. Hora, M.D. Polipshennia enerhetichnykh pokaznykh dvyhuna z iskrovym zapaliuvanniam v rezhymakh povnykh navantazhen [Improvement of the energy indicators of the engine with spark ignition in full loads modes] / M. D. Hora // Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriiia "Tekhnichni nauky". - K., 2022. - Vyp. 53. - P. 104-109.
2. Harkusha Yu.V. Polipshennia enerhetichnykh pokaznykh i palyvnoi ekonomichnosti benzynovoho dvyhuna v rezhymakh povnykh navantazhen [Improving the energy performance and fuel economy of a gasoline engine at full load. Doct. Diss.]. Kyiv, 2010. 146 p.
3. Dyadchenko V.L. Pokrashchennia palyvnoi ekonomichnosti bahatotsylindrovyyh dvyhuniv z vporskuvanniam benzynu v rezhymakh malyh navantazhen i holostoho hodu [Improving the fuel economy of multi-cylinder engines with gasoline injection at low loads and idling. Doct. Diss.]. Kyiv, 2010. 172 p.
4. Ekolohiia ta avtomobilnyi transport: navchalnyi posibnyk [Ecology and road transport: study guide] / Yu.F. Hutarevych, D.V. Zerkalov, A.H. Hovorun, A.O. Korpach, L.P. Merzhievyska. – K.: Aristei, 2006. - 292 p.

РЕФЕРАТ

Гора М.Д. Поліпшення екологічних показників двигуна з іскровим запалюванням в режимах повних навантажень використанням закису азоту / М.Д. Гора // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал – К.: НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

У статті запропоновано метод поліпшення екологічних показників двигуна з іскровим запалюванням у режимах повних навантажень шляхом використання добавки закису азоту до повітряного заряду.

Об'єкт дослідження – вплив добавки закису азоту до повітряного заряду на екологічні показники при незмінній витраті палива двигуна з іскровим запалюванням у режимах повних навантажень.

Мета дослідження – теоретичне дослідження поліпшення умов для ефективної роботи каталітичного нейтралізатора при стехіометричному складі суміші без погіршення паливної економічності і енергетичних показників.

Наведені результати розрахункових досліджень впливу добавки кисневмісного газу – закису азоту до повітряного заряду на екологічні показники двигуна з іскровим запалюванням, системою впорскування без використання каталітичного нейтралізатора та з використанням каталітичного нейтралізатора і зворотним зв'язком. Показано, що використанням добавки закису азоту можливо поліпшити екологічні показники сучасного бензинового двигуна без погіршення паливної економічності і енергетичних показників.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДВИГУН З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ, ЗАКИС АЗОТУ, ПАЛИВО-ПОВІТРЯНА СУМІШ, КОЕФІЦІЄНТ НАДМІРУ ПОВІТРЯ, КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН, МАСОВІ ВИКИДИ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН, ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ, СУМАРНІ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН.

ABSTRACT

Hora M.D. Improvement of the spark-ignition engine emissions in full-load mode using nitrous oxide. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The article proposes a method to improve the emissions of a spark-ignition engine in full-load mode by using nitrous oxide additive to the air charge.

The research object is the influence of the addition of nitrous oxide to the air charge on a spark-ignition engine emission at constant fuel consumption under full load.

The purpose of the study is a theoretical study of the improvement of the conditions for the effective operation of the catalytic converter at the stoichiometric composition of the mixture without deterioration of fuel efficiency and energy indicators.

The results of calculation studies of the impact of the addition of oxygen-containing gas - nitrous oxide to the air charge on the emissions of the spark-ignition engine with an injection system, feedback and with or without catalytic converter are given. It is shown that the use of nitrous oxide additives can improve the emissions of a modern gasoline engine without decreasing of fuel economy and performance.

KEYWORDS: SPARK IGNITION ENGINE, NITROUS OXIDE, FUEL-AIR MIXTURE, EXCESS AIR RATIO, CONCENTRATIONS OF POLLUTANTS, MASS EMISSIONS OF POLLUTANTS, ENVIRONMENTAL INDICATORS, TOTAL CONCENTRATIONS OF POLLUTANTS.

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.

ЄВРОІНТЕГРАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ ТРАНСПОРТНОЇ ГАЛУЗІ. ДОСВІД ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Гришук О.К., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, gryshchuk@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-2993-5566

Славінська О.С., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, elenaslavin9@gmail.com, orcid.org/0000-0002-9709-0078

Хрутьба В.О., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, khrutba@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8121-2042

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

EUROPEAN INTEGRATION PROCESSES IN THE TRAINING OF SPECIALISTS IN THE TRANSPORT INDUSTRY. EXPERIENCE AND PERSPECTIVES

Gryshchuk O.K., Ph. D., Engineering, National Transport University, Kyiv, Ukraine, gryshchuk@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-2993-5566

Slavinska O.S., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, elenaslavin9@gmail.com, orcid.org/0000-0002-9709-0078

Khrutba V.O., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, v.khrutba@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0002-8121-2042

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

Постановка проблеми. Для відбудови економіки України, досягнення стабільного економічного розвитку та підвищення рівня життя і добробуту населення, пріоритетним є вектор європейського розвитку. Україна є пріоритетним партнером Європейського Союзу. 23 червня 2022 року Рада Європейського союзу надала Україні статус кандидата на членство в ЄС, що не тільки відкрило нові можливості для активного співробітництва у різних сферах економіки, а й визначило вимоги щодо інтеграції нашої держави у європейське співтовариство. Транспортна галузь є значущим і важливим сегментом економіки країни, одним зі способів зв'язку між галузями, підприємствами, регіонами держави, зарубіжними країнами. Сприяння інтеграції та модернізації транспортної галузі України та окремих підсекторів, оновлення Національної транспортної стратегії України відповідно до законодавства, стандартів і вимог ЄС та сприяння у її подальшій імплементації в умовах глобальних інтеграційних процесів.

Глобальні інтеграційні процеси є об'єктивною тенденцією розвитку всіх сфер життя в сучасному світі. Вони охоплюють суспільне виробництво, культуру, духовне життя, освітню та наукову сферу, ставши визначальними факторами формування способу та якості життя усього світу та окремих державно-організованих суспільств. Сучасний етап розвитку цивілізації, що визначається як перехід до суспільства знань, характеризується якісно новими вимогами до розвитку освіти.

Система освіти, як унікальне явище, є набагато складнішою, ніж інші (безпеки, транспорту, зв'язку). Вона тісно пов'язана з духовними і матеріальними аспектами минулого і сучасного. У кожній країні освіта та її організація мають свої особливості. Наймогутнішими ініціаторами змін у системі освіти виступають не її власні проблеми чи негаразди, а ті, які перебувають поза нею, передусім пріоритети й вимоги до навчання і виховання, спричинені включенням даної країни до спільного руху світової спільноти у майбутнє, змінами у виробництві, культурі та поведінці. Відтак, під час реформування вищої освіти, з одного боку, враховуються пріоритети збереження культурної різноманітності національних систем освіти, а з іншого – завдання поліпшення міжнародної співпраці, мобільності, працевлаштування студентів у Європейському чи міжнародному ареалі, міжнародної конкурентоспроможності закладів вищої освіти. Вимогою часу стає підготовка фахівців нової якості – здатних творчо мислити, швидко орієнтуватися в сучасному насиченому інформаційному просторі, приймати нестандартні рішення, вчитися і розвиватися протягом усього життя, а головне – бути патріотами рідної землі [1].

Євроінтеграція як стратегічний напрямок розвитку країни зумовлює перебіг не тільки економічних, соціальних процесів, які відбуваються в країні, але й освітніх. Вища освіта є ключовим фактором подальшої європейської інтеграції України. В той самий час, реалізація євроінтеграційних процесів в окремих закладах вищої освіти має свої особливості та потребує додаткових досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Чимало вітчизняних представників вищої школи і науковців в останні два десятиліття активно аналізують євроінтеграційні процеси в освітньо-науковій сфері, динаміку розвитку різноманітних форм співробітництва у рамках європейського простору вищої освіти. Ф.А. Моїсєєва, В.А. Усачов [2] розглядають процес інтеграції системи утворення України до Європи, впровадження принципів Болонського процесу в університетську систему освіти, перегляду методології контролю якості освіти в системі вищої школи, подається оцінка «за» і «проти» Болонського процесу в Україні. В.Антонюк вивчає проблематику інтеграції вищих навчальних закладів України до Європейського простору вищої освіти (European Higher Education Area). В роботі здійснено аналіз проблем вищої освіти в Україні та важливість євроінтеграційних процесів для їхнього вирішення. Водночас виявлено недоліки євроінтеграційних процесів, запропоновано напрямки удосконалення державної політики та діяльності ЗВО щодо створення кращих умов для активізації співпраці у сфері вищої освіти [3].

Більш активне дослідження проблем інтеграції України у європейський простір вищої освіти та можливості модернізації вітчизняної системи вищої освіти відбулося після підписання Угоди з ЄС. Серед низки публікацій слід відзначити статті Є. Хан, О. Турути та О. Жидкової [4; 5; 6], в яких євроінтеграційні процеси пов'язані з можливостями модернізації вищої освіти України. Системний аналіз еволюції процесу європейської інтеграції у сфері освіти було представлено в Національній доповіді про стан і перспективи розвитку освіти в Україні, де перший розділ присвячено державній освітній політиці в умовах глобалізації та євроінтеграції, а перспективи розвитку системи вищої освіти України розглядаються через призму активного включення в європейський простір вищої освіти [7]. В монографії А. Сбруєвої та І. Єременко аналізуються проблеми забезпечення якості вищої освіти в контексті інтернаціоналізації освітнього простору та формування європейського виміру якості [8].

Проте, важливим і актуальним для поширення процесів європейської інтеграції в системі вищої освіти є вивчення досвіду і досягнень інтеграції ЗВО України в європейський освітній простір, участь в освітніх програмах ЄС, виявлення обмежень міжнародного співробітництва та визначення векторів його розвитку.

Метою публікації є аналіз досвіду впровадження євроінтеграційних процесів в систему підготовки фахівців транспортної інфраструктури в Національному транспортному університеті.

Виклад основного матеріалу. Євроінтеграційні прагнення України у сфері освіти і науки відображені в реформах МОН України, які передбачають реалізацію чотирьох євроінтеграційних пріоритетів у сфері освіти і науки [9]:

- інтеграція України до Європейського дослідницького та інноваційного простору;
- активізація участі українських дослідників у наукових, науково-технічних та інноваційних програмах та ініціативах ЄС;
- розбудова системи забезпечення якості освіти і навчання відповідно до європейських стандартів та рекомендацій;
- розширення можливостей академічної мобільності для учнів, студентів, викладачів і дослідників ЄС.

Реалізація євроінтеграційних пріоритетів МОН України представлена на рис. 1.

Одним з таких напрямків є активізація співпраці у рамках поточних та майбутніх програм Еразмус+ [10].

ERASMUS+ є Європейською освітньою програмою Виконавчого агентства з питань освіти, аудіовізуальних засобів і культури Європейської Комісії (ЕАСЕА), яка пропонує три так звані «ключові дії»:

1. Сприяння мобільності (заохочення мобільності студентів, викладачів та науково-педагогічного персоналу в межах Європейського Союзу та країн-партнерів);
2. Сприяння міжнародній університетській співпраці (розробка та реалізація спільних стратегічних партнерств і проектів співпраці);
3. Підтримка політики щодо зміцнення європейських систем освіти.



Рисунок 1 – Реалізація євроінтеграційних пріоритетів Міністерства освіти та науки України

Figure 1 – Implementation of European integration priorities of the Ministry of Education and Science of Ukraine

Erasmus+ замінює сім програм, поєднуючи в собі програму Lifelong Learning – навчання упродовж життя (Erasmus, Leonardo da Vinci, Comenius, Jean Monnet та Grundtvig) програму Youth in Action (Молодь у дії) і п'ять програм міжнародної співпраці (Erasmus Mundus, Tempus, Alfa, Edulink, програма співпраці з індустріальними країнами) і нова діяльність у спорті. Erasmus+ передбачає надання грантів для широкого спектру дій та заходів в сфері освіти, професійної підготовки, молоді та спорту. Ця програма надає можливості студентам, стажерам, працівникам та волонтерам пройти стажування закордоном, щоб підвищити свою кваліфікацію та отримати гідне працевлаштування. Вона заохочує організації працювати у транснаціональному партнерстві та ділитись інноваційною практикою в сфері освіти, професійної підготовки та молоді. У сфері спорту, буде підтримка місцевих проектів і транскордонних проблем, таких як боротьба з договірними матчами, допінгом, насиллям та расизмом. Дії програми Erasmus+ поділяються на децентралізовані та централізовані дії. Децентралізовані дії управляються в кожній країні програми зі сторони Національних агентств, які назначаються національною владою. Централізовані дії керуються на європейському рівні Виконавчою Агенцією з питань освіти, аудіовізуальних засобів і культурі, розташованою в Брюсселі.

Програма Erasmus+ націлена на підвищення кваліфікації та можливості працевлаштування, а також модернізацію освіти, навчання та роботи з молоддю. Семирічна програма буде має бюджет у 14,7 мільярдів євро; її збільшення на 40% у порівнянні з поточним рівнем витрат, відображаючи прихильність Євросоюзу до інвестування в цих сферах. Дана програма надає можливості більше ніж 4 мільйонам європейців навчатись, набувати досвіду роботи та займатись волонтерством за кордоном. Erasmus+ підтримує транснаціональні партнерські відносини між закладами та організаціями освіти, професійної підготовки і молоді для зміцнення співпраці, щоб об'єднати освіту і трудову діяльність з метою усунення прогалин у навичках, з якими ми зіштовхуємось у Європі

Міжнародний аспект Erasmus+ відкриває співпрацю між країнами-членами програми та країнами-партнерами. Програмні країни: 28 держав-членів Європейського союзу; Ісландія, Ліхтенштейн та Норвегія; Туреччина та колишня Югославська республіка Македонія.

Країни-партнери*: країни Східного партнерства – Вірменія, Азербайджан, Грузія, Молдова, Україна; країни Південного Середземномор'я – Алжир, Єгипет, Ізраїль, Йорданія, Ліван, Лівія, Марокко, Палестина, Сирія, Туніс; країни Західних Балкан – Албанія, Боснія та Герцеговина, Косово, Чорногорія, Сербія, країни Центральної Азії: Казахстан, Киргизстан, Таджикистан, Туркменістан, Узбекистан; Латинська Америка; Південна Африка; країни АКТ; індустріальні країни.

Забезпечення плідної співпраці з Європейськими закладами вищої освіти, науковими установами та організаціями в рамках виконання міжнародних освітянських та наукових проектів є одним з ключових аспектів стратегії інтернаціоналізації Національного транспортного університету (п.6.1 розділу «Міжнародне співробітництво»).[14] Починаючи з 2016 року університет є офіційним учасником програми Еразмус+ за напрямом KA1 «Навчальна (академічна) мобільність». На сайті університету створено Інтернет сторінку програми, сформовано каталог курсів, що викладаються іноземною мовою, розроблено низку нормативних документів, які допомагають в ефективному здійсненні кредитної мобільності, а саме: положення про порядок реалізації права на академічну мобільність студентів; порядок конкурсного відбору кандидатів за проектами кредитної мобільності у рамках програми «Еразмус+» (KA107).

В жовтні 2017 року НТУ розпочато співробітництво з Жешувським технологічним університетом (Польща), Університетом Альмерії (Іспанія) та Університетом Пітешті (Румунія). Університет укладає міжінституційні угоди з університетами-партнерами, які передбачають реалізацію мобільності Erasmus+ між програмою та країнами-партнерами. Сторони сприяють обміну студентами для навчання в університеті-партнері, обміну академічним персоналом для викладацької та навчальної діяльності. Сторони погоджуються сприяти обміну студентами для навчання у відповідному університеті-партнері, а також обміну академічним персоналом для викладацької та навчальної діяльності. Мобільність фінансується за кошти Європейської Комісії

Предбачена кредитна мобільність адміністративного персоналу, мобільності науково-педагогічного персоналу для викладання та стажування, магістри та бакалаври отримали можливість навчатися в Жешувському технологічному університеті та Університеті Альмерії. Цей проект дозволив здійснювати академічний обмін педагогічним та навчальним досвідом, інноваційними методами навчання, підвищити кваліфікацію викладачів та студентів, розвинути ділові зв'язки між НТУ та міжнародними партнерами.

Протягом 2016-2022 років підписано 10 міжінституційних угод щодо можливості здійснення академічної мобільності студентів, викладачів та адміністративного персоналу з університетами Іспанії, Польщі, Румунії, Фінляндії, Туреччини, Хорватії, Естонії, Німеччини. Перелік партнерів НТУ приведено в табл. 1.

Університет постійно працює над розширенням міжнародних зв'язів із ЗВО-партнерами. Так, у вересні підписана міжінституційна угода з Kaunas University of Applied Sciences (Литва). Даною угодою передбачено, та вже реалізовано академічна мобільність 12 студентів та одного викладача. Термін дії угоди до 2027 року [11].

Реалізація міжінституційної угоди з Університетом сталого розвитку м. Еберсвальде (Німеччина) [12] дозволила студентам спеціальності 101 «Екологія» другого (магістерського) рівня освіти успішно пройти відбір для навчання на семестровий період з 22 вересня 2022 року по 31 грудня 2022 року за навчальною програмою Global Change Management (M.Sc.) на Faculty of Forest and Environment.

На рис. 2 представлено співвідношення між спеціальностями з яким здійснювався академічний обмін студентів. Найбільш активними є студенти спеціальності «Менеджмент» (62,5%). Співвідношення між учасниками з інших спеціальностей – 12,5% «Фінанси, банківська справа та страхування», 12,5% «Облік і аудит», 12,5% «Екологія».

Цікавим досвідом участі в міжнародних проектах і програмах є реалізація Міжнародного наукового проекту «Розробка та поширення концепції Сприяння інтеграції науки, освіти та інновацій в Національному транспортному університеті м. Київ (CIREI)». Виконавцями проекту є Університет м. Падерборн (Німеччина) та Національний транспортний університет. Підставою для виконання роботи є Спільна Заява Державного Комітету України з питань науки і технологій та Федерального Міністерства наукових досліджень і технологій Федеративної Республіки Німеччина про науково-технічні відносини від 10 червня 1993 р.; Протокол Одинадцятого засідання українсько-німецької Робочої групи з науково-технічного співробітництва від 13 липня 2016 р., додаток до Протоколу від 5 січня 2017 р., наказ Міністерства освіти і науки від 28.02.2017 р. № 329 «Про визначення основних напрямів використання бюджетних коштів відповідно до міжнародних договорів України на 2017 рік» та наказ Міністерства освіти і науки від 20 березня 2017 р. № 425 «Про фінансування спільних українсько-німецьких науково-дослідних проектів у 2017 р.».

Найбільшою у світі організацією, що фінансує міжнародний обмін студентами та дослідниками, для участі в конгресах чи лекційних турах, для досліджень чи викладання за кордоном, встановлення контактів із потенційними партнерами за кордоном, а також для конкретних проектів із міжнародними партнерами є DAAD [13]. Тільки у 2021 році профінансовано понад 134 900 німецьких

та міжнародних науковців у всьому світі. Пропозиції щодо фінансування варіюються від річного перебування за кордоном для студентів до докторських програм, від стажування до виїзних лекторів і від візитів для збору інформації до допомоги у створенні нових університетів за кордоном.

Таблиця 1 – Перелік міжнародних партнерів Національного транспортного університету
Table 1 – List of international partners of the National Transport University

	Partner University Name	Contact Person from Partner HEI	Country	Specialties of Planned Cooperation
1	Eberswalde University for Sustainable Development	International Office Vera Clauder	GERMANY	Master's degree: Forestry System Transformation, Biosphere Reserves Management, Sustainable Tourism Management, Sustainable Entrepreneurship & Social Innovation Bachelor's degree: International Forest Ecosystem Management
2	Tallinn University of Technology	MA Siyi, Project Manager at the Office of Academic Affairs, Mobility Centre	ESTONIA	Master's degree: Environmental Engineering Protection and Management, Information Systems and Software Engineering, Law. Bachelor's degree: Law
3	Kaunas University of Applied Sciences	Institutional ERASMUS+ coordinator Jolanta Valiaugiene	LITHUANIA	Bachelor's degree: Management, Tourism, Sales and Marketing, Law, Computer Sciences, Engineering Sciences, Technology Sciences
4	Rzeszów University of Technology	Grzegorz Ostasz Vice-rector for International Relations	POLAND	Bachelor's and Master's degree: Management, Machine Building
5	Wyższa Szkoła Biznesu w Dąbrowie Górniczej	URGACZ Paweł Director of International Cooperation	POLAND	Bachelor's degree: Management
6	University of Pitești	SOARE Emanuel Vice-rector for International Relations	ROMANIA	Bachelor's degree: Business and administration
7	Banat University of Agricultural Science and Veterinary Medicine	RAȚĂ Georgeta Erasmus+ Institutional Coordinator	ROMANIA	Bachelor's degree: Management, Ecology, Engineering, Production and Construction
8	Universidad de Almería	CUEVAS GONZÁLEZ Vice-Chancellor of Internationalization	SPAIN	Bachelor's degree: Accounting and taxation; Finance, banking, insurance; Management and administration; Languages (English and Spanish)
9	Universitat Politècnica de València	Prof. Juan Miguel Martínez Rubio Head Of The Rector's Office	SPAIN	Bachelor's degree: Engineering (all fields of study) Master's degree: Engineering (all fields of study)
10	Kahramanmaraş Sütcu Imam University	Enver ORHAN Institutional Erasmus Coordinator	TURKEY	Bachelor's degree: Business Administration, Economics, Logistics, Machine Building, Civil Engineering, Electronics Engineering, Informatics



Рисунок 2 – Співвідношення між різними спеціальностями в програмах академічного обміну (%)
Figure 2 – Ratio between different specialties in academic exchange programs (%)

На рис. 3 приведено співвідношення між учасниками програм академічного обміну – студентів 55%, викладачів 25% і 17% академічного персоналу.

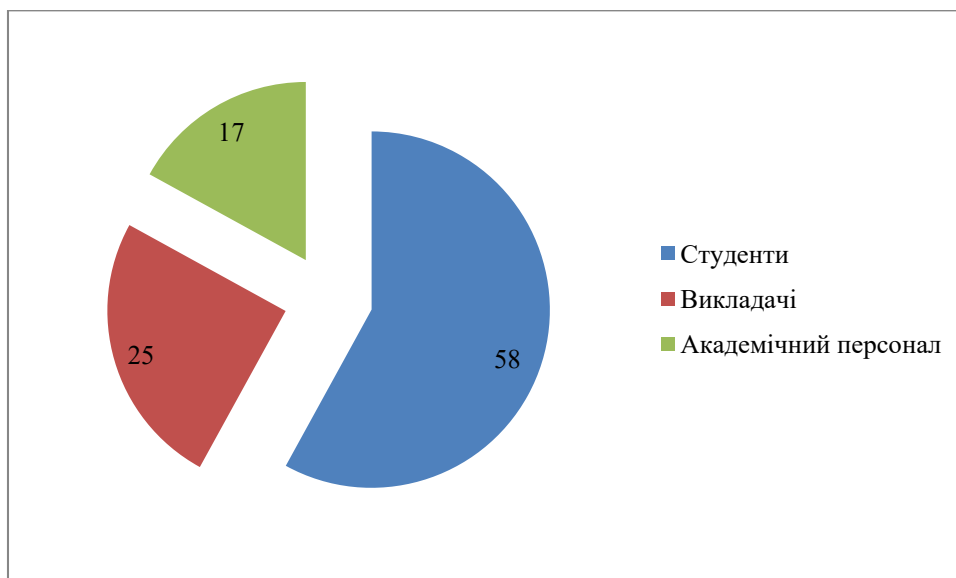


Рисунок 3 – Співвідношення між учасниками програм академічного обміну (%)
Figure 3 – Ratio between participants of academic exchange programs (%)

Прикладом таких проектів, що реалізуються в Національному транспортному університеті у співдружності з Університетом сталого розвитку м.Еберсвальд (Німеччина) є проект «Eastern Europe in the VUCA World Transboundary Learning in UNESCO Biosphere Regions for Sustainable Development under Global Change and Increasing Uncertainty» (Східна Європа у світі VUCA – транскордонне навчання в біосферних регіонах ЮНЕСКО для сталого розвитку в умовах глобальних змін і зростаючої невизначеності), що реалізується в рамках програми DAAD East-West Dialogue programme (2020 р.) [2], термін виконання проекту: 1.01.2020 – 31.12.2020.

В цьому проекті прийняли участь студенти та викладачі Національного транспортного університету. Це тільки початок співпраці. Деякі результати проекту наведено на рис. 4.

В рамках програми DAAD East-West Dialogue programme (2021 р.) реалізувався проект «Transnational Biosphere Forests Cooperative learning in UNESCO biosphere regions for conflict prevention and sustainable transformation» (Транснаціональні біосферні ліси – Спільне навчання в біосферних регіонах ЮНЕСКО для запобігання конфліктам і стійкої трансформації).

Проект впроваджувався з метою сприяння транскордонному та міжнародному обміну знаннями щодо результатів досліджень і підходів до управління природними ресурсами, які базуються на екосистемах і адаптуються до зміни клімату, з акцентом на лісові екосистеми.

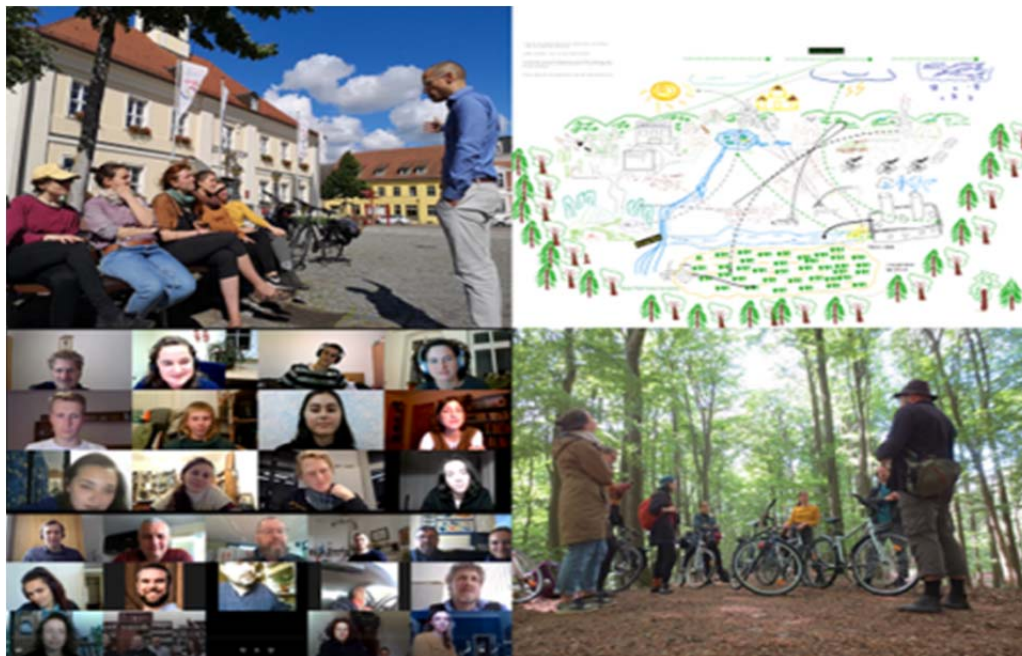


Рисунок 4 – Деякі результати проекту Eastern Europe in the VUCA World Transboundary Learning in UNESCO Biosphere Regions for Sustainable Development under Global Change and Increasing Uncertainty

Figure 4 – Some results of the project Eastern Europe in the VUCA World Transboundary Learning in UNESCO Biosphere Regions for Sustainable Development under Global Change and Increasing Uncertainty

Проект ґрунтується на 5 попередніх проектах у програмі DAAD East-West-Dialogue і ще більше зміцнив партнерську співпрацю. Стійка трансформація соціально-екологічних систем в Україні та Молдові є необхідною та потребує постійних процесів діалогу та співпраці. Цей проект мав на меті продовжувати професійно підтримувати та супроводжувати відповідні процеси. Національний транспортний університет був партнером в цьому проекті. Період якого був: 01.01.2021 – 31.12.2021. На рис. 5 приведено окремі результати проекту.

У 2022 році започатковано проект «Transnational Biosphere Forests 2022 – Cooperative learning in UNESCO biosphere regions for conflict prevention and sustainable transformation» програми «East-West Dialogue. Academic Exchange and Scientific Cooperation for Security, Cooperation and Civil Society Development in Europe 2022».

Партнерами проекту виступили: Національний лісотехнічний університет України (УНФУ), м. Львів; Національний транспортний університет (НТУ), Київ (Україна); Карпатський біосферний заповідник (КБЗ), м. Рахів (Україна); Державний університет Республіки Молдова (МГУ); Біосферний заповідник Дельта Дунаю (DDBR), Тулча (Румунія); Громадська організація Green East Corridor (GEC), Галац (Румунія); Місто Ангермюнде (Німеччина); Тюрінгський лісовий біосферний заповідник (Німеччина). Зміст його зосереджено на розгляді оновленої концепції біосферного резервату ЮНЕСКО на основі Лімського плану дій програми «Людина і біосфера». Проект передбачав здійснення двох восьмиденних подорожей. Одна навчальна поїздка до Західної України з німецькими студентами магістратури та бакалавра HNEE, а також українськими та молдовськими студентами університетів-партнерів. Друга подорож передбачалась до Кишинева, де групу приймуть партнери Молдавського державного університету. У програмі були передбачено зупинки – Буковий заповідник Плайул Фагулуй, Біосферний регіон «Нижній Прут», Біосферний регіон дельти Дунаю.



Рисунок 5 – Деякі фрагменти проекту Transnational Biosphere Forests Cooperative learning in UNESCO biosphere regions for conflict prevention and sustainable transformation
Figure 5 – Some fragments of the project Transnational Biosphere Forests Cooperative learning in UNESCO biosphere regions for conflict prevention and sustainable transformation

В рамках програми Ukraine digital: Ensuring academic success in times of crisis (2022) розпочато реалізацію проекту «Ukrainian German Teaching Network for a Digital Transformation of Environmental Education». Основні характеристики проекту представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Основні характеристики проекту «Ukrainian German Teaching Network for a Digital Transformation of Environmental Education»

Table 2 – Main characteristics of the project «Ukrainian German Teaching Network for a Digital Transformation of Environmental Education»

Funding programme:	Ukraine digital: Ensuring academic success in times of crisis (2022)
Project name	Ukrainian German Teaching Network for a Digital Transformation of Environmental Education
Applicant institution	Eberswalde University for Sustainable Development (HNEE)
Programme objective(s). Programme objectives are pre-specified and must not be changed	
Programme objective 1	The need for virtual teaching for ongoing courses in Ukraine has been determined.
Programme objective 2	Virtual courses are expanded, offered, and used by students.
Programme objective 3	Ukrainian scientists/researchers and lecturers of higher education institutions, especially those who have fled, are involved in the courses.
Programme objective 4	The expertise and structural framework for further digitalization of the participating German and Ukrainian higher education institutions are available and can be used for the development of further joint virtual and Ukrainian virtual courses as well as for the reconstruction of the higher education institutions.

Метою проекту є розробка та покращення досвіду цифрового навчання для існуючих курсів, які зазвичай пропонуються в програмах з екологічних наук в українських установах-партнерах для освітніх програм (табл.3).

Реалізація проекту відбувається з 1 вересня 2022 року по 31 грудня 2022 року на підставі поставлених задач.

Таблиця 3 – Освітні програми проекту «Ukrainian German Teaching Network for a Digital Transformation of Environmental Education»

Table 3 – Educational programs of the project «Ukrainian German Teaching Network for a Digital Transformation of Environmental Education»

	Спеціальність	Освітня програма	Рівень вищої освіти
1	101 Екологія	Екологія	Перший (бакалаврський)
2	183 Технології захисту навколишнього середовища	Екологічна інженерія транспортної діяльності	Перший (бакалаврський)
3	101 Екологія	Екологія	Другий (магістерський)

Задачі проекту:

1. Аналіз поточного стану та оцінка потреб у цифрових викладацьких і навчальних компетенціях для освітніх програм з екології в Україні, щоб протистояти зовнішнім впливам і забезпечити безперервну високоякісну освіту.

2. Розробка спільної концепції для оцифрування вибраних курсів/змісту, які пропонуються в програмах з екології українських та німецьких партнерів, за допомогою існуючих технологій дистанційного та електронного навчання в німецькому партнерському закладі.

3. Впровадження та модернізація навчальних курсів для освітніх програм з екології в контексті європейських практик та проблем соціально-економічного та екологічного сталого розвитку в Україні на основі досвіду Університету сталого розвитку.

4. Розширення професійних компетенцій українських викладачів щодо концепцій та засобів дистанційного та електронного навчання та вдосконалення їхніх комунікативних навичок під час викладання іноземними мовами (наприклад, англійською).

5. Запровадження навчальних курсів за освітніми програмами з екології іноземною мовою для підвищення професійних компетенцій студентів та їх здатності до іншомовного спілкування у професійній сфері.

6. Посилення міждисциплінарної та міжнародної співпраці між установами-партнерами на різних рівнях та налагодження індивідуального обміну на тему цифрової трансформації в програмах вищої освіти.

Запропоновані курси та їх узгодженість з міжнародними програмами приведено в табл.4.

Таблиця 4 – Запропоновані курси та їх узгодженість з міжнародними програмами

Table 4 – Offered courses and their consistency with international programs

Course title (lecturer, university)	Extension course (HNEE)
Methods of Environmental Information Processing	Data and Statistics in Forestry (FIT)
Environmental Impact Assessment	Adaptive Ecosystem Management (IFEM)
Geoecological Informatics	Communication and Team Work for Sustainable Development (IFEM)

Отримана освітня пропозиція розширена вибраними курсами, які зараз викладаються в міжнародних програмах Forest Information Technology (MSc.) and International Forest Ecosystem Management (BSc.). Таким чином підтримується неперервна освіта, вирішуються вищезазначені виклики цифровізації та кризи в Україні та посилюється інтернаціоналізація відповідних навчальних програм. Концепція проекту передбачає використання LMS Moodle у HNEE, а також додаткового обладнання та технічних ресурсів, доступних у Digital Learning Lab HNEE. Університет-партнер служить інтерфейсом і підтримує концептуальний дизайн і впровадження високоякісних цифрових навчальних матеріалів для обраних спільних курсів.

Висновки та рекомендації. У Національному транспортному університеті розпочато активні євроінтеграційні процеси, реалізуються різні види міжнародних проектів та програм. Найбільш поширеними є проекти Еразмус+ за напрямом KA1 «Навчальна (академічна) мобільність». В рамках цих проектів викладачі, студенти та академічний персонал мають можливість обміну студентами для навчання в університеті-партнері, обміну академічним персоналом для викладацької та навчальної діяльності. В той самий час, до участі в цих програмах залучаються викладачі та студенти невеликої кількості освітніх програм. В університеті прослідковується недостатня активність як викладачів, так

і студентів. Позитивним досвідом є реалізація проектів програми DAAD для міжнародного обміну студентами та дослідниками, для участі в конгресах та лекційних турах, для досліджень або викладання за кордоном, встановлення контактів із потенційними партнерами на майбутнє для конкретних проектів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Проблеми і тенденції розвитку вищої освіти постійно знаходяться в полі зору європейських дослідників. Інтеграція в європейський освітній простір: здобутки, проблеми, перспективи: Монографія / За заг. ред. Ф.Г. Ващука. – Ужгород: ЗакДУ, 2011. – 560 с.
2. Моїсєєва Ф.А., Усачов В.А. Європейська інтеграція вищої освіти України в контексті болонського процесу. «Наука. Релігія. Суспільство» 2014 № 1 36-40 с.
3. Антонюк В. Інтеграція вищої освіти України в Європейський освітній простір для розвитку людського капіталу. Журнал Європейської економіки. Том 20. No 3 (78). Липень–вересень 2021 – 573 – 593 с
4. Хан Є. Інтеграція України у європейський простір вищої освіти як складова цивілізаційного вибору. *Вісник Київ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. Історія*. 2015. № 3 (126). С. 54-57.
5. Турута О. В., Жидкова О. О. Модернізація системи вищої освіти як необхідна складова частина інтеграції України в європейський освітній простір. *Інноваційна педагогіка*. 2019. Вип. 10. Т. 2. С. 181-183.
6. Натрошвілі Г. Р. Проблеми та перспективи розвитку системи вищої освіти в країнах ЄС. *Modern Science – Moderni veda*. 2020. № 3. С. 113-118.
7. Національна доповідь про стан і перспективи розвитку освіти в Україні / Нац. акад. пед. наук України ; за заг. ред. В. Г. Кременя. Київ : Педагогічна думка, 2016. 448 с.
8. Сбруєва А. А., Єременко І. В. Формування європейського виміру забезпечення якості вищої освіти в контексті інтернаціоналізації освітнього простору: монографія / за заг. ред. А. А. Сбруєвої. Суми: Вид-во СумДПУ імені А. С. Макаренка. 2019. 254 с.
9. Реформи МОН, направлені на Євроінтеграцію України. <https://mon.gov.ua/ua/news/reformi-mon-nappravleni-na-yevrointegraciyu-ukrayini-sergij-shkarlet>
10. <https://erasmusplus.org.ua/>
11. Kaunas University of Applied Sciences. <https://www.kaunokolegija.lt/en/support-for-ukraine/>
12. Eberswalde University for Sustainable Development <https://www.hnee.de>
13. Німцька служба академічних обмінів <https://www.daad-ukraine.org/uk/>
14. Стратегія інтернаціоналізації Національного транспортного університету, НТУ, 2018 р.

REFERENCES

1. Problems and trends in the development of higher education are constantly in the field of view of European researchers. Integration into the European educational space: achievements, problems, prospects: Monograph / General. ed. F.G. Vashchuk – Uzhgorod: State University of Applied Sciences, 2011. – 560 p.
2. Moiseyeva F.A., Usachev V.A. European integration of higher education of Ukraine in the context of the Bologna process. «Science. Religion. Society» 2014 No. 1 36-40 p.
3. Antonyuk V. Integration of higher education of Ukraine into the European educational space for the development of human capital. Journal of European Economy. Volume 20. No. 3 (78). July–September 2021 – 573 – 593 c
4. Khan E. Integration of Ukraine into the European space of higher education as a component of civilizational choice. Visnyk Kyiv. national University named after Taras Shevchenko. History. 2015. No. 3 (126). P. 54-57.
5. Turuta O. V., Zhidkova O. O. Modernization of the higher education system as a necessary component of Ukraine's integration into the European educational space. Innovative pedagogy. 2019. Issue 10. Vol. 2. P. 181-183.
6. Natroshvili G. R. Problems and prospects of the development of the higher education system in EU countries. Modern Science – Moderni veda. 2020. No. 3. P. 113-118.
7. National report on the state and prospects of education development in Ukraine / Nat. Acad. ped. Sciences of Ukraine; in general ed. V. G. Kremenya. Kyiv: Pedagogical thought, 2016. 448 p.
8. Sbruyeva A. A., Eremenko I. V. Formation of the European dimension of quality assurance of higher education in the context of the internationalization of the educational space: monograph / by general. ed. A. A. Sbruyeva. Sumy: Publication of the Sumy DPU named after A. S. Makarenko. 2019. 254 p.
9. Reforms of the Ministry of Education and Culture aimed at the European integration of Ukraine. <https://mon.gov.ua/ua/news/reformi-mon-nappravleni-na-yevrointegraciyu-ukrayini-sergij-shkarlet>

10. <https://erasmusplus.org.ua/>
11. Kaunas University of Applied Sciences. <https://www.kaunokolegija.lt/en/support-for-ukraine/>
12. Eberswalde University for Sustainable Development <https://www.hnee.de>
13. German Academic Exchange Service <https://www.daad-ukraine.org/uk/>
14. Internationalization strategy of the National University of Transport, NTU, 2018.

РЕФЕРАТ

Гришук О.К. Євроінтеграційні процеси при підготовці фахівців транспортної галузі. Досвід та перспективи / О.К. Гришук, О.С. Славінська, В.О. Хрутьба, А.В. Севост'янова // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

В статті проаналізовано та узагальнено процеси та різні види міжнародних проектів та програм, що реалізуються в Національному транспортному університеті та мають на меті впровадження європейського досвіду в наукові та освітні процеси.

Об'єкт дослідження – процес впровадження євроінтеграційного досвіду в систему підготовки фахівців транспортної інфраструктури в Національному транспортному університеті.

Мета роботи – є аналіз досвіду впровадження євроінтеграційних процесів в систему підготовки фахівців транспортної інфраструктури в Національному транспортному університеті.

Методи дослідження – загальнонаукові.

Для відбудови економіки України, досягнення стабільного економічного розвитку та підвищення рівня життя і добробуту населення, пріоритетним є вектор європейського розвитку. Україна є пріоритетним партнером Європейського Союзу. 23 червня 2022 року Рада Європейського союзу надала Україні статус кандидата на членство в ЄС, що не тільки відкрило нові можливості для активного співробітництва у різних сферах економіки, а й визначило вимоги щодо інтеграції нашої держави у європейське співтовариство. Транспортна галузь є значущим і важливим сегментом економіки країни, одним зі способів зв'язку між галузями, підприємствами, регіонами держави, зарубіжними країнами. Сприяння інтеграції та модернізації транспортної галузі України та окремих підсекторів, оновлення Національної транспортної стратегії України відповідно до законодавства, стандартів і вимог ЄС та сприяння у її подальшій імплементації в умовах глобальних інтеграційних процесів.

Євроінтеграція як стратегічний напрямок розвитку країни зумовлює перебіг не тільки економічних, соціальних процесів, які відбуваються в країні, але й освітніх. Вища освіта є ключовим фактором подальшої європейської інтеграції України. В той самий час, реалізація євроінтеграційних процесів в окремих закладах вищої освіти має свої особливості та потребує додаткових досліджень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЄВРОІНТЕГРАЦІЯ, ОСВІТА, СИСТЕМА ВИЩОЇ ОСВІТИ, ІНТЕРНАЦІОНАЛІЗАЦІЯ.

ABSTRACT

Grischuk O.K., Slavinska O.S., Khrutba V.O., Sevostianova A.V. European integration processes in the training of specialists in the transport industry. Experience and prospects. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The article analyzes and summarizes the processes and various types of international projects and programs implemented at the National Transport University and aimed at introducing European experience into scientific and educational processes.

The object of the study is the process of introducing European integration experience into the system of training transport infrastructure specialists at the National Transport University.

The purpose of the work is to analyze the experience of implementing European integration processes into the system of training transport infrastructure specialists at the National Transport University.

Research methods are general scientific.

To rebuild the economy of Ukraine, achieve stable economic development and increase the standard of living and well-being of the population, the European development vector is a priority. Ukraine is a priority partner of the European Union. On June 23, 2022, the Council of the European Union granted Ukraine the status of a candidate for EU membership, which not only opened up new opportunities for active cooperation in various spheres of the economy, but also determined the requirements for the integration of our state into the European community. The transport industry is a significant and important segment of the country's economy, one of the ways of communication between industries, enterprises, regions of the state,

and foreign countries. Promoting the integration and modernization of the transport industry of Ukraine and individual sub-sectors, updating the National Transport Strategy of Ukraine in accordance with EU legislation, standards and requirements and assisting in its further implementation in the context of global integration processes.

European integration as a strategic direction of the country's development determines the course of not only economic and social processes taking place in the country, but also educational ones. Higher education is a key factor in further European integration of Ukraine. At the same time, the implementation of European integration processes in individual institutions of higher education has its own characteristics and requires additional research.

KEY WORDS: EUROINTEGRATION, EDUCATION, HIGHER EDUCATION SYSTEM, INTERNATIONALIZATION.

АВТОРИ:

Гришук Олександр Казимирович, кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, перший проректор, e-mail: gryshchuk@ntu.edu.ua, тел. (044)280-46-67, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к. 328, orcid.org/0000-0003-2993-5566.

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

Хрутьба Вікторія Олександрівна, доктор технічних наук, Національний транспортний університет, завідувач кафедри екології та безпеки життєдіяльності, e-mail: viktoriia.khrutba@gmail.com, тел. +380992621097, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. ОмеляновичаПавленко 1, 0000-0002-8121-2042

Севост'янова Аліна Валеріївна, доктор філософії, доцент кафедри транспортного права та логістики, Національний транспортний університет, e-mail: sevestianova1607@gmail.com, тел.: (+38 044) 254-43-26, 01010, Україна, Київ, вул. М. Омеляновича-Павленко, 1, оф. 439, orcid.org/0000-0002-7693-0648

AUTHOR:

Gryshchuk Olexandr, Ph.D., Engineering, professor, National Transport University, First Vice-Rector, e-mail: gryshchuk@ntu.edu.ua, tel. (044)280-46-67, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka str. 1, of. 328, orcid.org/0000-0003-2993-5566.

Slavinska Olena S., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, ViceRector 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

Khrutba Viktoriia, doctor oh the technical sciences, professor, National Transport University, the head of the department of ecology and life safety, e-mail: viktoriia.khrutba@gmail.com, tel. +380992621097, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka str. 1, orcid.org/0000-0002-8121-2042

Sevastianova Alina, Doctor of Philosophy, Associate Professor of the Department of Transport Law and Logistics, National Transport University, e-mail: sevestianova1607@gmail.com, tel. : (+38 044) 254-43-26, 01010, Ukraine, Kyiv, street M. Omelyanovich-Pavlenko, 1, of. 439, orcid.org/0000-0002-7693-0648

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Данченко О. Б., доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних наук та системного аналізу Черкаського державного технологічного університету, Черкаси, Україна.

Мельниченко О.І., кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства Національного транспортного університету, Київ, Україна

REVIEWER:

Danchenko O. B., Ph.D., Technical (Dr.), Associate Professor, Professor of Computer Science and Systems Analysis of Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine.

Melnychenko O.I., Candidate of Science in Engineering, Head of the Department of Production, Repair and Materials Science of the National Transport University, Kyiv, Ukraine

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ У СФЕРІ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ СТАЛОГО МІСТА

Гульчак О.Д., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, hulchakoksana@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8186-4529

Точигін М.О., Національний транспортний університет, Київ, Україна, tochyginph.d@gmail.com, orcid.org/0009-0001-8630-8545

ANALYSIS OF RESEARCH IN THE FIELD OF FREIGHT TRANSPORT IN THE CONDITIONS OF A SUSTAINABLE CITY

Hulchak O.D., Ph.D, National Transport University, Kyiv, Ukraine, hulchakoksana@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8186-4529

Tochyhin M.O., National Transport University, Kyiv, Ukraine, tochyginph.d@gmail.com, orcid.org/0009-0001-8630-8545

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Посилення урбанізації та зростання міст спричинили численні проблеми, пов'язані із наданням транспортних послуг в містах. Вантажні перевезення, зокрема, були визначені як один з факторів, що сприяє виникненню заторових ситуацій, забрудненню повітря та викидам парникових газів. У цій статті подано огляд досліджень вантажних перевезень в умовах сталого міста. Аналіз включає дослідження впливу вантажного транспорту на навколишнє середовище, міську мобільність і якість життя. Крім того, у статті обговорюються різні заходи, стратегії та практики, запропоновані для вирішення проблем вантажних перевезень у стійких містах.

Тема аналізу досліджень у сфері вантажних перевезень в умовах сталого міста є дуже актуальною в сучасному світі. Зі стрімким зростанням урбанізації міста стикаються з дедалі більшим тиском щодо вирішення проблем сталого розвитку та зменшення свого впливу на навколишнє середовище. Вантажні перевезення є критично важливим компонентом міської логістики та ланцюгів поставок, але вони також роблять значний внесок у затори на дорогах, забруднення повітря та викиди парникових газів. Таким чином, існує потреба вивчити шляхи підвищення стійкості вантажних перевезень у міських районах.

Актуальність цієї теми ще більше підкреслюється глобальною кліматичною кризою, яка призвела до більшого наголосу на скороченні викидів вуглекислого газу та переході до більш екологічних видів транспорту. Уряди, підприємства та інші зацікавлені сторони все більше визнають важливість екологічних вантажних перевезень як засобу досягнення цих цілей. Крім того, пандемія COVID-19 підкреслила критичну роль вантажних перевезень у підтримці основних послуг і забезпеченні доступності товарів і матеріалів. Це ще більше підкреслило потребу в стійких рішеннях для вантажних перевезень, які можуть відповідати викликам міської логістики, а також зменшувати їхній вплив на навколишнє середовище.

Проблема, яка розглядається в аналізі досліджень вантажних перевезень в умовах сталого міста, полягає в необхідності збалансувати економічне зростання та екологічні та соціальні наслідки вантажних перевезень. Вантажні перевезення мають важливе значення для функціонування сучасних міст, але вони також мають значні екологічні та соціальні наслідки, такі як забруднення повітря та шум, викиди парникових газів та затори на дорогах. Ці наслідки негативно впливають на здоров'я населення та сприяють зміні клімату. Сталі вантажні перевезення спрямовані на пом'якшення цих впливів, зберігаючи при цьому економічні переваги вантажних перевезень. Однак реалізація практики екологічних вантажних перевезень стикається з кількома проблемами, зокрема скороченням викидів парникових газів, зменшенням заторів на дорогах і зменшенням шумового забруднення. Таким чином, проблема полягає в тому, як просувати сталий вантажний транспорт у містах, щоб пом'якшити ці наслідки, зберігаючи економічне зростання.

Мета статті. Загалом, аналіз досліджень у сфері вантажних перевезень в умовах сталого міста є дуже актуальним і своєчасним, оскільки він може інформувати про політичні рішення, спрямовувати розвиток стійких транспортних систем і сприяти переходу до більш сталого майбутнього.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зростає кількість досліджень на тему вантажного транспорту в контексті сталого розвитку міст. Одне нещодавнє дослідження, опубліковане в журналі «Transportation Research Procedia» [Ошибка! Источник ссылки не найден.], проаналізувало проблеми та можливості сталого міського вантажного транспорту. Дослідження підкреслило потребу в більш ефективних і стійких видах транспорту, таких як електромобілі та велосипеди, щоб зменшити вплив міського вантажного транспорту на навколишнє середовище.

Інше дослідження, опубліковане в журналі «Sustainability» [Ошибка! Источник ссылки не найден.], проаналізувало потенційні переваги консолідації вантажів у міських районах. Дослідження показало, що центри консолідації можуть значно зменшити кількість вантажних транспортних засобів на дорозі, що призводить до зменшення викидів і заторів.

У дослідженні, опублікованому в «Journal of Cleaner Production» [Ошибка! Источник ссылки не найден.], розглядається роль екологічної логістики в екологічно безпечному міському вантажному транспорті. Дослідження показало, що практики екологічної логістики, такі як оптимізація маршрутів і спільне використання транспортних засобів, можуть значно зменшити вплив міських вантажних перевезень на навколишнє середовище.

Ще одна нещодавня публікація в журналі Transportation Research Part D: Transport and Environment [Ошибка! Источник ссылки не найден.] зосереджена на використанні альтернативних видів палива в міських вантажних перевезеннях. Дослідження показало, що альтернативні види палива, такі як біодизель і стиснений природний газ, можуть значно скоротити викиди від міського вантажного транспорту.

Нарешті, дослідження, опубліковане в Journal of Transport Geography [Ошибка! Источник ссылки не найден.], розглядає вплив електронної комерції на міські вантажні перевезення. Дослідження показало, що зростання електронної комерції призвело до збільшення кількості транспортних засобів доставки на дорогах, але консолідація та оптимізація маршрутів можуть допомогти пом'якшити вплив електронної комерції на навколишнє середовище.

Загалом ці дослідження підкреслюють важливість сталого міського вантажного транспорту та потребу в більш ефективних і екологічно чистих способах транспорту. Вони також підкреслюють важливість інноваційних рішень, таких як консолідаційні центри та практики зеленої логістики, для зменшення впливу міського вантажного транспорту на навколишнє середовище.

Постановка завдання. Завдання – провести аналіз сучасних досліджень у сфері вантажних перевезень у контексті сталого міста. Цей аналіз має включати огляд існуючої літератури та досліджень на цю тему, а також визначення ключових тенденцій, проблем і можливостей, пов'язаних із сталим вантажним транспортом у міських районах.

Аналіз також повинен враховувати різні фактори, які впливають на стійкість вантажних перевезень, такі як викиди, затори, безпека та доступність. Крім того, аналіз має вивчити потенційні рішення та найкращі практики для сприяння стійкому вантажному транспорту в містах, наприклад використання альтернативних видів палива, інтелектуальних транспортних систем і спільної логістики.

Загалом, мета цього аналізу полягає в тому, щоб отримати уявлення про поточний стан досліджень сталого вантажного транспорту в міських районах, а також визначити можливості для подальших досліджень та інновацій у цій галузі. Зрештою, цей аналіз допоможе поінформувати політиків, зацікавлених сторін у галузі та дослідників про шляхи створення більш стійких та ефективних систем вантажного транспорту в містах.

Виклад основного матеріалу. Останніми роками зростає інтерес до теми вантажних перевезень у стійких містах, оскільки міські райони стикаються з такими проблемами, як затори, забруднення повітря та викиди парникових газів. У результаті було проведено численні дослідження для аналізу та вивчення потенційних рішень для вирішення цих проблем.

Наукові результати в цій галузі зазвичай отримують за допомогою суворих методів дослідження, таких як емпіричні дослідження, моделювання та методи моделювання. Дослідники використовують ці методи для збору даних про різні аспекти вантажних перевезень, включаючи викиди транспортних засобів, транспортні потоки та логістику ланцюга поставок, серед іншого.

Аналіз цих даних дозволяє дослідникам визначати закономірності та тенденції в секторі вантажних перевезень і розробляти стратегії для підвищення стійкості. Ці стратегії можуть включати використання електричних або гібридних транспортних засобів, оптимізацію маршрутів доставки та впровадження розумних систем логістики.

Щоб переконатися в достовірності та надійності своїх висновків, дослідники зазвичай використовують статистичні методи для аналізу даних і перевірки своїх гіпотез. Вони також можуть

проводити аналізи чутливості, щоб оцінити стійкість своїх результатів і оцінити потенційний вплив різних припущень і сценаріїв.

Загалом наукові результати у сфері вантажних перевезень у стійких містах дають цінну інформацію про виклики та можливості, з якими стикається транспортний сектор. Ці результати можуть інформувати про політичні рішення та керувати розвитком стійких транспортних систем, які відповідають потребам міських територій, мінімізуючи їхній вплив на навколишнє середовище.

Наукові дослідження та звіти, пов'язані зі стійким вантажним транспортом у міських районах, включаючи емпіричні дослідження, методи моделювання та симуляції.

Приклади дослідницьких досліджень та звітів, пов'язаних із стійким вантажним транспортом у міських районах:

«Сталий міський вантажний транспорт: огляд поточних практик, ініціатив та майбутніх перспектив» Oded Cats et al [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. У цьому документі надається огляд стійких практик та ініціатив міського вантажного транспорту та визначає сфери для майбутніх досліджень. У статті автори визначили кілька проблем, пов'язаних із міським вантажним транспортом, зокрема забруднення повітря та шумове забруднення, затори на дорогах, неефективне використання транспортних засобів та негативний вплив на життєздатність міських територій. Щоб вирішити ці проблеми, автори запропонували низку рішень, включаючи використання альтернативних видів палива та технологій, таких як електромобілі та вантажні велосипеди, оптимізацію логістики та маршрутизації, консолідацію вантажів, а також розробку політики та правил міських вантажних перевезень. Автори також підкреслили важливість співпраці між зацікавленими сторонами, включаючи уряди, підприємства та громади, для досягнення сталого міського вантажного транспорту.

«Огляд міських логістичних втручань у європейських містах» Марії Алонсо-Гонзалес та ін [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. У цьому дослідженні аналізується ефективність різних логістичних втручань міста, таких як зони з низькою викидом та міські консолідаційні центри, у зменшенні впливу навколишнього середовища міського вантажного транспорту. У статті автори визначили кілька проблем, пов'язаних з міською логістикою в європейських містах. Ці проблеми включають затори та проблеми, пов'язані з дорожнім рухом, вплив на навколишнє середовище, наприклад, шум і забруднення повітря, а також виклики, пов'язані з доставкою «останньої милі» та розподілом товарів у міських районах.

Для вирішення цих проблем автори запропонували кілька рішень, серед яких просування сталих видів транспорту, таких як ходьба, їзда на велосипеді та громадський транспорт як для пасажирів, так і для вантажів, розробка планів і правил міських вантажних перевезень, використання екологічно чистих і більш ефективних транспортних засобів, консолідація вантажів і оптимізація логістики і транспортних перевезень. Автори також підкреслили важливість співпраці та залучення зацікавлених сторін, включаючи діалог між органами державної влади, приватними компаніями та місцевими громадами, для досягнення сталих рішень у сфері міської логістики.

«Електричні транспортні засоби для міського вантажу: огляд європейського контексту політики» Рейчел Алдред та ін [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Цей звіт вивчає контекст політики для електромобілів у міському вантажному транспорті в Європі та визначає бар'єри та можливості для їх прийняття. У статті автори визначили кілька проблем, пов'язаних з міським вантажним транспортом, таких як забруднення повітря і шум, спричинені традиційними транспортними засобами, що працюють на дизельному паливі, затори на дорогах і відсутність зарядної інфраструктури для електромобілів (EV).

Для вирішення цих проблем автори запропонували кілька рішень, включаючи просування політики і нормативних актів, які заохочують використання електромобілів у міському вантажному транспорті, розвиток зарядної інфраструктури для електромобілів, а також надання фінансових стимулів для підтримки придбання та експлуатації електромобілів вантажними операторами. Автори також підкреслили важливість взаємодії із зацікавленими сторонами, включаючи політиків, вантажних операторів і місцеві громади, у розробці та впровадженні рішень для сталого розвитку міського вантажного транспорту.

У статті також обговорюються потенційні переваги електромобілів у міському вантажному транспорті, включаючи зниження рівня викидів і шумового забруднення, зниження експлуатаційних витрат і підвищення енергоефективності. Однак автори відзначили, що на шляху впровадження електромобілів залишаються проблеми, такі як висока вартість придбання і обмежений діапазон, і підкреслили необхідність постійних досліджень і розробок для вирішення цих проблем.

«Моделювання міських систем розподілу вантажів: огляд» Тома ван Лієра та ін [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. У цьому документі розглядається методи моделювання для систем розподілу міських вантажів, включаючи моделі мікросимуляції та оптимізації, а також визначає прогалини та можливості для майбутніх досліджень. У статті автори визначили кілька проблем, пов'язаних з міськими системами розподілу вантажів, таких як зростаюча урбанізація, затори на дорогах та забруднення повітря, спричинене вантажним транспортом.

Для вирішення цих проблем автори запропонували кілька рішень, включаючи оптимізацію міських систем розподілу вантажів шляхом використання інтелектуальних транспортних систем, просування екологічно чистих видів транспорту, таких як їзда на велосипеді і піша ходьба, а також впровадження інноваційних методів доставки, таких як мікророзподільчі центри і міські центри консолідації. Автори також підкреслили важливість співпраці та залучення зацікавлених сторін, в тому числі операторів вантажних перевезень, політиків і місцевих громад, до розробки та впровадження рішень щодо сталого розподілу вантажів у містах.

У статті також обговорюється важливість моделювання для розуміння та оптимізації систем розподілу вантажів у містах, а також розглядаються різні методи та інструменти моделювання, які використовуються в літературі. Автори підкреслили потребу в більш точних і надійних моделях, які можуть відображати складні взаємодії між різними факторами, що впливають на розподіл вантажів у місті, такими як структура попиту, маршрути транспортних засобів і вплив на навколишнє середовище, для підтримки ефективного прийняття рішень у плануванні та управлінні міськими вантажними перевезеннями.

«Розумна логістика для розумних міст: огляд тенденцій, водіїв та викликів» Раві Шанкар та ін [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. У цьому звіті вивчається використання розумних логістичних рішень у міському вантажному транспорті, включаючи використання таких технологій, як датчики та аналітика даних, та визначає проблеми та можливості для їх впровадження. У статті автори визначили кілька проблем, пов'язаних з міською логістикою, таких як зростаюча урбанізація, затори, забруднення повітря, шумове забруднення та неефективне використання ресурсів.

Для вирішення цих проблем автори запропонували кілька рішень, включаючи впровадження технологій і практик розумної логістики, таких як аналіз великих даних, інтернет речей (IoT), автоматизація та штучний інтелект, для оптимізації логістичних операцій і підвищення ефективності використання ресурсів. Автори також підкреслили важливість співпраці між зацікавленими сторонами, включаючи постачальників логістичних послуг, муніципалітети та клієнтів, для просування сталих логістичних практик та зменшення впливу на навколишнє середовище.

Крім того, автори обговорили важливість політичних заходів для просування сталої міської логістики, таких як плата за затори, створення зон з низьким рівнем викидів, а також стимули для використання екологічно чистих транспортних засобів та альтернативних видів транспорту. Вони також підкреслили роль державно-приватного партнерства та інноваційних екосистем у розвитку та впровадженні «розумних» логістичних рішень у містах.

Загалом, стаття надає всебічний огляд сучасних тенденцій, рушійних сил і викликів у сфері розумної логістики для розумних міст, а також пропонує кілька стратегій і рішень для досягнення більш стійких і ефективних міських логістичних систем.

Ці дослідження використовують різноманітні методи дослідження, включаючи емпіричний аналіз, методи моделювання та огляди літератури, щоб дослідити різні аспекти стійкого вантажного транспорту в міських районах. Синтезуючи свої висновки, розробники політики, лідери галузі та науковці можуть отримати цінну інформацію про те, як розробити та впроваджувати більш стійкі логістичні рішення у міських районах.

Політичні документи та вказівки щодо сталої міської логістики та транспорту, включаючи правила, стимули та механізми фінансування.

Приклад політичних документів та рекомендацій, пов'язаних із стійкою міською логістикою та транспортом:

«European Union's Sustainable Urban Mobility Plan (SUMP) - цей документ пропонує основу для розробки та впровадження стійких планів міської мобільності, які включають політику та стратегії вдосконалення міської логістики та транспорту» [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

«United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) - цей міжнародний договір забезпечує основу для зменшення викидів парникових газів, включаючи ті, що стосуються міського транспорту та логістики» [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

«US Environmental Protection Agency (EPA) SmartWay Transport Partnership - ця програма надає вказівки та стимули щодо покращення стійкості вантажних перевезень, включаючи використання транспортних засобів з низьким рівнем викидів та вдосконаленої логістичної практики» **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**.

«City Logistics Program of the European Commission - ця програма забезпечує фінансування міських логістичних проєктів, які сприяють стійкому міському вантажному транспорту, наприклад, впровадження міських консолідаційних центрів та використання транспортних засобів з низьким рівнем викидів» **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**.

«Green Freight Action Plan of the International Transport Forum - цей план надає вказівки та рекомендації щодо покращення стійкості вантажних перевезень, включаючи використання більш чистого палива, більш ефективні логістичні практики та вдосконалену інфраструктуру» **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**.

Ці політичні документи та вказівки забезпечують основу для розробників політики, лідерів галузі та науковців для розробки та впровадження стійкої міської логістики та транспортної політики та стратегій. Вирівнюючи свої зусилля з цими політиками та рекомендаціями, зацікавлені сторони можуть забезпечити, щоб їхні дії відповідали більш широким цілям та завданням стійкості.

Інтерв'ю з експертами у сфері сталого транспорту та міської логістики, зокрема з політиками, лідерами галузі та науковцями.

Почнемо з кількох політиків:

«Жаклін Клопп» **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**: Клопп є професором міської політики та планування в Колумбійському університеті та співдиректором університетського Центру сталого міського розвитку. Вона є експертом з транспортного планування та політики, і багато працювала над питаннями, пов'язаними зі сталим транспортом та міською логістикою.

«Карлос Морено» **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**: Морено – урбаніст і професор паризької Сорбонни. Він відомий своєю роботою над концепцією «15-хвилинного міста», яка спрямована на створення міст, де все, що потрібно людям, знаходиться в межах 15 хвилин ходьби або їзди на велосипеді. Він також працював над політикою сталого транспорту та міською логістикою.

«Гейл Мюррей» **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**: Мюррей є колишнім мером міста Сонома, штат Каліфорнія, і членом Ради з повітряних ресурсів Каліфорнії. Вона була рішучим прихильником сталої транспортної політики, включаючи розширення громадського транспорту та просування активних видів транспорту, таких як їзда на велосипеді та пішки.

Тепер перейдемо до лідерів галузі:

«Мері Барра» **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**: Барра є генеральним директором General Motors і активно виступає за екологічний транспорт. Під її керівництвом GM зробила значні інвестиції в електромобілі та поставила за мету зробити всі свої транспортні засоби з нульовим рівнем викидів до 2035 року.

Роберт «Джей Джей» Скарінг **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**, генерального директора компанії Rivian, яка спеціалізується на електричних вантажівках та зеленій логістиці.

«Дара Хосровшахі» **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**: Хосровшахі є генеральним директором Uber і був активним прихильником екологічного транспорту. Під його керівництвом Uber зробила значні інвестиції в електромобілі та поставила за мету стати платформою з нульовим рівнем викидів до 2040 року.

Нарешті, давайте подивимося на кількох вчених:

«Сьюзен Шахін» **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**: Шахін є професором Каліфорнійського університету в Берклі та експертом із екологічного транспорту та спільної мобільності. Вона провела широке дослідження впливу спільного використання поїздок та інших спільних послуг мобільності на моделі транспорту та затори в містах.

«Карлос Льорка» **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**: Льорка є професором транспортної інженерії в Політехнічному університеті Валенсії в Іспанії. Він провів масштабні дослідження екологічних транспортних рішень, включаючи використання електромобілів і розробку інтелектуальних транспортних систем.

«Андреас Шефер» **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**: Шефер є професором енергетики та транспорту в Університетському коледжі Лондона, а також експертом зі сталого транспорту та міської логістики. Він провів дослідження щодо використання альтернативних видів палива, зокрема водню та біопалива, і закликав до збільшення інвестицій у стійку транспортну інфраструктуру.

Дані, пов'язані з міською логістикою та вантажним транспортом, як-от обсяг трафіку, викиди транспортних засобів і споживання енергії.

1. «Обсяг трафіку: Обсяг трафіку великих міст може бути значним, особливо в пік години. Наприклад, в Лондоні було зафіксовано понад 14 мільйонів поїздок на транспорті в день, з яких 7% були здійснені вантажним транспортом (Дж.Л.Андерсон та ін., 2013)» **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**.
2. «Викиди транспортних засобів: Викиди від вантажних перевезень можуть бути значними, зокрема в містах, де часто відбувається затор. Наприклад, в США вантажний транспорт складав 7% від усіх викидів парникових газів, пов'язаних з транспортом (EPA, 2019)» **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**.
3. «Споживання енергії: Вантажний транспорт також споживає значну кількість енергії. У Європі вантажний транспорт споживає близько 25% усієї енергії, що використовується в транспорті (EEA, 2021)» **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**.

Нові технології та інновації, пов'язані зі стійким вантажним транспортом, зокрема електричні та гібридні транспортні засоби, розумні логістичні системи та альтернативні види палива.

Екологічні вантажні перевезення є критичною проблемою, і різні новітні технології та інновації вирішують цю проблему. Деякі з помітних прикладів цих технологій та інновацій:

Електричні та гібридні транспортні засоби. Електричні та гібридні транспортні засоби стають все більш популярними в галузі вантажних перевезень. Вони пропонують стійке рішення для зменшення викидів і підвищення ефективності палива. Такі компанії, як Tesla, Rivian і Bollinger, розробляють електричні або гібридні вантажівки, які можуть перевозити великі вантажі на великі відстані.

Розумні логістичні системи: розумні логістичні системи, також відомі як інтелектуальні транспортні системи, використовують дані в реальному часі та розширену аналітику для оптимізації вантажних перевезень. Ці системи можуть відстежувати трафік, погодні умови та інші фактори, які можуть впливати на транспортування, і пропонувати найбільш ефективний маршрут для доставки. Такі компанії, як Flexport, Amazon і Uber Freight, ведуть розробку розумних логістичних систем.

Альтернативні види палива: альтернативні види палива, такі як біопаливо, водневі паливні елементи та стиснений природний газ (СПГ), набувають популярності в галузі вантажних перевезень. Це паливо викидає менше забруднюючих речовин, ніж традиційне викопне паливо, і є більш екологічним. Такі компанії, як Shell, Toyota і Nikola, розробляють вантажівки та інші транспортні засоби, які працюють на альтернативному паливі.

Автономні транспортні засоби. Автономні транспортні засоби, також відомі як самокеровані вантажівки, розробляють різні компанії, зокрема Tesla, Waymo та Uber. Ці транспортні засоби можуть зменшити потребу в водіях, що може підвищити безпеку та зменшити витрати на робочу силу. Крім того, автономні вантажівки можуть оптимізувати паливну ефективність, рухаючись із постійною швидкістю, що може заощадити паливо та зменшити викиди.

Безпілотники: безпілотники використовуються для доставки товарів «останньою милею», що означає доставку товарів із розподільного центру до кінцевого пункту призначення. Безпілотники можуть доставляти товари швидко та ефективно, що може скоротити час доставки та споживання палива. Такі компанії, як Amazon, UPS і DHL, тестують системи доставки дронами.

Загалом, нові технології та інновації роблять вантажні перевезення більш стійкими та ефективними. Проте все ще є проблеми, які потрібно подолати, наприклад обмеження інфраструктури та регуляторні перешкоди. Тим не менш, майбутнє сталого вантажного транспорту виглядає багатообіцяючим, і ці технології та інновації прокладають шлях до більш стійкого та екологічного майбутнього.

Висновки. Останніми роками зростає кількість досліджень у сфері вантажних перевезень у контексті стійких міст. Із зростанням урбанізації та зростанням попиту на товари та послуги вантажні перевезення стали важливим аспектом міської мобільності. Проте негативний вплив вантажних перевезень на навколишнє середовище, здоров'я та безпеку викликає занепокоєння серед політиків, дослідників та громадськості. Тому дослідження було зосереджено на визначенні стійких рішень для вирішення цих проблем.

Одним із ключових висновків у цій галузі досліджень є важливість співпраці та координації між зацікавленими сторонами, включаючи державні установи, постачальників транспортних послуг, вантажовідправників та одержувачів. Ефективна координація може допомогти зменшити порожні поїздки, оптимізувати маршрути та консолідувати відправлення, тим самим зменшуючи кількість транспортних засобів на дорозі, споживання палива та викиди. Кілька досліджень

продемонстрували переваги спільних вантажних перевезень, такі як підвищення ефективності, зниження витрат і вплив на навколишнє середовище.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Aditjandra, P. T., Cao, X., & Zunder, T. H. (2020). Automation, electrification, and shared mobility in urban trucking: opportunities and challenges. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 137, 1-11. doi: 10.1016/j.tra.2020.05.008.
2. Kagerbauer, M., Hatakka, M., Hössinger, R., & Fellendorf, M. (2020). Estimating the distribution costs and CO2 emissions of a two-stage distribution system with cargo bikes: a case study in the city of Innsbruck. *Sustainability*, 13(24), 13974. doi: 10.3390/su132413974.
3. Journal of Cleaner Production. [Electronic resource]. URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-cleaner-production>.
4. Transportation Research Part D: Transport and Environment. [Electronic resource]. URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/transportation-research-part-d-transport-and-environment>.
5. Journal of Transport Geography. [Electronic resource]. URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-transport-geography>.
6. Cats, O., Toledo, T., de Bok, M., & van Lier, T. (2017). Sustainable Urban Freight Transport: A Review of Current Practices, Initiatives and Future Perspectives. *Sustainability*, 9(9), 1668. doi: 10.3390/su9091668.
7. Alonso-González, M., Rodríguez-Rodríguez, R., & Palacios-Marqués, D. (2019). A review of urban logistics interventions in European cities. *Sustainability*, 11(5), 1305. doi: 10.3390/su11051305.
8. Aldred, R., Anable, J., Brand, C., & Carreno, M. (2017). Electric vehicles for urban trucking: A review of the European policy context. *Energy Policy*, 105, 256-268. doi: 10.1016/j.enpol.2017.02.015.
9. van Lier, T., Tavasszy, L., & Hansen, C. O. (2013). Modeling urban freight distribution systems: An overview. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 87, 3-14. doi: 10.1016/j.sbspro.2013.10.558.
10. Shankar, R., Rodriguez, J., & Rahimi, S. (2019). Smart logistics for smart cities: An overview of trends, drivers, and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 227, 321-330. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.304.
11. European Union's Sustainable Urban Mobility Plan (SUMP). [Electronic resource]. URL: https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/sustainable-urban-mobility-plans_en.
12. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change. [Electronic resource]. URL: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conv>.
13. U.S. Environmental Protection Agency (EPA) SmartWay Transportation Partnership website. [Electronic resource]. URL: <https://www.epa.gov/smartway>.
14. European Commission Urban Logistics Program [Electronic resource]. URL: https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/urban_mobility/urban-logistics_en (accessed on: 10.04.2023).
15. International Transport Forum (ITF) Green Freight Action Plan [Electronic resource]. URL: <https://www.itf-oecd.org/green-freight-action-plan> (accessed on: 10.04.2023).
16. Klopp, J. Jacqueline Klopp [Electronic resource]. URL: <http://www.columbia.edu/~jk2002/> (accessed on: 10.04.2023).
17. Moreno, C. Carlos Moreno [Electronic resource]. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Carlos_Moreno_\(urbanist\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Carlos_Moreno_(urbanist)) (accessed on: 10.04.2023).
18. Murray, G. Gail Murray [Electronic resource]. URL: <https://gailmurray.com/about-me> (accessed on: 10.04.2023).
19. Barra, M. Meri Barra [Electronic resource]. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%80%D1%96_%D0%91%D0%B0%D1%80%D1%80%D0%B0 (accessed on: 10.04.2023).
20. Scarring, R.J. Robert «JJ» Scarring [Electronic resource]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/R._J._Scaringe (accessed on: 10.04.2023).
21. Khosrowshahi, D. Dara Khosrowshahi [Electronic resource]. URL: <https://www.uber.com/uk-UA/newsroom/leadership/dara-khosrowshahi/> (accessed on: 10.04.2023).
22. Shaheen, S. Susan Shaheen [Electronic resource]. URL: <https://ce.berkeley.edu/people/faculty/shaheen> (accessed on: 10.04.2023).
23. Llorca, C. Carlos Llorca [Electronic resource]. URL: <https://www.mos.ed.tum.de/en/tb/team/cl/> (accessed on: 10.04.2023).

24. Schaefer, A. Andreas Schaefer [Electronic resource]. URL: <https://www.ucl.ac.uk/bartlett/energy/people/prof-andreas-schafer> (accessed on: 10.04.2023).
25. Anderson, J.L., Frye, G., and Oldenburg, J. Smart mobility of vans: an analysis of real-world experience and capabilities. *Journal of Transportation Economics and Policy*, 2013, vol. 47, no. 2, pp. 243-259.
26. EPA. Facts and Figures about Vantage Transportation [Electronic resource]. URL: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-04/documents/420f19002.pdf> (accessed on: 10.04.2023).
27. EEA. Transportation and Environment Reporting Mechanism (TERM). [Electronic resource]. URL: <https://www.eea.europa.eu/themes/transport/term-2021> (accessed on: 10.04.2023).

REFERENCES

1. Aditjandra, P. T., Cao, X., & Zunder, T. H. (2020). Automation, electrification, and shared mobility in urban trucking: opportunities and challenges. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 137, 1-11. doi: 10.1016/j.tra.2020.05.008.
2. Kagerbauer, M., Hatakka, M., Hössinger, R., & Fellendorf, M. (2020). Estimating the distribution costs and CO2 emissions of a two-stage distribution system with cargo bikes: a case study in the city of Innsbruck. *Sustainability*, 13(24), 13974. doi: 10.3390/su132413974.
3. Journal of Cleaner Production. [Electronic resource]. URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-cleaner-production>.
4. Transportation Research Part D: Transport and Environment. [Electronic resource]. URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/transportation-research-part-d-transport-and-environment>.
5. Journal of Transport Geography. [Electronic resource]. URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-transport-geography>.
6. Cats, O., Toledo, T., de Bok, M., & van Lier, T. (2017). Sustainable Urban Freight Transport: A Review of Current Practices, Initiatives and Future Perspectives. *Sustainability*, 9(9), 1668. doi: 10.3390/su9091668.
7. Alonso-González, M., Rodríguez-Rodríguez, R., & Palacios-Marqués, D. (2019). A review of urban logistics interventions in European cities. *Sustainability*, 11(5), 1305. doi: 10.3390/su11051305.
8. Aldred, R., Anable, J., Brand, C., & Carreno, M. (2017). Electric vehicles for urban trucking: A review of the European policy context. *Energy Policy*, 105, 256-268. doi: 10.1016/j.enpol.2017.02.015.
9. van Lier, T., Tavasszy, L., & Hansen, C. O. (2013). Modeling urban freight distribution systems: An overview. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 87, 3-14. doi: 10.1016/j.sbspro.2013.10.558.
10. Shankar, R., Rodriguez, J., & Rahimi, S. (2019). Smart logistics for smart cities: An overview of trends, drivers, and challenges. *Journal of Cleaner Production*, 227, 321-330. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.304.
11. European Union's Sustainable Urban Mobility Plan (SUMP). [Electronic resource]. URL: https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/sustainable-urban-mobility-plans_en.
12. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (1992). United Nations Framework Convention on Climate Change. [Electronic resource]. URL: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conv>.
13. U.S. Environmental Protection Agency (EPA) SmartWay Transportation Partnership website. [Electronic resource]. URL: <https://www.epa.gov/smartway>.
14. European Commission Urban Logistics Program [Electronic resource]. URL: https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/urban_mobility/urban-logistics_en (accessed on: 10.04.2023).
15. International Transport Forum (ITF) Green Freight Action Plan [Electronic resource]. URL: <https://www.itf-oecd.org/green-freight-action-plan> (accessed on: 10.04.2023).
16. Klopp, J. Jacqueline Klopp [Electronic resource]. URL: <http://www.columbia.edu/~jk2002/> (accessed on: 10.04.2023).
17. Moreno, C. Carlos Moreno [Electronic resource]. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Carlos_Moreno_\(urbanist\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Carlos_Moreno_(urbanist)) (accessed on: 10.04.2023).
18. Murray, G. Gail Murray [Electronic resource]. URL: <https://gailmurray.com/about-me> (accessed on: 10.04.2023).
19. Barra, M. Meri Barra [Electronic resource]. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%80%D1%96_%D0%91%D0%B0%D1%80%D1%80%D0%B0 (accessed on: 10.04.2023).

- 20.Scarring, R.J. Robert «JJ» Scarring [Electronic resource]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/R._J._Scarring (accessed on: 10.04.2023).
- 21.Khosrowshahi, D. Dara Khosrowshahi [Electronic resource]. URL: <https://www.uber.com/uk-UA/newsroom/leadership/dara-khosrowshahi/> (accessed on: 10.04.2023).
- 22.Shaheen, S. Susan Shaheen [Electronic resource]. URL: <https://ce.berkeley.edu/people/faculty/shaheen> (accessed on: 10.04.2023).
- 23.Llorca, C. Carlos Llorca [Electronic resource]. URL: <https://www.mos.ed.tum.de/en/tb/team/cl/> (accessed on: 10.04.2023).
- 24.Schaefer, A. Andreas Schaefer [Electronic resource]. URL: <https://www.ucl.ac.uk/bartlett/energy/people/prof-andreas-schaefer> (accessed on: 10.04.2023).
- 25.Anderson, J.L., Frye, G., and Oldenburg, J. Smart mobility of vans: an analysis of real-world experience and capabilities. *Journal of Transportation Economics and Policy*, 2013, vol. 47, no. 2, pp. 243-259.
- 26.EPA. Facts and Figures about Vantage Transportation [Electronic resource]. URL: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-04/documents/420f19002.pdf> (accessed on: 10.04.2023).
- 27.EEA. Transportation and Environment Reporting Mechanism (TERM). [Electronic resource]. URL: <https://www.eea.europa.eu/themes/transport/term-2021> (accessed on: 10.04.2023).

РЕФЕРАТ

Гульчак О.Д. Аналіз досліджень у сфері вантажних перевезень в умовах сталого міста / О.Д. Гульчак, М.О. Точигін // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

Посилення урбанізації та зростання міст спричинили численні проблеми, пов'язані із наданням транспортних послуг в містах. Вантажні перевезення, зокрема, були визначені як один з факторів, що сприяє виникненню заторових ситуацій, забрудненню повітря та викидам парникових газів. У цій статті подано огляд досліджень вантажних перевезень в умовах сталого міста. Аналіз включає дослідження впливу вантажного транспорту на навколишнє середовище, міську мобільність і якість життя. Крім того, у статті обговорюються різні заходи, стратегії та практики, запропоновані для вирішення проблем вантажних перевезень у стійких містах.

Проблема, яка розглядається в аналізі досліджень вантажних перевезень в умовах сталого міста, полягає в необхідності збалансувати економічне зростання та екологічні та соціальні наслідки вантажних перевезень. Вантажні перевезення мають важливе значення для функціонування сучасних міст, але вони також мають значні екологічні та соціальні наслідки, такі як забруднення повітря та шум, викиди парникових газів та затори на дорогах. Ці наслідки негативно впливають на здоров'я населення та сприяють зміні клімату. Сталі вантажні перевезення спрямовані на пом'якшення цих впливів, зберігаючи при цьому економічні переваги вантажних перевезень. Однак реалізація практики екологічних вантажних перевезень стикається з кількома проблемами, зокрема скороченням викидів парникових газів, зменшенням заторів на дорогах і зменшенням шумового забруднення. Таким чином, проблема полягає в тому, як просувати сталий вантажний транспорт у містах, щоб пом'якшити ці наслідки, зберігаючи економічне зростання.

Стрімкий розвиток сфер послуг призвів до поспішливого збільшення автомобілізації, що, в свою чергу, є одним із ключових висновків у цій галузі досліджень є важливість співпраці та координації між зацікавленими сторонами, включаючи державні установи, постачальників транспортних послуг, вантажовідправників та одержувачів. Ефективна координація може допомогти зменшити порожні поїздки, оптимізувати маршрути та консолідувати відправлення, тим самим зменшуючи кількість транспортних засобів на дорозі, споживання палива та викиди. Кілька досліджень продемонстрували переваги спільних вантажних перевезень, такі як підвищення ефективності, зниження витрат і вплив на навколишнє середовище.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВАНТАЖНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА МІСТА, СТАЛЕ МІСТО, ПРИНЦИПИ СТАЛОСТІ, СТАЛИЙ ВАНТАЖНИЙ ТРАНСПОРТ.

ABSTRACT

Hulchak O.D., Tochyhin M.O. Analysis of research in the field of freight transport in the conditions of a sustainable city. *Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences»*. Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

Increased urbanisation and urban growth have caused numerous problems related to the provision of transport services in cities. Freight transport, in particular, has been identified as one of the factors

contributing to congestion, air pollution and greenhouse gas emissions. This article provides an overview of research on freight transport in a sustainable city. The analysis includes studies of the impact of freight transport on the environment, urban mobility and quality of life. In addition, the article discusses various measures, strategies and practices proposed to address freight transport issues in sustainable cities.

The challenge addressed in the analysis of freight transport research in sustainable cities is the need to balance economic growth with the environmental and social impacts of freight transport. Freight transport is essential for the functioning of modern cities, but it also has significant environmental and social impacts, such as air and noise pollution, greenhouse gas emissions and traffic congestion. These impacts have a negative impact on public health and contribute to climate change. Sustainable freight transport aims to mitigate these impacts while maintaining the economic benefits of freight transport. However, the implementation of sustainable freight transport practices faces several challenges, including reducing greenhouse gas emissions, reducing traffic congestion and reducing noise pollution. The challenge is therefore how to promote sustainable freight transport in cities to mitigate these impacts while maintaining economic growth.

The rapid development of service industries has led to a rapid increase in motorisation, which in turn has led to a rapid increase in traffic, which in turn has led to a rapid increase in the number of cars. One of the key findings in this area of research is the importance of cooperation and coordination between stakeholders, including government agencies, transport service providers, shippers and receivers. Effective coordination can help reduce empty journeys, optimise routes and consolidate shipments, thereby reducing the number of vehicles on the road, fuel consumption and emissions. Several studies have demonstrated the benefits of shared freight transport, such as increased efficiency, reduced costs and environmental impact.

KEY WORDS: FREIGHT TRANSPORT, CITY TRANSPORT SYSTEM, SUSTAINABLE CITY, SUSTAINABILITY PRINCIPLES, SUSTAINABLE FREIGHT TRANSPORT.

АВТОРИ:

Гульчак Оксана Дмитрівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, Київ, Україна, e-mail: hulchakoksana@gmail.com, тел. +38(063)657-92-01, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 435 <https://orcid.org/0000-0001-8186-4529>

Точигін Максим Олегович, PhD студент, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: tochyginph.d@gmail.com, тел. +38(067)204-46-65, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 435 <https://orcid.org/0009-0001-8630-8545>

AUTHOR:

Oksana Hulchak, PhD in Engineering, National Transport University, Professor, Department of Transport Systems and Road Safety, Kyiv, Ukraine, e-mail: hulchakoksana@gmail.com, tel. +38(063)657-92-01, 1 M. Omelyanovych-Pavlenko Str., Kyiv, 01010, Ukraine, room 435 <https://orcid.org/0000-0001-8186-4529>

Maksym Tochyhin, PhD student, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: tochyginph.d@gmail.com, tel. +38(067)204-46-65, 1 M. Omelyanovych-Pavlenka Str., Kyiv, 01010, Ukraine, room 435 <https://orcid.org/0009-0001-8630-8545>

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Форнальчик Євген Юліанович, д-р. техн. наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна, e-mail: tt.dept@lpnu.ua, тел. +38 (032) 258-26-59, Львів, Львівська область, 79000, вул. С. Бандери, 32, 6 корпус.

Прокудін Георгій Семенович, д-р техн. наук, професор Національний транспортний університет Україна, e-mail: p_g_s@ukr.net, тел. +38 (044) 280-84-02, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 430а.

REVIEWER:

Fornalchyk Yevhen Yulianovych, Doctor of Engineering, Professor, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, e-mail: tt.dept@lpnu.ua, tel. +38 (032) 258-26-59, 32, S. Bandery str., building 6, Lviv, Lviv region, 79000.

Prokudin Geogriy Semenovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University of Ukraine, e-mail: p_g_s@ukr.net, tel. +38 (044) 280-84-02, 1 M. Omelyanovych-Pavlenko Str., Kyiv, 01010.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ЯК ОДИН З ГОЛОВНИХ ФАКТОРІВ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЇ SMART LOGISTICS

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

Марченко В.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, kekstarmc@gmail.com, orcid.org/0009-0000-0334-4317

Попченко Є.С., Національний транспортний університет, Київ, Україна, multifiltyap@gmail.com, orcid.org/0009-0007-9127-5489

INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS AS ONE OF THE MAIN FACTORS IN IMPLEMENTATION OF THE SMART LOGISTICS CONCEPT

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

Marchenko V.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, kekstarmc@gmail.com, orcid.org/0009-0000-0334-4317

Popchenko Y.S., National Transport University, Kyiv, Ukraine, multifiltyap@gmail.com, orcid.org/0009-0007-9127-5489

Постановка проблеми. Об'єктивне зростання та глобалізація сучасної світової економіки, збільшення інтенсивності та обігу потоків товарів, різка зміна масштабів комп'ютеризації систем управління та моніторингу різних економічних та інших процесів об'єктивно потребує інтелектуальної підтримки управління цими процесами у реальному режимі часу.

Поряд із цим, прискорена автомобілізація в умовах відставання розвитку вулично-дорожніх мереж великих міст (ВДМ) призводить до прояву низки негативних наслідків, серед яких можна виділити такі основні, як різке зменшення ефективності транспортної інфраструктури (значна нерівномірність транспортного навантаження, зменшення швидкості руху транспортних потоків (ТП), затори, дорожньо-транспортні пригоди тощо), а також підвищення рівня забруднення довкілля. Це, зокрема, зумовлює виникнення значних затримок у транспортуванні вантажів, що призводить не лише до часових, а й до суттєвих економічних втрат.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз показує, що найбільш ефективно вирішення цих проблем у сучасних умовах пов'язують із реалізацією концепції Smart Logistics, а саме, з розробкою, впровадженням та застосуванням інтелектуальних транспортних систем (ІТС), де велику роль відіграє ефективне використання сучасних інтелектуальних технологій Інтернет Речей (IoT), blockchain (BC), Big Data (BD) та штучний інтелект (AI).

Однак фундаментальні та прикладні теоретичні дослідження з Smart Logistics на сьогоднішній день є значною мірою розрізненими, що проводяться науковцями різних предметних галузей, спрямованими на вирішення проблем практичного застосування в різних, в кращому випадку дотичних, галузях інноваційного розвитку суспільства. Тому ці науковці мають різне бачення шляхів підвищення ефективності функціонування та розвитку Smart Logistic, що призводить до формування відповідно різних підходів.

Крім того, використання інтелектуальних інформаційних технологій для ефективної організації, оптимізації та управлінні логістичними процесами здійснення вантажних і пасажирських перевезень в реальному режимі часу при великій і змінній завантаженості УРН є епізодичним і недосконалим. В першу чергу це пов'язано з відсутністю адекватних методів дискретної оптимізації маршрутів із динамічним оновленням, які враховують реальну (нестационарну) динаміку ТП на ділянках ВДМ.

Метою дослідження є проведення порівняльного аналізу існуючих концепцій функціонування та розвитку Smart Logistics, а також в рамках концепції ІТС як кібер-фізичних систем (CPS), що

застосовуються в Smart Logistics, шляхом тестових досліджень визначення найбільш ефективних методів оптимізації логістичних потоків в реальному режимі часу щодо здійснення вантажних перевезень в умовах нестаціонарної динаміки ТП.

Виклад основного матеріалу дослідження. Фундаментальні та прикладні теоретичні дослідження функціонування та розвитку Smart Logistics в рамках існуючих на сьогоднішній день концепцій технологій ІТС, IoT, PI (Фізичний Інтернет), CPS є значною мірою розрізненими, що часто призводить до різного тлумачення сутностей процесів в Smart Logistics і, відповідно, до різного бачення шляхів підвищення її ефективності (див. наприклад, [1 – 4]). Крім того, слід зазначити, що, по мірі розвитку відповідних інноваційних технологій, зокрема, IoT, AI, BD, BC відбувається еволюція сутності тієї або іншої концепції розвитку Smart Logistic, наближаючи їх трактування одне до одного [1 – 4].

Історично першою концепцією, що є основною і в теперішній час для ефективної реалізації Smart Logistic, є концепція, яка пов'язана з ІТС. На етапі її формування, починаючи з 1986р., ІТС розглядалися групою вчених "Mobility 2000" на чолі з Joseph M. Sussman як системи підтримки прийняття рішень (СППР), що поєднують інформаційні та телекомунікаційні технології (ІКТ) з організації руху ТП, підвищення пропускної спроможності транспортної інфраструктури, безпеки руху, психологічного комфорту пасажирів, екологічної стійкості [5]. При цьому інтелектуальним агентом виступає, як правило, людина.

По мірі розвитку інноваційних технологій IoT, BD, BC, AI, PI відбувається еволюція сутності трактування та призначення ІТС, що в теперішній час наближає ІТС до сутності концепції CPS як інтелектуальних автоматичних (без участі людини) систем управління фізичними об'єктами і процесами різної природи.

CPS – це нова інтелектуальна комплексна система, яка інтегрує на глибокому рівні фізичні та кібернетичні компоненти. Тут неперервний моніторинг у реальному часі, моделювання (в тому числі імітаційне) та прогнозування, аналіз та управління фізичними об'єктами та процесами реалізуються за рахунок поєднання телекомунікаційних та інформаційних керуючих технологій, а також технологій глибоких (інтелектуальних) обчислень, зберігання, обробки, обміну та захисту даних. Концепція CPS була запропонована в 2006 році, і в даний час її реалізація охоплює різні сфери людської діяльності: виробництво, будівництво, енергетику, медицину тощо, де забезпечуються нові функціональні можливості для покращення якості життя, досягнення технічного прогресу і тому істотно впливають на світову економіку. Однією з основних галузей її застосування є транспортна галузь і логістика.

Отже, у зв'язку із зазначеним вище, ITS в сучасних умовах, на наш погляд, необхідно розглядати як реалізацію концепції CPS в області транспортних систем, в тому числі Smart Logistics (див. рис.1).

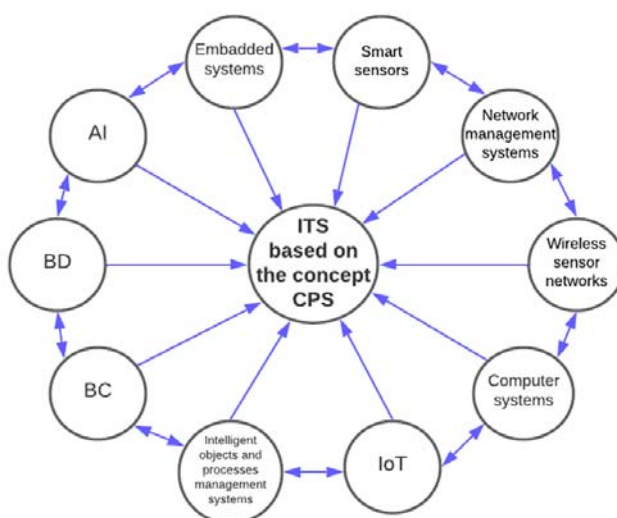
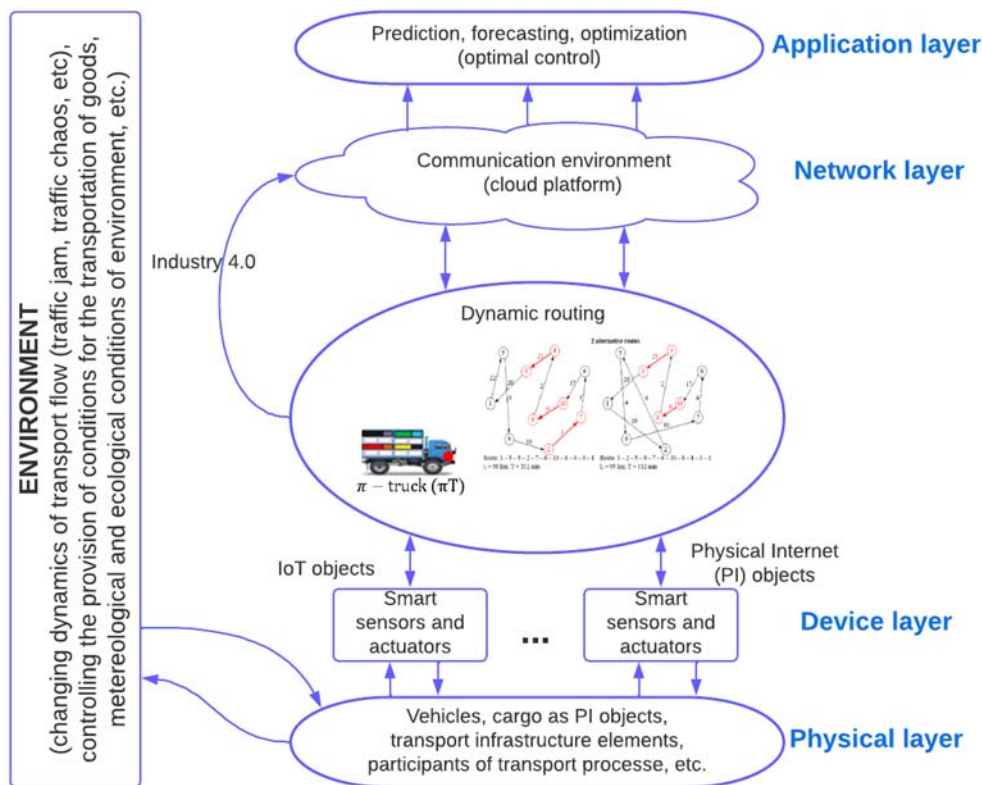


Рисунок 1 – Технології ІТС як кібер-фізичних систем в Smart Logistics
Figure 1 – ITC technologies as cyber-physical systems in Smart Logistics

При цьому ІТС уявляє собою надзвичайно складну CPS в контексті інформаційної підтримки прийняття рішень при здійсненні управління, що обумовлене необхідністю збору, обробки, передачі великих масивів різномірних даних у просторово розподілених гетерогенних системах, використання просторово-часової інформації у різно-масштабованому інформаційному просторі. Відповідно, технології ITS, як CPS, поєднують такі взаємопов'язані і взаємопроникні технології, як комп'ютерні системи, вбудовані системи (розумні сенсори, об'єкти інфраструктури PI (π-контейнери, π-мовери, π-вузли тощо), бездротові сенсорні мережі, системи мережевого керування, IoT, AI, BD, BC, інтелектуальні системи керування транспортними об'єктами та процесами (див. рис.1).

Архітектура ІТС в рамках концепції CPS в загальному вигляді містить в собі фізичний рівень, мережевий рівень та прикладний рівень (рис. 2).



комунікаційних технологій та IoT надають великі дані про міські вантажні транспортні системи, що потребують використання технологій BD для їх збору, обробки та передачі [3]. Відповідно, захист отриманої інформації додатково потребує використання технологій BC. PI у поєднанні з AI, що інтегровані на основі вбудованих систем, забезпечують прийняття рішень у режимі реального часу для адаптації до міських умов з онлайн-комунікацією та підключеними елементами системи PI, такими як PI-контейнери (посилки, піддони), PI-вантажівки (PI-вантажівки, CAV), БПЛА) та PI-хаби (магазини, склади) [3].

Особливу увагу привертає до себе аналіз ґносеологічних зв'язків та відмінностей у розумінні сутності технологій CPS та IoT. Концепція IoT формувалась у 90-х роках минулого століття і на початковому етапі розглядалась як телекомунікаційна парадигма глобальної мережі Інтернет, що складається із взаємозв'язаних фізичних пристроїв з радіочастотною ідентифікацією (RFID мітки), які мають вбудовані сенсори, а також програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати ідентифікацію та моніторинг функціонування об'єктів, передачу і обмін даними між фізичним світом і комп'ютерними системами за допомогою використання стандартних протоколів зв'язку. По мірі розвитку IoT і появою та розвитком PI, що, зокрема, було пов'язано з інтелектуалізацією фізичних об'єктів (інтелектуальні сенсори та виконавчі елементи, інтелектуальні PI-вантажі, тощо), технології IoT вдосконалювались, забезпечуючи потужну технічну підтримку досліджень CPS. В останні роки, завдяки глибоким дослідженням та розумінню IoT та CPS процесів, їх розвиток показує тенденцію до взаємної інтеграції.

Отже, можна зазначити, що на ранній стадії розвитку IoT і CPS є два різні паралельні шляхи розвитку. Відповідно зараз CPS – це еволюція IoT, IoT – це початковий етап застосування CPS [2]. При цьому, на сучасному етапі розвитку IoT наголошує на «зв'язок об'єктів, інтелектуальне сприйняття», приділяючи особливу увагу зв'язності мережі та отримання інформації про фізичні об'єкти при проведенні інтелектуальної ідентифікації, позиціонування, відстеження і управління. Тоді як у CPS акцент робиться на управління в реальному режимі часу зі зворотним зв'язком транспортними процесами та об'єктами [2]. В IoT інформація основних фізичних об'єктів, як і раніше, вимагає втручання людини, а вимоги до автономної взаємодії невисокі. У той час в CPS при управлінні зі зворотним зв'язком значно знижується участь людини, що потребує наявності сильної автономної взаємодії [2].

Такий стан сучасного розвитку концепцій IoT та CPS часто призводить до неоднозначності у трактуванні вибраного підходу щодо проведення досліджень, зокрема, з проблем Smart Logistics та отриманих результатів відповідних досліджень. Так, наприклад, в [2] на основі задекларованій автором CPS моделі прийняття рішення про логістичний шлях були проведені дослідження щодо вибору найбільш ефективного методу оптимізації шляху доставки вантажів в рамках транспортної задачі комівояжера (TSP). Тут порівнювались результати дискретної оптимізації логістичного маршруту, виконаної за допомогою таких інтелектуальних методів як метод імітації підпалу (SA), генетичного алгоритму (GA) та класичного алгоритму мурашиної колонії (ACA) для масиву з 31 точки за критеріями найкоротшої відстані транспортування та швидкості (часу) збіжності рішення. Було визначено, що з трьох розглянутих алгоритмів ACA має найкращий ефект оптимізації. На підставі отриманих результатів автор пропонує інтелектуальну систему прийняття рішень про логістичні маршрути для CPS, яка використовує алгоритм мурашиної колонії для розрахунку найкоротшого шляху логістики та транспортування за критерієм відстані. Під час транспортування Центр керування визначає місцезнаходження вантажівки за допомогою GPS і відправляє замовлення до пункту призначення [2]. В рамках такої інтерпретації в [2], на нашу думку, реалізована у більшій мірі IoT модель інтелектуального прийняття рішення про логістичний шлях, оскільки тут відсутня можливість управління логістичним шляхом в он лайн режимі під час транспортування вантажу, наприклад, при зміні характеристик динаміки ТП (збільшення навантаження на ділянках УРН, затори, дорожні інциденти, тощо), що повинно бути необхідним атрибутом для процесу управління в рамках CPS концепції.

Як показує аналіз, представлені в [2] AI алгоритми не можуть вирішувати задачу моделювання оптимального маршруту з динамічним оновленням під впливом зміни характеристик зовнішнього середовища. В [6] було запропоновано модифікований ACA (ACAmод), в якому, на відміну від класичного ACA [7], мурашині агенти по графу можуть рухатись асинхронно з певними (навіть різними) швидкостями, а також існує можливість фіксувати результати оптимізації частково пройденого шляху для оптимізації подальшого маршруту при зміні довжини ребер графу під час руху. Це дозволяє, зокрема, проводити імітаційні моделювання оптимізації маршруту в реальному режимі часу з урахуванням реальної динаміки ТП на ділянках транспортної мережі, де мурашині

агенти, як аналоги автомобілів, рухаються із відповідними швидкостями, що відповідають середнім швидкостям ТП на цих ділянках. Отже, такий підхід дозволяє у більшій мірі реалізувати CPS концепцію для формування моделі прийняття рішення про оптимальний логістичний шлях в Smart Logistic за критерієм часу проходження маршруту.

Для перевірки надійності та достовірності результатів оптимізації за допомогою розробленого ACAmod проведено тестові дослідження вирішення задачі комівояжера з використанням найбільш відомих класичних алгоритмів (метод гілок та меж (BAB), метод повного перебору (BF)) та модифікованого мурашиного алгоритму ACAmod. Результати проведених досліджень наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз класичних методів оптимізації та ACAmod для розв’язку транспортної задачі комівояжера

Table 1 – Comparative analysis of classical optimization methods and ACAmod for solving the transport problem of a traveling salesman

Кількість вершин	Найкращий відомий результат	Мурашиний алгоритм ACAmod		Метод гілок та меж		Метод повного перебору	
		довжина, км	відхилення	довжина, км	відхилення	довжина, км	відхилення
3	48	48	0,00%	48	0,00%	48	0,00%
4	69	69	0,00%	69	0,00%	69	0,00%
5	74	74	0,00%	74	0,00%	74	0,00%
6	81	81	0,00%	81	0,00%	81	0,00%
7	80	80	0,00%	85	6,25%	80	0,00%
8	80	80	0,00%	103	28,75%	80	0,00%
9	81	81	0,00%	104	28,40%	81	0,00%
10	82	82	0,00%	99	20,73%	82	0,00%
11	83	83	0,00%	119	43,37%	83	0,00%
12	86	86	0,00%	133	54,65%	86	0,00%
13	94	95	1,06%	120	27,66%	94	0,00%
14	98	98	0,00%	_*	_*	_*	_*
15	101	106	4,95%	_*	_*	_*	_*

_* – означає відсутність даних про отриманий розв’язок, або неможливість знаходження розв’язку для даної кількості вершин.

Як видно з табл. 1, при невеликій кількості вершин графу (не більше 13), оптимальний розв’язок можна отримати за допомогою методу повного перебору та запропонованого ACAmod. Зі збільшенням розмірності задачі (13 – 15 вершин) єдиний розв’язок дає запропонований нами метод. Використання інших методів розрахунку, що розглядається в цій задачі, для графа з розмірністю більше 13 вершин суттєво погіршують отримання оптимальних розв’язків аж до унеможливлення їх знаходження. Таким чином можна зробити висновок, що суттєвим недоліком існуючих класичних методів є їх не застосовність до задач з великою розмірністю. На відміну від існуючих класичних методів, запропонований модифікований метод мурашиного алгоритму ACAmod дає прийнятні (в межах 5-7% відхилення від найкращого маршруту) результати за досить невеликий час обчислень.

Для визначення найбільш ефективного методу оптимізації логістичного шляху в реальному режимі часу щодо здійснення вантажних перевезень в умовах нестаціонарної динаміки ТП в роботі проведені тестові дослідження дискретної оптимізації маршруту в рамках задачі TSP за допомогою AI методів: GA, еволюційного SA (ESA), ACA та ACA mod. Ці алгоритми застосовувались для набору відомих тестових задач для TSP: Oliver30, Eilon50, Eil51, Berlin52, St70, Eilon75, Eil76, KroA100, Eil101, Pr107, Pr124, Pr136, Pr144 та Pr152 [8]. Числа в назві кожної із цих задач вказують на кількість точок, для яких необхідно побудувати оптимальний маршрут обходу. Отже, при тестуванні найменша кількість точок складала 30, найбільша – 152. Критеріями вибору найбільш ефективного методу оптимізації при проведенні порівняльного аналізу результатів досліджень були відхилення

оптимальної відстані, отриманої за допомогою відповідного метода, від найкраще відомого результату для кожної з тестових задач, а також час збіжності розв'язку.

Дані про отримані результати роботи GA та ESA взято з відкритих джерел. В роботі вказані тестові TSP розраховувались за допомогою класичного ACA [7] та розробленого авторами модифікований ACO mod [6] із спеціально підібраними, найбільш оптимальними значеннями параметрів цих алгоритмів, які приймали однакові значення: $\alpha = 1$; $\beta = 5$; $\rho = 0,67$. Результати тестових досліджень дискретної оптимізації маршруту в рамках задачі TSP за допомогою зазначених AI методів за критерієм часу та відхилення за відстанню наведені на рис.3 та в табл. 2 відповідно.

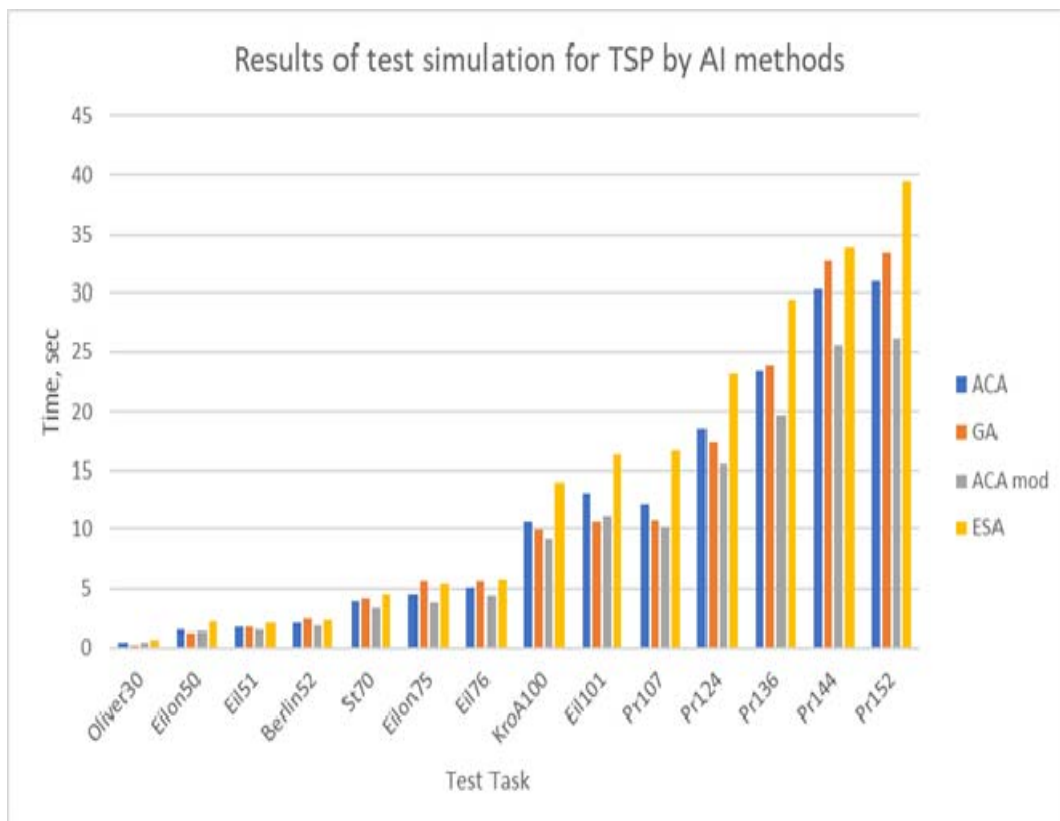


Рисунок 3 – Результати тестових досліджень транспортної задачі комівояжера AI методами оптимізації (за критерієм часу збіжності розв'язку)

Figure 3 – Results of test studies of the transport problem of the traveling salesman AI using optimization methods (according to the intersection convergence time criterion)

Як видно з рис.3 та табл. 2, найбільш ефективним методом оптимізації логістичних потоків в Smart Logistics серед представлених в цій роботі AI методів є ACAmod. Його використання дозволяє скоротити час пошуку оптимального рішення в середньому на 15% та отримувати у більшості випадків кращі результати оптимізації шляху.

Таким чином, результати тестових досліджень показали, що рамках концепції CPS найбільш прийнятним методом оптимізації логістичних потоків при здійсненні вантажних перевезень з урахуванням нестационарної динаміки ТП є модифікований алгоритм мурашиної колонії ACAmod.

Висновки. За результатами порівняльний аналіз концепцій функціонування та розвитку Smart Logistic визначено, що відповідні фундаментальні та прикладні теоретичні дослідження в рамках існуючих на сьогоднішній день концепцій технологій ITC, IoT, PI, CPS є значною мірою розрізненими, що часто призводить до різного тлумачення сутностей процесів в Smart Logistics і, відповідно, до різного бачення шляхів підвищення її ефективності.

Показано, що в даний час ITC є найбільш розвинутою концепцією реалізації Smart Logistic, і за своєю сутністю наближається до сутності концепції CPS як інтелектуальних автоматичних (без участі людини) систем управління фізичними об'єктами і процесами різної природи.

В рамках концепції CPS шляхом тестових досліджень за допомогою різних AI методів (GA, ESA, ACA та ACAmod) визначено, що найбільш ефективним методом оптимізації маршруту

вантажних перевезень є ACAMod, який дозволяє здійснювати динамічну маршрутизацію логістичних потоків в реальному режимі часу з урахуванням нестационарної динаміки ТП.

Таблиця 2 – Результати тестових досліджень транспортної задачі комівояжера AI методами оптимізації (за критерієм відхилення оптимальної відстані від найкращого відомого результату)

Table 2 – Results of test studies of the transport problem of the traveling salesman AI using optimization methods (according to the criterion of deviation of the optimal distance from the best known result)

Назва задачі	Кількість вершин	Найкраще відоме значення	Класичний алгоритм мурашиної колонії (ACO)		Генетичний алгоритм (GA)		Еволюційний метод відпалу (ESA)		Модифікований мурашиний алгоритм (ACAMod)	
			Отримане значення	Час	Отримане значення	Час	Отримане значення	Час	Отримане значення	Час
Oliver30	30	420	420	0.4	420	0.2	420	0.7	420	0.40
Eilon50	50	425	427.4	1.5	426	1.2	427	2.2	427.4	1.40
Eil51	51	426	428.1	1.7	427	1.7	426	2.1	426	1.50
Berlin52	52	7542	7542	2.1	7542	2.4	7542	2.3	7542	1.80
St70	70	675	679.1	3.9	675	4.2	675	4.5	679.1	3.30
Eilon75	75	535	547.4	4.5	550	5.6	545	5.4	541.2	3.80
Eil76	76	538	548.1	5.1	545	5.6	546	5.8	545.8	4.40
KroA100	100	21282	21445.3	10.6	21350	9.9	21282	14.0	21388.6	9.10
Eil101	101	629	646.4	13.1	655	10.6	650	16.3	633.2	11.10
Pr107	107	44303	44793.8	12.1	44392	10.8	44413	16.7	44428	10.20
Pr124	124	59030	59412.1	18.5	59030	17.3	59030	23.1	59122.5	15.50
Pr136	136	96772	99351.2	23.4	98432	23.8	98499	29.5	97541.3	19.70
Pr144	144	58537	58876.2	30.3	58599	32.8	58574	33.9	58712	25.60
Pr152	152	73682	74676.9	31.0	74520	33.4	74172	39.5	74231.5	26.10

Одним із перспективних напрямків подальших досліджень автори вважають створення в рамках концепції ІТС, як CPS для Smart Logistic, інтелектуальної системи підтримки рішень транспортно-логістичного управління вантажними перевезеннями в реальному режимі часу з урахуванням впливу зовнішніх чинників різної природи на процес перевезень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Taniguchia, E., Thompson, R. G., Qureshi, A. G. (2020). Modelling city logistics using recent innovative technologies. *Transportation Research Procedia*, 46, 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.157>
2. Zhang, N. (2018). Smart Logistics Path for Cyber-Physical Systems With Internet of Things. *IEEE ACCESS*, 6, 70808 – 70819. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2879966>
3. Nikitas, A., Michalakopoulou, K., Tchouamou, N.E., Karampatzakis, D. (2020). Artificial Intelligence, Transport and the Smart City: Definitions and Dimensions of a New Mobility Era”. *Sustainability*, 12(2789), 1 – 19. <https://doi.org/10.3390/su12072789>
4. Hofmann, E., Rüsch, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
5. Sussman, J.M. (2005). *Perspectives on Intelligent Transportation Systems (ITS)*. Springer Science+Business Media, 232p.
6. Danchuk, V., Bakulich, O., Svatko, V. (2019). Building Optimal Routes for Cargo Delivery in Megacities. *Transport and Telecommunications*, 20(2), 142–152. <https://doi.org/10.2478/tjt-2019-0013>.
7. Dorigo, M., Di Caro, G. (1999). The ant colony optimization meta-heuristic. *New Idea in Optimization*. McGraw-Hill, 1, 11–32.

8. Osaba, E., Yang, X.-S., Diaz, F., Lopez-Garcia, P., Carballedo, R. (2016). An improved discrete bat algorithm for symmetric and asymmetric Traveling Salesman Problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 48(C), 59–71. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2015.10.006>

REFERENCES

1. Taniguchia, E., Thompson, R. G., Qureshi, A. G. (2020). Modelling city logistics using recent innovative technologies. *Transportation Research Procedia*, 46, 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.157>
2. Zhang, N. (2018). Smart Logistics Path for Cyber-Physical Systems With Internet of Things. *IEEE ACCESS*, 6, 70808 – 70819. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2879966>
3. Nikitas, A., Michalakopoulou, K., Tchouamou, N.E., Karampatzakis, D. (2020). Artificial Intelligence, Transport and the Smart City: Definitions and Dimensions of a New Mobility Era”. *Sustainability*, 12(2789), 1 – 19. <https://doi.org/10.3390/su12072789>
4. Hofmann, E., Rüsch, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
5. Sussman, J.M. (2005). *Perspectives on Intelligent Transportation Systems (ITS)*. Springer Science+Business Media, 232p.
6. Danchuk, V., Bakulich, O., Svatko, V. (2019). Building Optimal Routes for Cargo Delivery in Megacities. *Transport and Telecommunications*, 20(2), 142–152. <https://doi.org/10.2478/ttj-2019-0013>.
7. Dorigo, M., Di Caro, G. (1999). The ant colony optimization meta-heuristic. *New Idea in Optimization*. McGraw-Hill, 1, 11–32.
8. Osaba, E., Yang, X.-S., Diaz, F., Lopez-Garcia, P., Carballedo, R. (2016). An improved discrete bat algorithm for symmetric and asymmetric Traveling Salesman Problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 48(C), 59–71. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2015.10.006>

РЕФЕРАТ

Данчук В.Д. Інтелектуальні транспортні системи як один з головних факторів реалізації концепції Smart Logistics / В.Д. Данчук, В.В. Сватко, В.В. Марченко, Є.С. Попченко// Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

В роботі показано, що в даний час ІТС є найбільш розвинутою концепцією реалізації Smart Logistic, і за своєю сутністю наближається до сутності концепції кіберфізичних систем (CPS), як інтелектуальних автоматичних або максимально автоматизованих систем управління фізичними об'єктами і процесами різної природи.

Шляхом тестових досліджень за допомогою різних методів штучного інтелекту визначено, що найбільш ефективним методом оптимізації маршруту вантажних перевезень є модифікований мурашиний алгоритм, який дозволяє здійснювати динамічну маршрутизацію логістичних потоків в реальному режимі часу з урахуванням нестационарної динаміки транспортних потоків. Його використання дозволяє скоротити час пошуку оптимального рішення в середньому на 15% та отримувати у більшості випадків кращі результати оптимізації шляху.

Одним із перспективних напрямків подальших досліджень автори вважають створення в рамках концепції ІТС, як CPS для Smart Logistic, інтелектуальної системи підтримки рішень транспортно-логістичного управління вантажними перевезеннями в режимі реального часу з урахуванням впливу зовнішніх чинників різної природи на процес перевезень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА, РОЗУМНА ЛОГІСТИКА, КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, ОПТИМІЗАЦІЯ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ.

ABSTRACT

Danchuk V.D., Svatko V.V., Marchenko V.V., Popchenko Y.S. Intelligent Transport Systems as One of the Main Factors in Implementation of the Smart Logistics Concept. *Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences»*. Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The paper proposes that currently ITS is the most developed concept of Smart Logistic implementation, and in its essence approaches the essence of the concept of cyber-physical systems (CPS), as intelligent automatic or maximally automated control systems for physical objects and processes of various nature.

Through test studies with the help of various methods of artificial intelligence, it was determined that the most effective method of optimizing the route of freight transport is a modified ant algorithm, which allows dynamic routing of logistics flows in real time, taking into account the non-stationary dynamics of transport flows. Its use allows to reduce the time of searching for the optimal solution by an average of 15% and to obtain better results of path optimization in most cases.

The authors consider one of the perspective areas of further research to be the creation within the framework of the ITS concept, as CPS for Smart Logistic, of an intelligent support system for transport and logistics management of cargo transportation in real time, taking into account the impact of various external factors on the transportation process.

KEYWORDS: INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEM, SMART LOGISTICS, CYBERPHYSICAL SYSTEM, OPTIMIZATION, ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS OF OPTIMIZATION.

АВТОРИ:

Данчук Віктор Дмитрович, доктор фізико-математичних наук, професор, Національний транспортний університет, декан факультету транспортних та інформаційних технологій, e-mail: vdanchuk@ukr.net, тел. +380996376677, Україна, 01010, м.Київ, вул. М. Бойчука 42, к. 211, orcid.org/0000-0003-3936-4509.

Сватко Віталій Володимирович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: vsvatko83@gmail.com, тел. +380672351170, Україна, 01010, м.Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 347а, orcid.org/0000-0002-0712-5688.

Марченко Владислав Віталійович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: kekstarmc@gmail.com, тел. +380668900371, Україна, 01010, м.Київ, вул. М. Бойчука 42, к. 202, orcid.org/0009-0000-0334-4317.

Попченко Євгеній Сергійович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: multifiltyap@gmail.com, тел. +380936007777, Україна, 01010, м.Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 347а, orcid.org/0009-0007-9127-5489.

AUTHOR:

Danchuk V.D., Dr. Sc. (Phys.-Math.), National Transport University, Dean of the Faculty of Transport and Information Technology, e-mail: vdanchuk@ukr.net, tel. +380996376677 Ukraine, 01010, Kyiv, Boychuk str. 42, of. 211, orcid.org/0000-0003-3936-4509.

Svatko V.V., Ph.D., National Transport University, associate professor department of information systems and technology, e-mail: vsvatko83@gmail.com, tel. +380672351170 Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenka str. 1, of. 347a, orcid.org/0000-0002-0712-5688.

Marchenko V.V., National Transport University, PhD student, e-mail: kekstarmc@gmail.com, tel. +380668900371, Ukraine, 01010, Kyiv, Boychuk str. 42, of. 202, orcid.org/0009-0000-0334-4317.

Popchenko Y.S., National Transport University, PhD student, e-mail: multifiltyap@gmail.com, tel. +380936007777, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenka str. 1, of. 347a, orcid.org/0009-0007-9127-5489.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Івохін Є.В., доктор фіз.-мат. наук, професор, Київський національний університет імені Т.Г.Шевченка, професор кафедри системного аналізу та теорії прийняття рішень, Київ, Україна.

Аль-Амморі Алі Н., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, Київ, Україна.

REVIEWER:

Ivohin I.V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Professor of the Department of System Analysis and Decision Making Theory, Kyiv, Ukraine.

Al-Ammori Ali N., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Head Department of Information Analysis and Information Security, Kyiv, Ukraine.

ПОШТОМАТИ – ЯК ЕФЕКТИВНИЙ СПОСІБ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ ОСТАННЬОЇ МИЛІ ДОСТАВКИ В УКРАЇНІ

Даценко Д.Р., Національний транспортний університет, Київ, Україна,
diana11071994@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0168-8778

PARCEL LOCKERS – AS AN EFFECTIVE WAY TO SOLVE THE PROBLEM OF THE LAST MILE OF DELIVERY IN UKRAINE

Datsenko D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, diana11071994@gmail.com,
orcid.org/0000-0003-0168-8778

Постановка проблеми. Стрімке зростання електронної комерції та пов'язані з нею проблеми доставки «останньої милі», а також зростаючі вимоги клієнтів спонукали до використання поштоматів як рішення перерахованих проблем.

Поштомати є одним із найпростіших і найбільш екологічно чистих рішень для доставки «останньої милі», а також однією з найбільш досліджуваних тем останнім часом. Вони забезпечують конфіденційність споживача, надаючи швидку та ефективну доставку.

Оскільки споживачі відіграють важливу роль як одержувачі послуг і як творці послуг, погляд споживачів на поштомати є важливим показником позитивної роботи (Vakulenko et al., 2018 [31]). Замість того, щоб доставляти замовлені товари за домашніми адресами, громадяни могли завершити останню милю свого процесу доставки, використовуючи екологічний вид транспорту, щоб зменшити викиди CO₂ на останній милі (Russo et al., 2020) [19].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Популярна альтернатива доставці додому – поштомати, відомі під кількома іншими термінами, такими як «кіоски для посилок, ящики для зберігання, автоматичні камери схову, камери самообслуговування та інтелектуальні камери (parcel kiosks, locker boxes, automated lockers, self-service delivery lockers, and intelligent lockers)» (Vakulenko et al., 2018, стр. 421 [31]). Asdecker (2021) описує поштомати як групу автоматизованих шаф, які розташовані в громадських місцях і можуть використовуватися як пункт самостійного збору для доставки [2]. Дослідженню проблематики поштоматів присвячені численні публікації зарубіжних вчених та дослідників. Концепції самостійного збирання набули значного зростання популярності завдяки численным перевагам як для учасника «останньої милі», так і для клієнта. Iwan et al. (2016a) досліджували погляди клієнтів на використання поштоматів. Дослідження показує, що з імовірністю 95% користувачів поштоматів задоволені сервісом, середня оцінка була між 8,7 і 8,9 [27]. Giuffrida та ін. (2016) розглядає екологічну складову використання поштоматів; встановлено, що даний спосіб дає заощадження до двох третин викидів [29]. Проблема «останньої милі» з використанням поштоматів обговорюють Wen і Li (2016) [28]: представлено модель використання комірок зберігання для маршрутизації транспортних засобів, враховуючи відповідні аспекти, такі як викиди CO₂, часове вікно клієнта та затори. В [5] проаналізовано фактори, що впливають на поведінку споживачів електронної комерції в Україні, і визначено залежність вибору методу одержання товарів на останній милі доставки від соціально-економічних даних споживача.

Формування цілей статті. Метою статті є загальний аналіз поштоматів як альтернативного способу вирішення проблеми останньої милі доставки. Розглянуті типи, функції, проблеми, переваги і недоліки, а також їх розташування, оцінка служб доставок України, які мають власні поштомати, та які не змогли втриматися на українському ринку.

Виклад основного матеріалу. Попит на доставку товарів зріс через кілька факторів, таких як урбанізація, зростання електронної комерції та популяризація Інтернету. В результаті зростання спостерігаються деякі проблеми, такі як затори та викиди шкідливих газів. У змаганні за те, щоб постачати швидше й ефективніше, ніж конкуренти, компанії досліджують і інвестують у нові альтернативи для оптимізації ефективності доставки останньої милі [3].

Україна є 58-м за величиною ринком електронної комерції з прогнозованим доходом у 2759,1 мільйона доларів США до 2023 року, що випереджає Угорщину. EcommerceDB розглядає п'ять ринків українського ринку електронної комерції. Продукти харчування та засоби особистої гігієни є найбільшим ринком, на який припадає 33,5% доходу української електронної комерції. Далі йдуть

мода з 25,4%, електроніка та медіа з 23,6%, меблі та техніка з 10,1%, іграшки, хобі та DIY (самостійне виготовлення предметів широкого вжитку) з рештою 7,5% (рис. 1) [33].

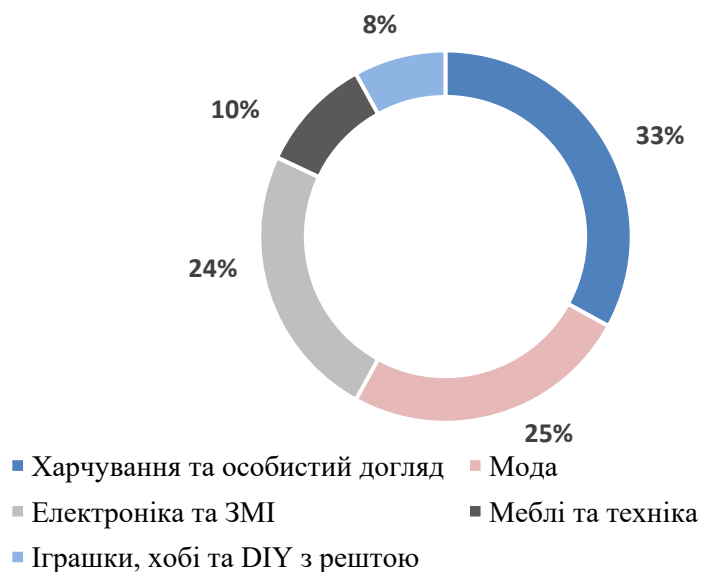


Рисунок 1 – Діаграма: дохід від української електронної комерції за сегментами
Figure 1 – Diagram: revenue from Ukrainian e-commerce by segments

У січні 2023 року в Україні було 28,57 млн інтернет-користувачів. Рівень проникнення Інтернету в Україні на початок 2023 року становив 79,2% від загальної кількості населення (36,07 млн у січні 2023 року [34]).

За даними *Statista*, ринок e-commerce в Україні показував стабільне зростання в останні роки до початку повномасштабного вторгнення. Його обсяги виглядали так (у млн доларів США): 2017 рік — 1180,65; 2018 рік — 1497,22; 2019 рік — 1848,99; 2020 рік — 2740,04; 2021 рік — 3506,98. Проте вже у 2022 році на тлі війни обсяги зменшилися майже у 12 разів і склали всього 295,85 млн доларів США. При цьому зменшення спостерігається у всіх сферах. Однак прогнози *Statista* на 2023-й вельми оптимістичні. Очікується, що цього року обсяги ринку майже досягнуть рівня 2020-го та складуть 2671,05 млн доларів. А у 2025-му стануть навіть вищими, ніж у довоєнному 2021 р. [17].

За даними звіту *SOTI* за 2020 рік, понад 61% логістичних компаній вважають «останню милу» найбільш неефективним процесом у своєму ланцюгу[18]. Однією з найбільших проблем, з якою сьогодні стикаються кур'єрські компанії, є те, що клієнти не завжди доступні в місці доставки. Це призводить до збільшення кількості невдалих поставок, що накладає додатковий тягар на операції «останньої милі» не лише з точки зору вартості, але й з точки зору екологічних проблем. Одним із ефективних методів боротьби з цією проблемою є поштомати. Комірки не тільки допомагають логістичним компаніям орієнтуватися в їхніх операціях і витратах, але й дають клієнту право вибору[26].

Під поштоюматом (поштовим автоматом) розуміють автоматизований термінал із видачі товарів, замовлених в інтернет-магазинах, з терміналом для оплати. Поштоюмат обладнано вбудованими комітками-скриньками різного розміру для зберігання замовлень і центральною консоллю із сенсорним екраном для керування процесом отримання замовлень, слотом для оплати пластиковою картою та купюроприймальником. У літературі також їх називають bentobox and parcel stations [10].

Автоматизована поштова станція — це станція приймання та видачі малогабаритних відправлень: замовлень інтернет-магазинів і компаній дистанційної торгівлі, пакетів документів і відправлень корпоративних клієнтів, а також посилок. Завантаження в поштову станцію та отримання відправлень відбувається за допомогою спеціальних кодів доступу, які вводяться на сенсорному екрані. Станції зазвичай встановлюються в місцях зосередження максимального потоку містян, що дозволяє створити додатковий комфорт користувачам завдяки можливості вибору найближчого до

будинку терміналу. Поштові або автоматизовані поштові станції вперше стали використовуватися в Німеччині в 2001 році[4].

Очевидно, що під поштою і автоматизованою поштовою станцією розуміється одне й те саме – автоматичний термінал з великою кількістю комірок, в які кур'єр доставляє посилки, а отримувачі можуть потім забрати їх (рис. 2) [12]. Термінали встановлюють різні служби доставки [7]. «Укрпошта» разом із «Новою поштою» є лідерами на ринку доставки та електронної комерції України. В Україні поштомати з'явилися у 2014 році [4].

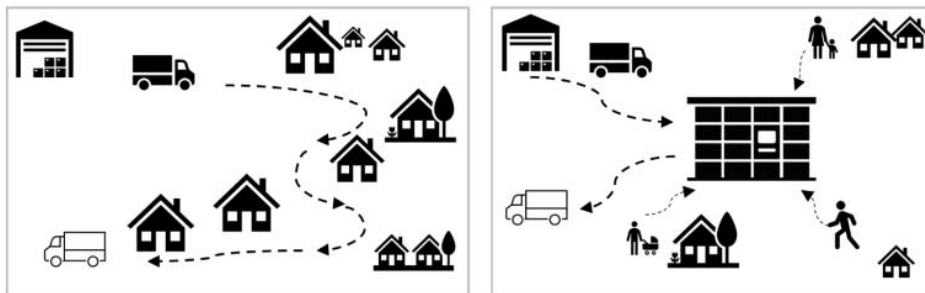


Рисунок 2 – Маршрут доставки посилки без (ліворуч) і з (праворуч) поштою
Figure 2 – Parcel delivery route without (left) and with (right) a parcel locker

У 2016 році в цьому сегменті працювало лише кілька операторів, основні з яких – ПриватБанк, InPost (з якими Нова Пошта співпрацює), PickPoint. Загальну кількість пошто마트ів у Новій Пошті оцінили на рівні 1,6-1,7 тис. [7].

Служба доставки посилок – це процес доставки товарів від роздрібних торговців до споживачів на етапі доставки «останньої милі» онлайн-покупок[21]. Служби доставки, які не витримали конкуренції в Україні по поштоютам: Justin, який належить власникам мережі Сільпо, InPost (власник компанія Integer.pl S.A), який до того вже працював на українському ринку і пішов з нього у травні 2017 року, тобто за декілька місяців до початку роботи Justin. Цей оператор зробив ставку на поштомати і захопив 45% ринку Польщі, але не зміг закріпитися в Україні. ПриватБанк, який почав розвивати цей сервіс всередині 2014 року і вже весною 2015 року оперував більше ніж 700 апаратами. Надалі працювало 1460 поштоматыв, посилки до яких доставляли всі провідні оператори. Згодом, влітку 2018 року ця мережа терміналів була викуплена Meest Express і стала частиною поштоματοї мережі компанії. Схожі процеси відбувалися і на ринку Інтайм та кур'єрської доставки iPOST [16]. У таблиці 1 можна побачити кількість поштоматыв в Україні, а також їх служби доставки або інтернет-магазинів.

Таблиця 1 – Поштомати України служб доставки та інтернет магазинів [6-9]
Table 1 – Ukrainian parcel lockers of delivery services and online stores

Служба доставки/Інтернет-магазин	Загальна кількість поштоматыв	У Києві	Отримання (О)чи Відправлення (В)
Нова Пошта (перші поштомати 2016)	13600	3056	О і В
Укрпошта (2021)	пілотний проект (30)	30	О
Meest (2018)	Понад 1500	1200	О і В
ROZETKA(грудень 2018)	52	52	О

Нова Пошта є другою за величиною оператором камер зберігання посилок у Європі. Провідним оператором є InPost у Польщі – трохи більше 20 000 поштоматыв; Третьою за величиною оператором є DPDHL у Німеччині – приблизно 9 000 камер схову [13].

Найбільше поштоматыв Нової пошти у Києві — 3056, на другому місці Дніпро — 1150, далі Львів — 608, Запоріжжя — 474, Одеса — 464 та інші міста[1].

У 2020 році особливу увагу Нова пошта приділила відкриттю поштоматів. Так, зручні поштомати з'явилися у торговельних та бізнес-центрах, супермаркетах, магазинах та навіть у під'їздах: 3025 поштоматів по Україні: 271 – у торгових центрах, бізнес-центрах, 1768 – у під'їздах, 986 – на вулицях. На рисунку 3 показано як змінювалася кількість відділень і поштоматів у 2022 році з січня по липень 2022 р.

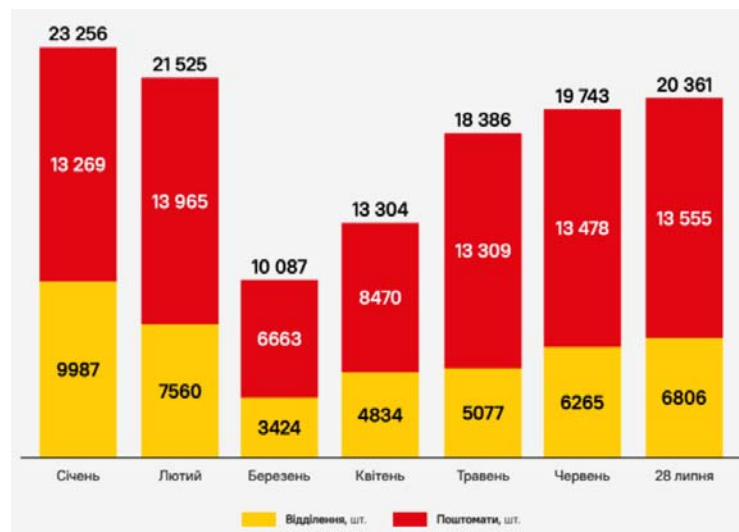


Рисунок 3 – Динаміка зміни кількості відділень і поштоматів „Нової пошти” у 2022 році [24]
Figure 3 – The shift of number of "Nova poshta" branches and parcel lockers in 2022

Поштомати, як правило, розташовуються в місцях з великою відвідуваністю (поруч із супермаркетами, заправними станціями, торговими центрами тощо). Розташування є найважливішою та найскладнішою характеристикою реалізації поштоматів.

Типи поштоматів Нової пошти:

1. Домашній – поштомат, який знаходиться в домі на першому поверсі під'їзду, можна забирати, або відправляти посылку(цілодобово,24/7).
2. Вуличний – поштомат, що завжди по дорозі. Отримувати та відправляти дорогою на роботу чи в магазині.

У вересні 2021 «Укрпошта» запустила пілотний проєкт з впровадження поштоматів у своїх відділеннях. Для пілотного проєкту поштомати встановили в частині київських відділень. У майбутньому компанія планує масштабувати цю послугу по всій країні з інтеграцією в мобільному застосунку, особистому кабінеті тощо.

Проблеми з поштоматами [22, 25]:

1. Забір посылки з поштомату(не забирають посылку)
2. Кінцева вартість посилок стає вищою, ніж заявлено під час компанії.
3. Проблема з додатком при відкритті комірки поштомата
4. Затримка посылки(через автоматичну переадресацію)
5. Відсутність вільних місць(немає вільної комірки)
6. Пошкоджена посылка(ненадійні у дощову погоду)
7. Пошкодження поштомату (крадіжка посилок)
8. Плутанина посилок в комірках.

Поштомат виконує **чотири основних функцій**: приймає посылку, короткостроково зберігає посылку, видає посылку, відправляє посылку(не у всіх служб доставки).

Додаткові функції Нової пошти:

- “Пункт передачі” через поштомат – можна залишити посылку у будь-якому поштоматі, щоб одержувач зміг забрати її у цьому ж поштоматі.
- „Інший отримувач” – близька людина, друг чи сусід може отримати посылку.
- „Пакування” – служба доставки запакує посылку самостійно.

Клієнт не змушений чекати вдома, щоб отримати пакунок, а може забрати його в найбільш зручний для нього час (Bell, 2021) (табл. 2 – Основні переваги та недоліки поштоматів). Доставляючи товари до поштоматів, перевізник може консолідувати доставку набагато легше: це може підвищити

ефективність витрат і скоротити час доставки та відстань для доставки, що означає менше викидів і заторів (Visser та ін., 2014). Посилки можна доставити поштою в будь-який час протягом дня (Bell, 2021). На рисунку 4 зображені причини скористатися поштою.

Таблиця 2 – Основні переваги та недоліки поштою [10,32]
Table 2 – The main advantages and disadvantages of parcel lockers

Переваги	Недоліки
Безпека	Не завжди доступний(наявність вільних комірок)
Швидкість	Невеликі розміри ящиків для посилок
Скорочення викидів	Обмеження типу товару
Зниження рівня заторів	Необхідна тісна співпраця
Консолідація	Мінімальний обсяг необхідних товарів
Доставка без нагляду	Модальний вибір клієнта
Відсутність часового вікна, враховуючи непіковий час поставки	

За даними Lemke et al. (2016), ефективність цього рішення також залежить від підтримки різних зацікавлених сторін, крім постачальників логістичних послуг: клієнтів, власника землі, де можуть бути встановлені камери зберігання посилок, і місцевої влади (міської адміністрації). Зокрема, місто має співпрацювати з постачальниками логістичних послуг на ранніх стадіях проекту (наприклад, для вибору місць для камер схову) (Lemke та ін., 2016).



Рисунок 4 – Причини скористатися поштою [23]
Figure 4 – Reasons to use a parcel locker

Тривалість перебування – загальний час зберігання посилки у поштою до фактичного отримання одержувачем – є, мабуть, найважливішим фактором для операторів посилок, коли розглядають поштою [20].

У таблиці 3 зображено погляди споживача, продавця та перевізника щодо поштою. Для споживача (одержувача) ключовим є вибір варіантів доставки. Для продавця головне – мати такий вибір доставки, який збільшить показник заповненої шафи та забезпечить високий та швидкий результат першої доставки. Для перевізників ключовим є пропускну здатність і хороше обслуговування клієнтів (ефективно та результативно).

Висновки. З розвитком електронної комерції в останні роки для компаній стало більш важливим доставляти товари ефективно та продуктивно, щоб залишатися конкурентоспроможними на ринку. Зважаючи на крок «останньої милі», використання поштою є однією з альтернатив вирішення проблем доставки кінцевим споживачем. Автоматизована поштова станція вирішує проблему відсутності користувача під час доставки, оптимізації парку транспортних засобів, що використовується для доставки, і, як наслідок, зменшення викидів забруднюючих газів.

У цій роботі було розглянуто аналіз загальних відомостей щодо поштою, а саме: типи, функції, проблеми, переваги і недоліки їх, оцінка служб доставок України, які мають власні поштою.

Таблиця 3 – Погляди споживача, продавця та перевізника щодо поштомата [35]
Table 3 – Views of the consumer, the merchant and the carrier regarding the parcel locker [35]

Погляди	Критерії	Під-критерії
Погляд споживача	Зручність	Зручність і гнучкість – доступ 24/7
		Розташований «на моєму шляху», з легким доступом і паркуванням
		Фізична близькість
	Орієнтація на клієнта	Клієнт має вибір
		Простота використання
		Швидко та легко – віддалений доступ, усуває черги
	Ефективність	Низька/приваблива ціна доставки, швидка доставка(зазвичай наступного дня)
		Високий успіх доставки з першої спроби
Погляд продавця	Доставка	Безпечне місце для посилок знижує рівень збитків
		Перша спроба – високий рівень успіху
		Хороший клієнтський досвід (Customer Experience або CX)
		Просте повернення доступне безкоштовно/низько
	Клієнтський досвід	Дуже гнучкий
Погляд перевізника	Розташування	Міські райони, ідеально розташовані в спальних районах, «близько до дому»
		Доступ до АРМ зазвичай 24/7
		Потрібна хороша та густа мережа
	Сервіс доставки	Найбільш ефективна, найбільша кількість посилок на зупинку
		Автоматизований процес
		Успіх доставки з першої спроби
	Клієнтський досвід	Відсутність прямого контакту зі споживачем
		Висока можливість керувати своєчасною доставкою відповідно до SLA та загалом найкращого CX

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вікторія Горбік. Як працюють поштомати від «Нова пошта», Meest, ROZETKA та «Укрпошта», і що потрібно, аби ними скористуватись, 19.11.2021. [Електронний ресурс] – <https://dev.ua/news/yak-pratsiuiut-poshtomaty>
2. Asdecker, B. (2021). Building the E-Commerce Supply Chain of the Future: What Influences Consumer Acceptance of Alternative Places of Delivery on the LastMile. Logistics, 5(90), 1–17. <https://doi.org/10.3390/logistics5040090>
3. W.J.P. Oliveira. Last Mile Delivery with Lockers: Formulation and Heuristic, 2022. [Електронний ресурс] – <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/30484/1/texto%20completo.pdf>
4. В Україні з'явилися "поштомати".ІТ і Телеком, 04.08.2014. [Електронний ресурс] – Веб-сайт Delo.ua
5. Kuniyska O. et al. Optimizing last mile delivering through the analysis of shoppers' behaviour //Decision Support Methods in Modern Transportation Systems and Networks. – Cham : Springer International Publishing, 2021. – С. 129-147.
6. Тетяна Самойлова. Новий закон змінює роботу Укрпошти, Нової пошти, Meest, ROZETKA – що треба знати, 09.11.2022. [Електронний ресурс] – Веб-сайт informator.ua
7. Вікторія Горбік. Як працюють поштомати від «Нова пошта», Meest, ROZETKA та «Укрпошта», і що потрібно, аби ними скористуватись, 19.11.2021. [Електронний ресурс] – Веб-сайт dev.ua
8. Нова Пошта сьогодні – «Нова Пошта»| Доставка майбутнього. [Електронний ресурс] – Веб-сайт novaposhta.ua
9. Тетяна Самойлова. Як скористатись поштою від "Нової пошти": інструкція, 14.11.22. [Електронний ресурс] – Веб-сайт informator.ua
10. Dupont, Maxime. Sustainable solutions in first and last mile logistics: potential benefits and barriers, 2021-2022. [Електронний ресурс] – https://matheo.uliege.be/bitstream/2268.2/14552/4/Thesis_Maxime_Dupont_s192398.pdf

11. Şebnem İNDAP. The Status of Cargo Companies in E-Commerce Logistics and Innovative Solution Proposals to Improve Their Competitiveness, 2019. [Електронний ресурс] – <https://www.betadergi.com/jeim/yonetim/icerik/makaleler/136-published.pdf>
12. Тимур Алієв. Доставка товарів через поштомати: організація та застосування РРО/ПРРО, 28.08.2020. [Електронний ресурс] – <https://uteka.ua/ua/publication/commerce-12-hozyajstvennye-operacii-9-dostavka-tovarov-cherez-pochtomaty-organizaciya-i-primenenie-rroprro>
13. Mirek Gral. Exclusive interview: Oleksandr Bulba, CEO at Nova Poshta, 2022. [Електронний ресурс] – <https://www.parcelandpostaltechnologyinternational.com/features/exclusive-interview-oleksandr-bulba-ceo-at-nova-poshta.html>
14. Statista Research Department. Number of unique automated parcel machines (APMs) in Central and Eastern Europe (CEE) in 2021, by selected country, 2022. [Електронний ресурс] – <https://www.statista.com/statistics/1333631/automated-parcel-machines-cee-by-country/>
15. Олександр Іванов. Це буде найбільша мережа в Європі. Нова пошта до кінця року відкриє 10 тисяч поштоматів, 13.09.2021. [Електронний ресурс] – <https://biz.nv.ua/ukr/markets/nova-poshta-vidkrye-naubylshu-merezhu-poshtomativ-u-yevropi-novini-ukrajini-50182950.html>
16. Констянтин Симоненко. Зникла посилка: які сервіси доставки не витримали конкуренції в Україні, 03.11.2022. [Електронний ресурс] – <https://rau.ua/novyni/servisi-dostavki-ne-vitrymali/>
17. Іванина Роман. Як змінився ринок eCommerce в Україні у 2022 році, 29.02.2023. [Електронний ресурс] – <https://elit-web.ua/ua/blog/kak-izmenilsja-rynok-ecommerce-v-ukraine-v-2022-godu>
18. Володимир Тиравський. «Остання миля»: як виявити слабкі місця у доставці товарів до споживачів і що з цим робити, 08.10.2021. [Електронний ресурс] – <https://rau.ua/novyni/ostannja-milja/>
19. Maaike Buser. The willingness of parcel locker use: A comparative case study of Groningen and Ten Boer, 11.06.2021.
20. Joao Lopes. Electronic Parcel Lockers and E-commerce – Latest insights 2021, 10.12.2021.
21. Nahry Yusuf, Alvin Farhan Vilardi. Consumer's point of view on parcel lockers in DKI Jakarta, 2019. [Електронний ресурс] – https://www.researchgate.net/publication/331279048_Consumer%27s_point_of_view_on_parcel_lockers_in_DKI_Jakarta
22. Ксенія Лисновська. Клієнти "Нової пошти" скаржаться на сервіс: посилки часто переадресовують, 13.01.2023. [Електронний ресурс] – <https://economics.novyny.live/business/kliienti-novoyi-poshti-skarzhatsia-na-neiakisnu-robotu-poshtomativ-82414.html>
23. Поштомат: 5 причин скористатися ним замість відділення, 26.06.2020. [Електронний ресурс] – <https://rau.ua/novyni/novini-partneriv/pochtomat-5/>
24. Денис Каціло. Вячеслав Климов та Володимир Поперешнюк — підприємці року за версією Forbes. Як власники «Нової пошти» рятували свою компанію, 16.12.2022. [Електронний ресурс] – <https://forbes.ua/richest/vidshtovkhnutis-vid-dna-yak-vlasniki-novoi-poshti-pereosmislyuyut-spravu-svogo-zhittya-14092022-8282>
25. Facebook, 2016. [Електронний ресурс] – https://www.facebook.com/nova.poshta.official/posts/2841701995919281/?locale=uk_UA
26. Kutay Akdogan. Parcel Locker Applications in Turkey, 2023. [Електронний ресурс] – https://www.researchgate.net/publication/367101571_Parcel_Locker_Applications_in_TurkeyTurkiye%27deki_Akilli_Kargo_Dolabi_Uygulamalari
27. Iwan, S., Korczak, J., & Lemke, J. 2016a. Usability of the parcel lockers from the customer perspective – the research in Polish Cities. *Transportation Research Procedia* 12, 272-287
28. Wen, J. and Li, Y. (2016). Vehicle routing optimization of urban distribution with self-pickup lockers. In 2016 International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS), pages 1–6. IEEE.
29. Giuffrida, M., Mangiaracina, R., Perego, A., & Tumino, A., 2016. Home Delivery vs Parcel Lockers: an economic and environmental assessment. Department of Management, Economics and Industrial Engineering. Milan: Politecnico di Milano
30. Faugere, L. and Montreuil, B. (2016). Hyperconnected city logistics: Smart lockers terminals & last mile delivery networks. In *Proceedings of the 3rd International Physical Internet Conference*, Atlanta, GA, USA, volume 29.
31. Vakulenko, Y., Hellström, D., & Hjort, K. (2018). What's in the parcel locker? Exploring customer value in e-commerce last mile delivery. *Journal of Business Research*, 88, 421–427. [Електронний ресурс] – <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2017.11.033>
32. William Butterworth. What Is A Parcel Locker? (Explained), 27.08.2022. [Електронний ресурс] – <https://www.thecoldwire.com/what-is-a-parcel-locker/>

33. eCommerce market in Ukraine, 10.04.2023. [Електронний ресурс] – <https://ecommercedb.com/markets/ua/all>
34. SIMON KEMP. DIGITAL 2023: UKRAINE, 14.02.2023. <https://datareportal.com/reports/digital-2023-ukraine>
35. Last Mile Experts. Out-of-home delivery in Europe 2021 PUDO and parcel lockers, 2021. [Електронний ресурс] – https://shipinroom.upidoag.ch/wp-content/uploads/2021/04/LME_UPIDO_OOH_Europe_2021.pdf

REFERENCES

1. Viktoriya Horbik. Yak pratsyuyut' poshtomaty vid «Nova poshta», Meest, ROZETKA ta «Ukrposhta», i shcho potribno, aby nymy skorystuvats' [How do parcel lockers from Nova Poshta, Meest, ROZETKA and Ukrposhta work, and what is needed to use them], 19.11.2021. Available at: <https://dev.ua/news/yak-pratsiuiut-poshtomaty> [in Ukrainian].
2. Asdecker, B. (2021). Building the E-Commerce Supply Chain of the Future: What Influences Consumer Acceptance of Alternative Places of Delivery on the LastMile. Logistics, 5(90), 1–17. <https://doi.org/10.3390/logistics5040090>
3. W.J.P. Oliveira. Last Mile Delivery with Lockers: Formulation and Heuristic, 2022. Available at: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/30484/1/texto%20completo.pdf>
4. V Ukrayini z'yavlylysia "poshtomaty" ["Parcel lockers" appeared in Ukraine]. IT i Telekom, 04.08.2014. Available at: Website Delo.ua [in Ukrainian].
5. Kunytska O. et al. Optimizing last mile delivering through the analysis of shoppers' behaviour // Decision Support Methods in Modern Transportation Systems and Networks. – Cham : Springer International Publishing, 2021. – S. 129-147.
6. Tetyana Samoylova. Novyy zakon zminyuye robotu Ukrposhty, Novoyi poshty, Meest, ROZETKA – shcho treba znaty [The new law changes the work of Ukrposhta, Nova poshta, Meest, ROZETKA – what you need to know], 09.11.2022. Available at: Website informator.ua [in Ukrainian].
7. Mykola Oliarnyk. Nova poshta rozvyvatyme vlasnu merezhu poshtomativ, 24.05.2016. Available at: <https://biz.nv.ua/ukr/markets/nova-poshta-rozvivatime-vlasnu-merezhu-poshtomativ-131440.html> [in Ukrainian].
8. Nova Poshta s'ohodni – «Nova Poshta» | Dostavka maybutn'oho [Nova Poshta today is "Nova Poshta". Delivery of the future]. Available at: Website novaposhta.ua [in Ukrainian].
9. Tetyana Samoylova. Yak skorystatys' poshtomatom vid "Novoyi poshty": instruktsiya [How to use the Nova Poshta parcel lockers: instructions], 14.11.22. Available at: Website informator.ua [in Ukrainian].
10. Dupont, Maxime. Sustainable solutions in first and last mile logistics: potential benefits and barriers, 2021-2022. Available at: https://matheo.uliege.be/bitstream/2268.2/14552/4/Thesis_Maxime_Dupont_s192398.pdf
11. Şebnem İNDAP. The Status of Cargo Companies in E-Commerce Logistics and Innovative Solution Proposals to Improve Their Competitiveness, 2019. Available at: <https://www.betadergi.com/jeim/yonetim/icerik/makaleler/136-published.pdf>
12. Tymur Aliyev. Dostavka tovariv cherez poshtomaty: orhanizatsiya ta zastosuvannya RRO/PRRO [Delivery of goods through parcel lockers: organization and application of the RRO/PRRO], 28.08.2020. Available at: <https://uteka.ua/ua/publication/commerce-12-xozyajstvennye-operacii-9-dostavka-tovarov-cherez-pochtomaty-organizaciya-i-primenenie-rroprro> [in Ukrainian].
13. Mirek Gral. Exclusive interview: Oleksandr Bulba, CEO at Nova Poshta, 2022. Available at: <https://www.parcelandpostaltechnologyinternational.com/features/exclusive-interview-oleksandr-bulba-ceo-at-nova-poshta.html>
14. Statista Research Department. Number of unique automated parcel machines (APMs) in Central and Eastern Europe (CEE) in 2021, by selected country, 2022. Available at: <https://www.statista.com/statistics/1333631/automated-parcel-machines-cee-by-country/>
15. Oleksandr Ivanov. Tse bude naybil'sha merezha v Yevropi. Nova poshta do kintsya roku vidkryye 10 tysyach poshtomativ [It will be the largest network in Europe. Nova poshta will open 10,000 parcel lockers by the end of the year], 13.09.2021. Available at: <https://biz.nv.ua/ukr/markets/nova-poshta-vidkrye-naybilshu-merezhu-poshtomativ-u-yevropi-novini-ukrajini-50182950.html> [in Ukrainian].
16. Konstyantyn Symonenko. Znykla posylka: yaki servisy dostavky ne vytrymaly konkurenciyi v Ukrayini [The package disappeared: which delivery services could not withstand the competition in Ukraine], 03.11.2022. Available at: <https://rau.ua/novyni/servisi-dostavki-ne-vitrimali/> [in Ukrainian].

17. Ivanyna Roman. Yak zminyvsya rynek eCommerce v Ukraini u 2022 rotsi [How the eCommerce market in Ukraine changed in 2022], 29.02.2023. Available at: <https://elit-web.ua/ua/blog/kak-izmenilsja-rynok-ecommerce-v-ukraine-v-2022-godu>
18. Volodymyr Tyravs'kyy. «Ostannya mylya»: yak vyavyty slabki mistysya u dostavtsi tovariv do spozhyvachiv i shcho z tsym robyty["The last mile": how to identify weak points in the delivery of goods to consumers and what to do about it], 08.10.2021. Available at: <https://rau.ua/novyni/ostannja-milja/> [in Ukrainian].
19. Maaike Buser. The willingness of parcel locker use: A comparative case study of Groningen and Ten Boer, 11.06.2021.
20. Joao Lopes. Electronic Parcel Lockers and E-commerce – Latest insights 2021, 10.12.2021.
21. Nahry Yusuf, Alvin Farhan Vilardi. Consumer's point of view on parcel lockers in DKI Jakarta, 2019. Available at: https://www.researchgate.net/publication/331279048_Consumer%27s_point_of_view_on_parcel_lockers_in_DKI_Jakarta
22. Kseniya Lysnov'ska. Kliyenty "Novoyi poshty" skarzhat'sya na servis: posylky chasto pereadresovuyut' [Nova Poshta customers complain about the service: parcels are often redirected], 13.01.2023. Available at: <https://economics.novyny.live/business/kliienti-novoyi-poshti-skarzhatsia-na-neiakysnu-robotu-poshtomat-82414.html> [in Ukrainian].
23. Poshtomat: 5 prychyn skorystatsya nym zamist' viddilennya [Parcel lockers: 5 reasons to use it instead of a branch], 26.06.2020. Available at: <https://rau.ua/novyni/novini-partneriv/pochtomat-5/> [in Ukrainian].
24. Denys Katsylo. Vyacheslav Klymov ta Volodymyr Popereshnyuk — pidpryyemtsi roku za versiyeyu Forbes. Yak vlasnyky «Novoyi poshty» ryatuvaly svoyu kompaniyu [How the owners of Nova Poshta saved their company], 16.12.2022. Available at: <https://forbes.ua/richest/vidshtovkhnutis-vid-dna-yak-vlasniki-novoi-poshti-pereosmislyuyut-spravu-svogo-zhittya-14092022-8282> [in Ukrainian].
25. Facebook, 2016. Available at: https://www.facebook.com/nova.poshta.official/posts/2841701995919281/?locale=uk_UA
26. Kutay Akdogan. Parcel Locker Applications in Turkey, 2023. Available at: https://www.researchgate.net/publication/367101571_Parcel_Locker_Applications_in_TurkeyTurkiye%27de_ki_Akilli_Kargo_Dolabi_Uygulamalari
27. Iwan, S., Korczak, J., & Lemke, J. 2016a. Usability of the parcel lockers from the customer perspective – the research in Polish Cities. *Transportation Research Procedia* 12, 272-287
28. Wen, J. and Li, Y. (2016). Vehicle routing optimization of urban distribution with self-pickup lockers. In 2016 International Conference on Logistics, Informatics and Service Sciences (LISS), pages 1–6. IEEE.
29. Giuffrida, M., Mangiaracina, R., Perego, A., & Tumino, A., 2016. Home Delivery vs Parcel Lockers: an economic and environmental assessment. Department of Management, Economics and Industrial Engineering. Milan: Politecnico di Milano
30. Faugere, L. and Montreuil, B. (2016). Hyperconnected city logistics: Smart lockers terminals & last mile delivery networks. In *Proceedings of the 3rd International Physical Internet Conference*, Atlanta, GA, USA, volume 29.
31. Vakulenko, Y., Hellström, D., & Hjort, K. (2018). What's in the parcel locker? Exploring customer value in e-commerce last mile delivery. *Journal of Business Research*, 88, 421–427. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2017.11.033>
32. William Butterworth. What Is A Parcel Locker? (Explained), 27.08.2022. Available at: <https://www.thecoldwire.com/what-is-a-parcel-locker/>
33. eCommerce market in Ukraine, 10.04.2023. Available at: <https://ecommercedb.com/markets/ua/all>
34. SIMON KEMP. DIGITAL 2023: UKRAINE, 14.02.2023. Available at: <https://datareportal.com/reports/digital-2023-ukraine>
35. Last Mile Experts. Out-of-home delivery in Europe 2021 PUDO and parcel lockers, 2021. Available at: https://shipinroom.upidoag.ch/wp-content/uploads/2021/04/LME_UPIDO_OOH_Europe_2021.pdf

РЕФЕРАТ

Даценко Д.Р. Поштомати – як ефективний спосіб вирішення проблеми останньої милі доставки України /Д.Р. Даценко// Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

В статті розглянуто дохід української електронної комерції за сегментами, аналіз загальних відомостей щодо поштоматів, кількість поштоматів в Україні (служби доставки, інтернет магазин),

динаміка кількості відділень і поштоматів „Нової пошти” у 2022 році, причини скористатися поштоматами, погляди споживача, продавця, перевізника щодо поштомата.

Об’єкти – система функціонування поштоматів (автоматизовані поштові станції).

Метою статті є загальний аналіз поштоматів як альтернативного способу вирішення проблеми останньої милі доставки. Розглянуті типи, функції, проблеми, переваги і недоліки, а також їх розташування, оцінка служб доставок України, які мають власні поштомати, та які не змогли втриматися на українському ринку.

З розвитком електронної комерції в останні роки для компаній стало більш важливим доставляти товари ефективно та продуктивно, щоб залишатися конкурентоспроможними на ринку. Зважаючи на крок «останньої милі», використання поштоматів є однією з альтернатив вирішення проблем доставки кінцевим споживачам. Автоматизована поштова станція вирішує проблему відсутності користувача під час доставки, оптимізації парку транспортних засобів, що використовується для доставки, і, як наслідок, зменшення викидів забруднюючих газів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПОШТОМАТ, СЛУЖБИ ДОСТАВКИ, ЕЛЕКТРОННА КОМЕРЦІЯ, ОСТАННЯ МИЛЯ, ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ABSTRACT

Datsenko D.R. Parcel lockers – as an effective way to solve the problem of the last mile delivery in Ukraine. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The article examines the income of Ukrainian e-commerce by segments, an analysis of general information about parcel lockers, the number of parcel lockers in Ukraine (delivery services, an online store), the dynamics of the number of "Nova poshta" branches and parcel lockers in 2022, reasons for using parcel lockers, views of the consumer, the merchant and the carrier regarding the parcel locker..

Objects – the system of functioning of parcel lockers (automated parcel machines – APM).

The purpose of the article is a general analysis of parcel lockers as an alternative way to solve the last mile delivery problem. Considered types, functions, problems, advantages and disadvantages, as well as their location, assessment of delivery services of Ukraine, which have their own parcel lockers, and which could not hold on to the Ukrainian market.

With the development of e-commerce in recent years, it has become more important for companies to deliver goods efficiently and productively in order to remain competitive in the market. Taking into account the "last mile" step, the use of parcel lockers is one of the alternatives for solving the problems of delivery to end consumers. An automated parcel machines solves the problem of the absence of a user during delivery, optimizing the fleet of vehicles used for delivery and, as a result, reducing the emission of polluting gases.

KEY WORDS: PARCEL LOCKER, DELIVERY SERVICES, ELECTRONIC COMMERCE, LAST MILE, EFFICIENCY.

АВТОР:

Даценко Діана Русланівна, Національний транспортний університет, аспірант кафедри транспортних систем і безпеки дорожнього руху e-mail: diana11071994@gmail.com. Тел.+38(097)-321-83-72, Україна, 01010, м. Київ вул. Суворова 1, к. 435, orcid.org/0000-0003-0168-8778.

AUTHOR:

Datsenko Diana, National Transport University, Postgraduate Student, Department of Transport systems and traffic safety, e-mail: diana11071994@gmail.com. Tel +38 (097) -321-83-72, Ukraine, 01010, m. Kyiv street. Suvorov 1, k. 435, orcid.org/0000-0003-0168-8778.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

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

Галкін А.С., доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків, Україна.

REVIEWERS:

Prokudin G.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of International Transport and Customs Control, Kyiv, Ukraine.

Galkin A.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine.

НАПРЯМИ ТА ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ З ГАЛУЗЕВОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Дмитриченко М.Ф., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, dmitrichenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-4223-1838

Білякович М.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, biliakovych.m@gmail.com, orcid.org/0009-0000-2760-0127

Мусійко В.Д., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, musvd48@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9983-3296

Токін О.П., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, a2atp@meta.u, orcid.org/0000-0002-7353-4228

DIRECTIONS AND WAYS OF IMPROVING THE QUALITY OF TRAINING OF MECHANICAL ENGINEERING INDUSTRY SPECIALISTS

Dmytrychenko M.F., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, dmitrichenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-4223-1838

Biliakovych M.O., Candidate of Science (Engineering), National Transport University, Kyiv, Ukraine, biliakovych.m@gmail.com, orcid.org/0009-0000-2760-0127

Musiiko V.D., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kiev, Ukraine, musvd@i.ua, orcid.org/0000-0001-9983-3296

Tokin O.P., Candidate of Science (Engineering), National Transport University, Kyiv, Ukraine, a2atp@meta.u, orcid.org/0000-0002-7353-4228

Постановка проблеми та її актуальність. З огляду на поточний стан транспортної інфраструктури України, з урахуванням знищення та пошкодження її об'єктів внаслідок бойових дій, гостро постає питання щодо комплексного вирішення проблеми забезпечення стабільного відновлення, розвитку та функціонування дорожньо-транспортної галузі країни. Вирішення зазначеної проблеми полягає у швидкому відновленні зруйнованих ділянок автомобільних доріг та штучних споруд на них, створенні умов для безпечного і швидкого перевезення вантажів та пасажирів автомобільним транспортом.

При цьому мають бути дотримані чіткі пріоритети для держави щодо забезпечення її обороноздатності, розвитку регіонів, зростання рівня інтеграції української мережі автомобільних доріг до Європейської та безпеки дорожнього руху. Тому для розвитку економіки України першочерговими завданнями є впровадження сучасних матеріалів, технологій будівництва, систем управління транспортними комунікаціями, що передбачено завданнями з відновлення України.

Реалізація зазначених вимог потребує підготовки [1] висококваліфікованих фахівців-дорожників та фахівців-механіків для забезпечення швидкого та якісного транспортного будівництва, що потребує використання новітньої дорожньо-будівельної техніки.

З урахуванням економічної ситуації в країні відновлення транспортної інфраструктури доведеться виконувати з використанням переважно імпоротної техніки. При цьому слід мати на увазі, що сучасні дорожньо-будівельні машини провідних світових виробників є мехатронними системами, в яких робоче обладнання механічне, а системи керування – комп'ютерні. Прикладом можуть слугувати асфальто-бетонні та цементно-бетонні заводи і установки, асфальтоукладальники, профілювальники земляного полотна, ресайклери та інші машини. Так, наприклад, на асфальтоукладальниках фірми «Caterpillar» для контролю параметрів укладки асфальтобетону встановлено багатофункціональні комп'ютерні системи автоматичного керування «Trimble» PC400 і PC900. Інформація про параметри укладки знімається ультразвуковими датчиками та поступає в комп'ютер яким, з використанням теорії усереднення показників укладки покриття, забезпечується точна прив'язка реальної поверхні до проектною поверхні, або поперечного уклону дороги. Точність укладки та нерівності поверхні в цьому випадку 1...3 мм [2].

В дорожньо-будівельних машинах комп'ютерні системи «Trimble» використовуються від простих лазерних 2D до супутникових 3D, або систем з роботизованим тахеометром.

Вище викладене обумовлює вимоги до рівня наукової та професійної підготовки фахівців, які будуть забезпечувати конструювання, експлуатацію, сервіс та ремонт сучасних підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх та військово-інженерних машин.

Аналіз публікацій. Виконання програми відновлення транспортної інфраструктури потребує суттєвого підвищення темпів та якості виконання дорожньо-будівельних і ремонтних робіт. Це можливо шляхом удосконалення методів проектування автомобільних доріг та штучних споруд на них, виробничих процесів будівництва та експлуатації об'єктів транспортної інфраструктури і обумовлюються діючими Державними будівельними нормами і правилами [3-6]. Реалізація програми відновлення України ставить нові додаткові умови щодо підготовки фахівців дорожньо-транспортного комплексу, в тому числі і фахівців-механіків [7-10], які будуть безпосередньо задіяні у виконанні робіт по будівництву та реконструкції автомобільних доріг. При цьому слід мати на увазі, що сучасне технологічне обладнання та машини для виконання робіт на об'єктах транспортної інфраструктури являють собою мехатронні системи [2, 8], а рівень підготовки фахівців, що будуть забезпечувати проектування, виробництво, експлуатацію та сервісне обслуговування таких систем і машин має бути відповідним.

Мета статті. Обґрунтування напрямів та шляхів підвищення якості підготовки фахівців галузевого машинобудування.

Виклад основного матеріалу. Підготовка фахівців-машинобудівників здійснюється в університеті за спеціальностями «Галузеве машинобудування» та «Прикладна механіка» згідно освітньо-професійних програм «Будівельні та дорожні машин і устаткування», «Експлуатація, випробування та сервіс машин», «Прикладна механіка». Освітній процес, відповідно вказаних програм, забезпечується сучасним лабораторно-технічним обладнанням та розробленою навчально-методичною документацією. В повній мірі використовуються можливості навчального полігону університету, філії кафедри інженерії машин транспортного будівництва на базі представництва в Україні компанії JCB та навчально-наукового центру дорожніх машин «НТУ – Zeppelin-Caterpillar».

В умовах кризи промислового виробництва в країні, передусім галузі машинобудування, все важче забезпечувати якісну підготовку фахівців з використанням найсучасніших світових зразків техніки та технологій, рівень яких відповідає європейським стандартам.

Причиною цього є брак коштів на придбання необхідного для проведення навчальних занять сучасного технологічного, дослідницького, комп'ютерного обладнання та зразків машин. Особливо гостро постає це питання в умовах воєнного стану.

На наш погляд, одним з раціональних та ефективних шляхів підвищення рівня підготовки випускників університету в цей час є організація філій кафедр на виробництві, спільних навчальних та наукових центрів, використання в освітньому процесі підготовки фахівців матеріальної бази та технічного оснащення провідних промислових підприємств, їх кадрового та інтелектуального потенціалу.

Прикладом реалізації вище зазначеного є робота створеного спільно Національним транспортним університетом та компанією «Zeppelin-Caterpillar», в рамках реалізації Договору про партнерство та ділове співробітництво, унікального Навчально-наукового центру дорожніх машин.

Компанія «Caterpillar» (США) – найпотужніший у світі виробник дорожньо-будівельних машин та обладнання, входить до трійки лідерів у світі машинобудівних компаній.

Для оснащення центру компанія передала університету комплект діагностувального та вимірювального обладнання, ліцензовані програми комп'ютерного діагностування дорожньо-будівельної техніки, екскаватор CAT 305, з забезпеченням можливості подальшого оновлення модельного ряду машин. На сьогоднішній день переоснащення центру новою технікою здійснено втретє. Варто відзначити, що навчально-наукових лабораторій дорожніх машин подібного типу в закладах вищої освіти України більше немає. Мета створення навчально-наукового центру – підвищення освітньо-наукового рівня та якості підготовки студентів університету, насамперед, за напрямками конструювання та експлуатації машин як мехатронних систем для роботи на підприємствах машинобудівного та дорожньо-транспортного комплексів України та в організаціях, що займаються експлуатацією, випробуваннями і сервісом дорожньо-будівельної техніки. Кваліфікація фахівців для роботи на машинобудівних підприємствах, конструкторських бюро, дорожньо-будівельних компаніях та сервісних центрах обумовлюється не лише високим рівнем теоретичної підготовки, але і практичної, яка з відкриттям центру стала значно змістовнішою та більш ефективною. Це дозволяє відкоригувати по суті та покращити освітньо-професійні програми підготовки фахівців за спеціальностями не тільки «Галузеве машинобудування» і «Прикладна механіка», а також «Енергетичне машинобудування» та «Транспортне будівництво».

В центрі проводяться заняття з використанням мультимедійного проектора, сучасного ліцензованого програмного забезпечення, спеціального діагностувального обладнання та електронних ресурсів мережі Internet. Для вирішення навчальних завдань в лабораторії використовуються комп'ютери, на яких компанія «Zeppelin-Caterpillar» встановила спеціальне ліцензоване програмне забезпечення з доступом до основної бази даних компанії. Воно активно використовується в комплексі з діагностичними обладнанням для підготовки магістрів, наукових досліджень (рис. 1).



Рисунок 1 – Проведення лабораторних робіт в приміщенні навчально-наукового центру дорожніх машин «НТУ – Zeppelin-Caterpillar»

Figure 1 – Conducting laboratory work in the premises of the educational and scientific center of road machines «NTU – Zeppelin-Caterpillar»

Обладнання навчально-наукового центра дорожніх машин регулярно оновлюється та удосконалюється. В цей час компанія закінчує виготовлення стендів-тренажерів для випробувань агрегатів гідрооб'ємних приводів дорожніх та будівельних машин та для комп'ютерного діагностування двигунів. Стенди буде встановлено в приміщенні центру, їх виготовлення здійснюється за ініціативою університету та за рахунок компанії.

Співпраця з компанією «Zeppelin-Caterpillar» дає можливість студентам набути практичних навичок роботи з мехатронними системами керування робочими процесами машин. Отримання студентами необхідних компетенцій для практичної роботи з сучасною дорожньо-будівельною технікою дозволяє нашим випускникам знайти своє гідне місце в виробничій сфері.

З метою розширення можливостей практичної підготовки студентів – майбутніх фахівців-машинобудівників кафедрою інженерії машин транспортного будівництва університету на базі підприємства «Констракшн Машинері» – представництва в Україні британської машинобудівної компанії JCB створено філію кафедри. Компанія JCB спеціалізується на випуску будівельної, дорожньої, кар'єрної техніки та техніки для переробки будівельних відходів. JCB заснована в 1945 році і з того часу успішно здійснює свою діяльність по виробництву екскаваторів-навантажувачів, колісних, гусеничних та міні-екскаваторів, телескопічних та фронтальних навантажувачів, засобів ущільнення дорожньо-будівельних матеріалів. Переважна частина перелічених машин і обладнання являє собою мехатронні системи. Сьогодні JCB входить в п'ятірку найбільших світових виробників дорожньо-будівельної техніки. Персонал компанії близько 10 000 осіб, ділова активність поширюється більш ніж на 150 країн світу, асортимент техніки, що випускається, нараховує близько 300 найменувань.

Компанія JCB, завдяки ключовим позиціям свого розвитку, а саме – якість, високий рівень технічного сервісу техніки по всьому світу, є прикладом для практичного наслідування в Україні. Це – досконала база для організації практичної підготовки фахівців за спеціальностями «Галузеве

машинобудування», «Прикладна механіка», освітньо-професійних програм: «Будівельні, дорожні машини та устаткування» і «Експлуатація, випробування та сервіс машин», «Прикладна механіка».

«Констракшн Машинері» має все необхідне для забезпечення високого рівня практичної підготовки фахівців-механіків: парк машин (понад 100 одиниць техніки, більша частина яких є мехатронними системами), виробничі приміщення для комплексного діагностування, ремонту та технічного обслуговування машин, необхідне діагностувальне та вимірювальне обладнання (рис. 2). Підприємство базується в декількох сотнях метрів від студентських гуртожитків університету, що створює додаткові зручності для студентів при проведенні навчальних занять.

На філії проводяться лабораторні і практичні заняття зі студентами III та IV курсів і магістрів автомеханічного факультету спеціальності «Галузеве машинобудування» студенти-механіки виконують курсові та дипломні роботи, проходять навчальні, технологічні, виробничі та науково-дослідницькі практики.



Рисунок 2 – Проведення виробничої практики на філії кафедри на підприємстві «Констракшн Машинері»

Figure 2 – Conducting production practice at the branch of the department at the enterprise «Construction Machinery»

Залучення виробничих потужностей, фахівців-виробників до проведення освітнього процесу дає нові імпульси в справі підготовки висококваліфікованих фахівців. А використання в навчальному процесі європейських ідей створення високоефективної дорожньо-будівельної техніки суттєво підвищує позитивну роль занять, що проводяться на філіях та навчально-наукових центрах в плані опанування студентами знань та набуття відповідних компетенцій. Насамперед, це стосується висвітлення в навчальному процесі останніх європейських досягнень з питань автоматизації та комп'ютеризації дорожньо-будівельних машин, конструкції та технічних рішень машин як мехатронних систем.

Висновки.

1. Відновлення та швидка реконструкція дорожньо-транспортної інфраструктури країни можлива шляхом використання для виконання робіт сучасної комп'ютеризованої дорожньо-будівельної техніки.

2. Головним спрямуванням підготовки фахівців спеціальності «Галузеве машинобудування» освітньо-професійних програм «Будівельні та дорожні машини і устаткування» та « Експлуатація, випробування та сервіс машин» слід вважати оволодіння необхідними компетенціями конструювання, експлуатації, сервісного обслуговування та ремонту дорожньо-будівельних та спеціальних машин як мехатронних систем.

3. Раціональним та ефективним шляхом підвищення якості підготовки фахівців за спеціальністю «Галузеве машинобудування» слід вважати організацію та навчально-наукових центрів та філій кафедр на провідних підприємствах профільного виробництва.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Про вищу освіту : [закон України : офіц. текст: за станом на 23 лютого 2023 р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text>. (Дата звернення: 14.04.2023).
2. Zeppelin Cat. Технології. Рішення для будівельної техніки. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://zeppelin.ua/technology>. – Назва з екрану. (Дата звернення: 14.04.2023).
3. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина I Проектування. Частина II Будівництво зі Змінами 1,2. – Надано чинності 2016-04-01. К.: Мінрегіон України, 2016. – 104 с.
4. ДБН В.2.2-40:2018 «Інклюзивність будівель і споруд. Основні положення». Надано чинності 2019-04-01. К.: Укрархбудінформ, 2018. – 64 с.
5. ГБН В.2.3-37641918-549:2018 Автомобільні дороги. Майданчики для стоянки транспортних засобів і відпочинку учасників дорожнього руху. Загальні вимоги проектування. – Надано чинності 2018-06-01. К.: Міністерство інфраструктури України, 2018. – 17 с.
6. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування і забудова територій. – Надано чинності 2019-10-0. К.: Укрархбудінформ, 2019. – 183 с.
7. Мусійко В.Д., Коваль А.Б., Високович Є.В. Адаптація освітньо-професійних та освітньо-наукових програм спеціальності «Галузеве машинобудування» до вимог сьогодення / Управління якістю науково-дослідницької діяльності у закладах вищої та фахової передвищої освіти в умовах воєнних реалій : матеріали всеукраїнського науково-педагогічного підвищення кваліфікації, 10 травня – 21 червня 2022 року. – Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2022. – с.188-190.
8. Лабораторний практикум з дисциплін «Конструювання і випробування гідроприводів» та «Експлуатація і випробування дорожніх машин» для студ. спец. 133 «Галузеве машинобудування» : навч. посіб. / за заг. ред. Мусійко В.Д. : 2-е вид. – К.: НТУ, 2022. – 132 с.
9. Коваль А.Б. Проблеми практичної підготовки студентів спеціальності «Галузеве машинобудування». Scientific and pedagogic internship «Technical education as a component of the education system in Ukraine and EU countries»: Internship proceedings, January 21 – February 1, 2019. Wloclawek, Republic of Poland. С.67-71.
10. Коваль А.Б., Рагулін В.М. Використання методів комп'ютерного моделювання у підготовці студентів технічних спеціальностей / Scientific and pedagogical intertship “Innovative methods for the organization of educational process for engineering students in Ukraine and EU contries” : Internship proceedings, November 16 – December 28, 2020. Wloclawek, Republic of Poland : “Baltija Publishing”, 2020. Рр. 55-59.

REFERENCES

1. Pro vyshchu osvitu: zakon Ukrainy [On Higher Education: Ukrainian law]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18#Text> (Accessed 14 april 2023).
3. Zeppelin Cat. Technologies. Solutions for construction machinery. Available at: <https://zeppelin.ua/technology>. – Title from Screen. (Accessed 14 april 2023).
3. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I Proektuvannia. Chastyna II Budivnytstvo [State building regulations of Ukraine V.2.3-4:2015. Highways. Part I Design. Part II Construction]. Kyiv, Minrehion Publ., 2016. 104 с.
4. DBN V.2.2-40:2018 Inkluzyvnist bydivel I sporud. Osnovni polozhennia [State building regulations of Ukraine V.2.2-40:2018 Inclusiveness of buildings and structures. Substantive provision]. Kyiv, Ukrarkhbudininform Publ., 2018. 64 p.
5. HBN V.2.3-37641918-549:2018 Avtomobilni dorohy. Maidonchyky dlia stoianky transportnykh zasobiv I vidpochynku uchasnykiv dorozhnoho rukhu. Zahalni vymohy proektuvannia [Industry building standards of Ukraine V.2.2-40:2018. Automobile roads. Parking places and recreational areas for road users. General terms of design] Kyiv, Ministerstvo infrastruktury Ukrainy Publ., 2018. 17 p.
6. DBN B.2.2-12:2019 Planuvannia I zabudova terytorii [State building regulations of Ukraine DBN B.2.2-12:2019 Planning and development of territories]. Kyiv, Ukrarkhbudininform Publ., 2019. 183 p.
7. Musiiko V.D., Koval A.B., Vyskovych Ye.V. Adaptatsiia osvitno-profesiinykh ta osvitno-naukovykh prohram spetsialnosti «Haluzeve mashynobuduvannia» do vymoh sohodennia [Adaptation of educational-professional and educational-scientific programs of the specialty «Industrial Mechanical Engineering» to today's requirements]. Materialy vseukrainskoho naukovopedahohichnoho pidvyshchennia

kvalifikatsii «Upravlinnia yakistiu naukovo-doslidnytskoi diialnosti u zakladakh vydhchoi ta fakhovoi peredyshchoi osvity v umovakh voennykh realii (10.05-21.06.2022) [Materials of the All-Ukrainian scientific and pedagogical professional development «Management of the quality of scientific and research activities in institutions of higher and professional pre-higher education in the conditions of military realities»] Odessa, 2022, pp. 188-190.

8. Musiiko V.D. Laboratornyi praktykuv z dyshsyplin «Konstuiuvannia I vyprobuvannia hidropuvodiv» ta «Ekspluatatsiia I vyprobuvannia dorozhnikh mashyn» dlia studentiv spetsialnosti «Haluzeve mashynobuduvannia» [Laboratory workshop on the disciplines «Design and testing of hydraulic drives» and «Operation and testing of road machines» for students of specialty 133 «Industrial mechanical engineering»]. Kyiv, Ludmyla Publ., 2022, 132 p.

9. Koval A.B. Problemy praktychnoi pidhotovky studentiv spetsialnosti «Haluzeve mashynobuduvannia» [Problems of practical training of students majoring in «Industrial Mechanical Engineering»]. Scientific and pedagogic internship «Technical education as a component of the education system in Ukraine and EU countries»: Internship proceedings, January 21 – February 1, 2019. Wloclawek, Republic of Poland. C.67-71.

10. Koval A.B., Rahulin V.M. Vykorystannia metodiv kompiuternoho modeliuvannia u pidhotodtsi studentiv tekhnichnykh spetsialnostei [The use of computer modeling methods in the training of students of technical specialties] Scientific and pedagogical intertship “Innovative methods for the organization of educational process for engineering students in Ukraine and EU contries” : Internship proceedings, November 16 – December 28, 2020. Wloclawek, Republic of Poland : “Baltija Publishing”, 2020. Pp. 55-59.

РЕФЕРАТ

Дмитриченко М.Ф. Напрями та шляхи підвищення якості підготовки фахівців з галузевого машинобудування / М.Ф. Дмитриченко, М.О. Білякович, В.Д. Мусійко, О.П. Токін // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

У статті розглянуто питання вибору та обґрунтування перспективних напрямів підвищення рівня професійної підготовки фахівців-механіків будівельних та дорожніх машин і комплексів, що являють собою мехатронні системи.

Мета дослідження: обґрунтування напрямів та шляхів підвищення якості підготовки фахівців галузевого машинобудування.

Об’єкт дослідження: освітньо-професійні програми підготовки фахівців за спеціальностями «Галузеве машинобудування» та «Прикладна механіка» і забезпечення їх виконання в сучасних умовах.

Метод дослідження: – аналітичний.

В результаті виконаних досліджень та практичної роботи визначено, що одним з ефективних напрямів підготовки фахівців – механіків є організація та робота навчально-наукових Центрів та філій кафедри на виробничих підприємствах. Це дозволяє використовувати в освітньому процесі та під час проведення наукових досліджень виробничий на інтелектуальний потенціал підприємств, їх приміщення та науково-технічне обладнання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПРОГРАМА, ФІЛІЯ, НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ЦЕНТР, МАШИНА, КОМПЛЕКС, СИСТЕМА, МЕХАТРОНІКА.

ABSTRACT

Dmytrychenko M.F., Biliakovych M.O., Musiiko V.D., Tokin O.P. Directions and ways of improving the quality of training of mechanical engineering industry specialists. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The article examines the issue of selection and substantiation of promising directions for raising the level of professional training of mechanics of construction and road machines and complexes, which are mechatronic systems.

The purpose of the study: substantiation of directions and ways of improving the quality of training of industry engineering specialists.

The object of the study: educational and professional training programs for specialists in the specialties «Industrial Mechanical Engineering» and «Applied Mechanics» and ensuring their implementation in modern conditions.

Research method: – analytical.

As a result of the performed research and practical work, it was determined that one of the effective areas of training of mechanical specialists is the organization and work of educational and scientific centers and branches of the department at production enterprises. This makes it possible to use the industrial and intellectual potential of enterprises, their premises and scientific and technical equipment in the educational process and during scientific research.

KEYWORDS: PROGRAM, BRANCH, EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC CENTER, MACHINE, COMPLEX, SYSTEM, MECHATRONICS

АВТОРИ:

Дмитриченко Микола Федорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, 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

Білякович Микола Олексійович, к.т.н., професор, Національний транспортний університет, професор кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: biliakovych.m@gmail.com, тел.: +380505027522, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, кв. 226а, orcid.org/0009-0000-2760-0127

Мусійко Володимир Данилович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: musvd48@gmail.com, тел: +380501040262, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, кв. 226а, orcid.org/0000-0001-9983-3296.

Токін Олександр Павлович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: a2atp@meta.ua, тел. +380509455194, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленко 1, orcid.org/0000-0002-7353-4228

AUTHORS:

Dmytrychenko Mukola F., Ph.D., Engineering (Dr.), Professor, 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

Biliakovych Mykola O., candidate of science in engineering, Professor, National Transport University, Professor of the Department of the transport construction machines engineering, e-mail: biliakovych.m@gmail.com, tel. +380505027522, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, кв. 226а, orcid.org/0009-0000-2760-0127

Musiiko Volodymyr D., Ph.D., Engineering (Dr.), Professor, National Transport University, Head of the Department of the transport construction machines engineering, e-mail: musvd48@gmail.com, tel. +380501040262, Ukraine, 01010, Kyiv, street. M. Omelianovicha-Pavlenka, 1, ap. 226a, orcid.org/0000-0001-9983-3296.

Tokin Oleksandr P. Ph.D., candidate of science in engineering, Associate Professor, National Transport University, professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: a2atp@meta.ua, тел. +380509455194, Ukraine, 01010, Kyiv, street. M. Omelianovicha-Pavlenka, 1, ap. 226a, orcid.org/0000-0002-7353-4228.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

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

Іткін О. Ф., доктор технічних наук, генеральний директор ПрАТ «Промислово-виробничий інститут зварюально-ізоляційних технологій при будівництві трубопроводів «Нафтогазбудізоляція», Київ, Україна.

REVIEWERS:

Kovbasenko S. V., Candidate of Science (Engineering), National Transport University, Professor of the Department of the transport construction machines engineering s, Kyiv, Ukraine.

Itkin O. F., Doctor of Technical Sciences, General Director «Neftegazstroyizoliatsiya» Industrial Production Institute of welding-insulation technologies to a piping building, Kyiv, Ukraine.

МЕТОД РОЗРАХУНКУ НЕОБХІДНОЇ ТОВЩИНИ ПОКРИВУ ІЗ ДРЕНУЮЧОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Желтобрюх А.Д., Національний транспортний університет, Київ, Україна, antonoff18@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0764-8793

Савенко В.Я., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, svi1310@ukr.net, orcid.org/0000-0001-8174-7728

METHOD OF CALCULATING THE NECESSARY THICKNESS OF THE COVERING LAYER FROM DRAINING ASPHALT CONCRETE

Zheltobriukh A.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, antonoff18@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0764-8793

Savenko V.Y., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, svi1310@ukr.net, orcid.org/0000-0001-8174-7728

Постановка проблеми.

Дренуючий асфальтобетон — це асфальтобетон каркасного типу з дуже великою кількістю пористості між зернами щебеню. На відміну від щебенево-мастикового асфальтобетону в дренуючому асфальтобетоні пори не заповнюються бітумно-піщаним розчином. Головною особливістю є його пористість та висока зсувостійкість, що досягається за рахунок міцності щебеневого каркаса і високої в'язкості бітумного в'язучого, що склеює зерна. Поверхні покриття, які включають дренуючі асфальтобетони набувають все більшого визнання серед дорожньої галузі світі.

Довготривалий вплив води на асфальтобетонний шар є визначальним чинником його довговічності. Питання своєчасного відведення поверхневої води з дорожнього покриття є обов'язковим і вирішується шляхом надання поверхні дороги поперечного похилу, однак зазвичай це недостатньо забезпечує захист дорожнього покриття від негативного впливу води. Висока експлуатаційна безпека, підвищення експлуатаційних характеристик дорожнього покриття досягається завдяки усуненню з його поверхні застою води, яке знижує зчеплення коліс із дорожнім покриттям. Ці якості можна покращити за рахунок впровадження дренуючого асфальтобетону. Дренуючі асфальтобетони можуть бути чутливими до пошкоджень від замерзання та відтавання в холодному кліматі та потребуватимуть практики обслуговування взимку. Тривалість служби таких покриттів сильно відрізняється залежно від кліматичних умов, інтенсивності руху та навантажень, методів проектування та будівництва.

Дренуюча здатність асфальтобетону залежить як від початкової пористості, так і від ступеня замулювання при русі транспортних засобів. Кольматація пор може бути зменшена шляхом влаштування укріплених узбіч і ліквідації з'їздів на ґрунтові дороги, а також вчасним і правильним утриманням в період експлуатації.

Однією з основних задач дренуючого асфальтобетону є відведення води з покриття. Тому, метод визначення проникної здатності став би одним із основних методів випробування. Саме на основі даних щодо опадів впродовж року, необхідно розраховувати необхідну товщину дренуючого асфальтобетону. Але, на сьогодні, в Україні недостатньо інформації, нормативних документів, довідників та іншої нормативної бази щодо даного типу асфальтобетонів. Оскільки товщину шару з дренуючого асфальтобетону треба призначати з урахуванням кількості опадів в районі будівництва, поперечного та повздовжнього похилу основи, а також дренуючих властивостей, тому доцільно розглянути метод розрахунку необхідної товщини покриття в залежності від максимальної кількості зливових опадів, що дозволить накопичити дані для удосконалення та впровадження технології влаштування таких асфальтобетонів.

Для подальшого вдосконалення поточних найсучасніших інструкцій щодо виробництва та застосування дренуючих асфальтобетонів для вирішення регіональних, дорожніх і кліматичних проблем, необхідний комплексний аналіз доступних на даний момент застосувань сумішей ДАБС для будівництва та обслуговування дорожніх покриттів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Переваги ДАБС, пов'язані з безпекою та навколишнім середовищем, були визнані в світі протягом багатьох років [1-5]. Методика проектування дренуючих асфальтобетонних сумішей, перші

принципи якої були розроблені FHWA в 1974 році, відрізнялася від методики підбору для звичайних сумішей, що пов'язано з особливістю структури цього матеріалу. Незалежно від застосовуваного методу підбору складу висока пористість призводить до зниженої кількості міжзернових контактів і, як наслідок, до зниження довговічності дренуючого асфальтобетону. Більшість методів проектування складу для поліпшення експлуатаційних характеристик рекомендує підвищити вміст в'язучого, використовувати більш в'язке в'язуче або ввести відповідні модифікуючі добавки [1]. Використання таких сумішей сприяє видаленню води з поверхні покриття і тим самим забезпечує кращий коефіцієнт зчеплення між шинами та дорожнім покриттям, таким чином мінімізуючи аварійність у дощову погоду, і, в той же час, знижуючи рівень шуму від руху. ДАБ дозволяє воді вільно проникати через його структуру завдяки високій пористості. Завдяки цьому пористі дренуючі асфальтобетони поступово отримали визнання в усьому світі [5-9].

Дренуючий асфальтобетон це пористий матеріал, який застосовують як шару зносу покриття автомобільних доріг поверх щільного асфальтобетону. У США цей матеріал отримав назву «Open graded friction course» («OGFC»), його застосовують вже понад 70 років. [2]

Крім США активне застосування дренуючого асфальтобетону мало місце і в інших країнах, серед яких можна відзначити Японію, Великобританію, Францію, Нідерланди, Німеччину. На відміну від дренуючих асфальтобетонів, що використовуються в США (OGFC), в Європі дренуючі асфальтобетони мають дещо більшу пористість від 18 % до 22 %, вимагають обов'язкового застосування бітуму, модифікованого полімером, і пред'являють більш високі вимоги до мінеральних матеріалів.

В Європейських країнах і Японії дренуючий асфальтобетон використовують під час будівництва автомобільних доріг з метою підвищення зчеплення колеса автомобіля з покриттям під час дощу, оскільки вода не затримується на поверхні цього покриття і швидко по порам прямує до узбіч [6].

У кожній конкретній європейській країні ці норми прив'язані до наявних умов і накопиченого досвіду, і на підставі їх видано власні нормативні документи. Так відповідно до [3], в Німеччині, таким документом є TL Asphalt-StB 07 Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen. Згідно з цим документом температура дренуючої асфальтобетонної суміші повинна бути в межах (140 – 170) °С. Застосування фрезерованого асфальтобетону не допускається. Зернові склади дренуючих асфальтобетонних сумішей в Німеччині в залежності від максимального розміру зерен щебеню представлено в [3]. При цьому регламентуються: пористість – в межах від 24 % до 28 %, мінімальний вміст в'язучого – від 5,5 % до 6,5 %, в залежності від максимального розміру щебеню, марка в'язучого – 40/100-65. Застосування стабілізуючих добавок обов'язкове. Дуже жорсткі вимоги пред'являються до мінеральних заповнювачів по стійкості до зносу та вмісту подрібнених зерен (100 %).

А.М. Богуславський подає такий склад дренуючого асфальтобетону:

- щебінь гранітний фракції 10-15 мм – 74 %;
- щебінь гранітний фракції 5-10 мм – 10 %;
- пісок – 12 %;
- мінеральний порошок – 4 %;
- бітум марки БНД 60/90 4% від маси мінерального матеріалу;
- поверхнево-активна речовина 0,3 % від маси бітуму.

Проектування дренуючого асфальтобетону включає вибір заповнювачів та в'язучого, підбір гранулометричного складу та оптимального вмісту в'язучого, а також випробування асфальтобетонної суміші на стікання та асфальтобетону на стирання та водостійкість [8].

Вироблену за звичайною технологією високопористу асфальтобетонну суміш влаштовують на щільний асфальтобетон і ущільнюють виключно гладковальцевими самохідними котками. Найкращу дренуючу здатність ущільнений шар має при товщині не менше ніж 4 см. Покриття з дренуючого асфальтобетону дає менше шуму при русі транспортних засобів, ніж покриття з щільного шорсткого асфальтобетону. Дане покриття є колієстійким.

Згідно з [7-9] дренуюча здатність асфальтобетону залежить як від початкової пористості, так і від ступеня замулювання при русі транспортних засобів. Кольматація пор може бути зменшена шляхом влаштування укріплених узбіч і ліквідації з'їздів на ґрунтові дороги, а також вчасним і правильним утриманням в період експлуатації. Відповідно до досвіду Англії, пористість поверхні поступово зменшується і через 4 роки дорівнює близько 50 % від початкової. За даними закордонних джерел, дренуючий асфальтобетон розрахований на 15 років експлуатації автомобільної дороги.

У роботах [8,9] проаналізовано інформацію, нормативно-технічну базу європейських країн, властивості та принципи, проведено деякі експериментальні дослідження та визначено, що товщину шару з дренуючого асфальтобетону треба призначати з урахуванням максимальної кількості зливових опадів в районі будівництва, поперечного та повздовжнього похилу основи, а також дренуючих властивостей дренуючого асфальтобетону. Оскільки шар дренуючого асфальтобетону влаштовують як шар зносу, то для нього не встановлюють розрахункові характеристики. Також було розроблено та впровадженню Р В.2.7-37641918-919:2021 «Рекомендації з виробництва та влаштування дренуючого асфальтобетону», які включають в себе технічні вимоги, рекомендації щодо проектування та застосування, правила приймання та методи контролю [9,12]. Однак незважаючи на широкомасштабні дослідження в даному напрямку до цього часу не розроблено державних стандартів на методи випробування основних властивостей ДАБ, які б включали як розрахунок товщини, так і визначення проникності, правил відбору та методів визначення основних показників дренуючих асфальтобетонів. Тому, доцільно розглянути питання поставлені в назві статті, що сприяло б в подальшому накопиченню даних для удосконалення існуючих та впровадження нових нормативних документів та встановлення залежності проникності від залишкової пористості.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Дренуючі асфальтобетони передбачають з метою забезпечення високої експлуатаційної безпеки завдяки усуванню з поверхні покриття скупчення водяних плям, які знижують зчеплення коліс з дорожнім покриттям.

Від звичайний щільних асфальтобетонних сумішей дренуючі асфальтобетонні суміші відрізняються за зерновим складом, вмістом в'язучого та його природою, а також модифікуючими добавками. Найбільш сприятливими умовами для експлуатації для дренуючих покриттів є такі, що відповідають водно-тепловому режимові теплого періоду року. Тому, для можливості ефективної експлуатації таких покриттів у природних умовах України, що характеризуються досить тривалим холодним періодом з пониженими температурами потрібні водостійкі асфальтобетони.

При проектуванні конструкції дорожнього одягу нежорсткого типу з дренуючим асфальтобетоном виконують основні принципи проектування відповідно до ГБН В.2.3-37641918-559. При цьому необхідно враховувати максимальну інтенсивність зливових опадів.

Для забезпечення водонепроникності основи та належного зчеплення з нею дренуючого асфальтобетонного покриття обов'язковою умовою є нанесення підгрунтовки бітумною емульсією. Це дозволяє згерметизувати пори в шарі основи та в подальшому не допускає потрапляння через дренуючий асфальтобетон води в нижче розміщені шари.

Однією з основних задач дренуючого асфальтобетону є відведення води з покриття. Саме на основі даних щодо опадів впродовж року, розраховують необхідну товщину дренуючого асфальтобетону. Так, рух води крізь дренуючий шар асфальтобетону є ламінарним та стаціонарним, що підпорядковується закону Дарсі, згідно з яким:

$$Q = K \cdot J \cdot A \quad (1)$$

де Q – кількість води, що може профільтруватись крізь фільтр, або його пропускна спроможність, м³/добу;

K – коефіцієнт фільтрації пористого асфальтобетону, м/доба;

J – гідралічний градієнт (загальний ухил водонепроникної основи покриття);

A – питома площа перерізу пористого шару асфальтобетонного покриття, $A = 1 \text{ м} \cdot h$, м².

Результуючий ухил поверхні водонепроникної основи дорожнього покриття визначають за формулою:

$$I = \sqrt{I_{\text{поп}}^2 + I_{\text{позд}}^2} \quad (2)$$

де $I_{\text{поп}}$ – поперечний ухил водонепроникної поверхні покриття;

$I_{\text{позд}}$ – подовжній ухил водонепроникної поверхні покриття

$$Q = K \cdot I \cdot h \cdot 1 \text{ м}.$$

$$h = \frac{Q}{K \cdot J \cdot 1 \text{ м}}, \quad (3)$$

Як відомо розрахункову інтенсивність i (мм/хв) такого дощу можна визначити за формулою:

$$i = \frac{20^n \cdot \psi_{20} (1 + c \cdot \lg T)}{166,7 \cdot t^n}, \quad (4)$$

де n – показник ступеню, який характеризує зміну розрахункової інтенсивності дощу у часі;

Ψ_{20} – інтенсивність дощу тривалістю 20 хв при $T = 1$ рік;

C – коефіцієнт, який враховує кліматичні особливості районів України;

T – період повторності розрахункової інтенсивності дощу, який визначають за нормами в залежності від Ψ_{20} та площі водозабору A_w .

Отже кількість води Q , яку повинен поглинути і відвести пористий шар асфальтобетону шириною 1 м і довжиною L визначають за формулою:

$$Q = i \cdot Lg \cdot 1\text{м}, \quad (5)$$

де Lg – дійсна довжина ділянки стоку, м, яку можна знайти за умови:

$$Lg = \frac{Ls \cdot g}{I_{\text{поп}}}, \quad (6)$$

де Ls – ширина покриття розрахункового елемента дороги, м.

Потрібну товщину шару дренажного асфальтобетону на водонепроникній поверхні існуючого покриття можна визначити:

$$h = \frac{20^n \cdot \psi_{20} (1 + c \cdot LgT) Ly}{166,7 \cdot t^n \cdot I_{\text{поп}}}, \quad (7)$$

Тривалість дощу t можна визначити за методом граничних інтенсивностей, приймаючи її рівною часу добігання дренажної водяної суміші від найбільш віддаленої точки покриття розрахункового створу τ , тобто $t = \tau$, хв. За законом Дарсі швидкість фільтрації водяної суміші у пористому середовищі становить:

$$V = \frac{K \cdot J}{n}, \quad (8)$$

де n – активна пористість дренажного асфальтобетону (в долях одиниці).

Тоді час добігання води τ по схилу довжиною Lg , що визначається за формулою (6) з урахуванням (8) буде дорівнювати:

$$\tau = \frac{Lg}{V} = \frac{Ls \cdot n}{I_{\text{поп}} \cdot K}, \quad (9)$$

З урахуванням розмірностей:

$$\tau = t = \frac{1440 \cdot n \cdot Ls}{I_{\text{поп}} \cdot K}, \quad (10)$$

Згідно методу граничних інтенсивностей $t = \tau$, де τ час добігання води від найбільш віддаленої точки водозабору, складатиметься з часу τ_1 фільтрації води крізь водопроникне асфальтобетонне покриття товщиною h_1 , та дренажний шар покриття, відсипаний сумішшю відкритого типу, товщиною h_2 , яку слід визначати за формулою:

$$V_{\text{дш}} = \frac{K_{\text{дш}} \cdot I}{P_{\text{дш}}}, \quad (11)$$

де $K_{\text{дш}}$ – коефіцієнт фільтрації матеріалу дренажного шару, м/добу;

I – гідрравлічний градієнт ($i = 1$);

$P_{\text{дш}}$ – пористість матеріалу дренажного шару (в долях одиниці).

Потрібна потужність дренажної конструкції шириною 1 м в умовах стаціонарної фільтрації може бути визначена за формулою (12):

$$h_{\text{дш}} = \frac{P_{\text{дш}} \cdot Q_w}{K_{\text{дш}} \cdot I}, \quad (12)$$

Під час вибору дренажного асфальтобетону необхідно враховувати критичний період роботи дренажного асфальтобетону, а саме максимальну інтенсивність зливових опадів.

За аналізом Довідника № 4 розроблено карту України за інтенсивністю зливових опадів (рисунок 1). Використання даної карти дозволить виконувати вибір виду дренажного асфальтобетону то його необхідну товщину.

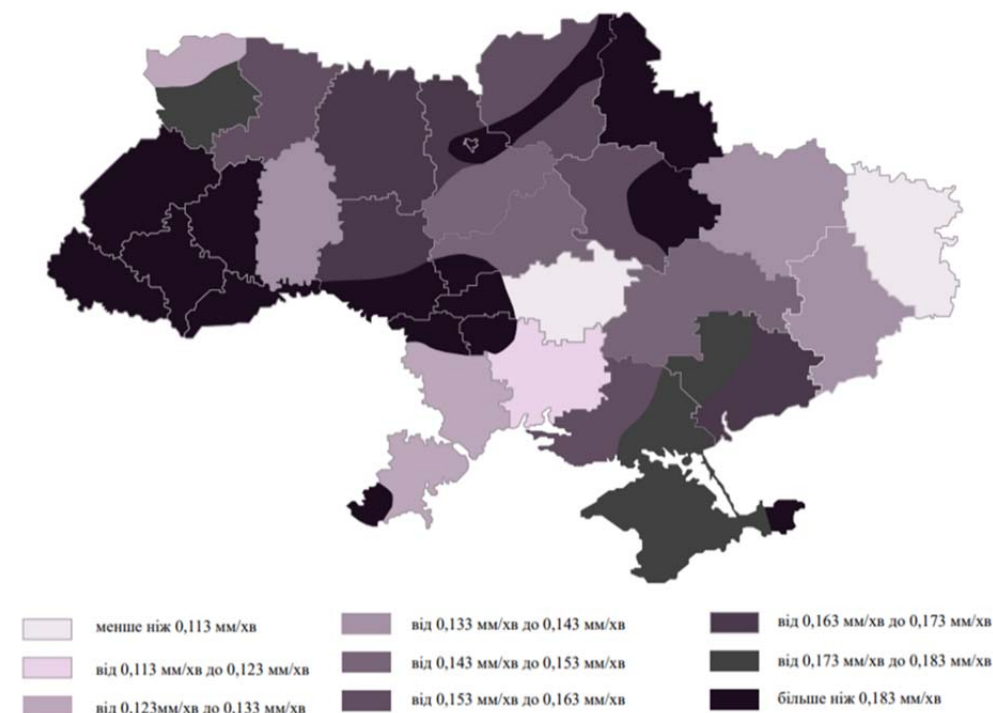


Рисунок 1 – Карта України за інтенсивністю зливових опадів
Figure 1 – Map of Ukraine by the intensity of torrential rainfall

Як бачимо, можемо виконати поділ території за інтенсивністю зливових опадів на дев'ять зон з інтенсивністю зливових опадів від менше ніж 0,113 мм/хв до більше ніж 0,183 мм/хв. Більш інтенсивні опади мають місце на західній та південній частині України. При цьому, на західній Україні більш низькими є температури нагрівання покриття.

Другою важливою характеристикою є кліматичні умови роботи дренажного асфальтобетону. Умовно територію України за кліматичними умовами роботи дренажного асфальтобетону можна розділити на три райони (рисунок 2). Для кожного району має бути визначено рекомендовані марки бітуму. При цьому, для дренажного асфальтобетону обов'язково треба використовувати бітум, модифікований полімером.

Враховуючи те, що дренажний асфальтобетон містить незначну кількість дрібних зерен та на 90 % складається переважно з однофракційного щебеню, для його виробництва необхідно використовувати більш в'язкі бітуми, ніж це наразі передбачено для щільних асфальтобетонних сумішей, оскільки в дренажному асфальтобетоні практично не відбувається структуривання бітуму.

Враховуючи максимальну інтенсивність зливових опадів та районування за кліматичними умовами роботи дренажного асфальтобетону, було встановлено вимоги до бітуму та розроблено конструкції дорожнього одягу для різних категорій автомобільних доріг.

Найперше та найважливіше завдання, це якісно підібрати склад ДАБС, оскільки це в подальшому може сприяти уникненню ряду проблем. Мабуть найбільш використовуваними та перевіреними у всьому світі є об'ємні властивості ДАБ. Відповідно до об'ємних підходів основною вимогою є забезпечення потрібного вмісту пор в ущільнених зразках. Механічні вимоги визначають рідко, тоді як властивості, пов'язані з експлуатаційною надійністю, переважно застосовують до ДАБ для автомобільних доріг із значним транспортним навантаженням.

На відміну від щільної структури традиційного дорожнього покриття, дренажний асфальтобетонне покриття здебільшого включає в себе асфальтобетонну суміш з великою кількістю пор – як дренажний поверхневий шар. Основа дренажного поверхневого шару є щільною асфальтобетонною сумішшю, яка допомагає утворювати дренажний канал всередині. Таким чином вода, що просочується в дренажний шар у дощові дні, може виводитися з конструкції дорожнього одягу вздовж схилу тротуару. На дренажні характеристики дренажних асфальтобетонних покриттів вказує їх водопроникність: чим вища водопроникність, тим більша дренажна здатність. Таким чином,

повне розуміння та ефективне визначення водопроникності є ключем до успішного застосування дренуючих асфальтобетонів.

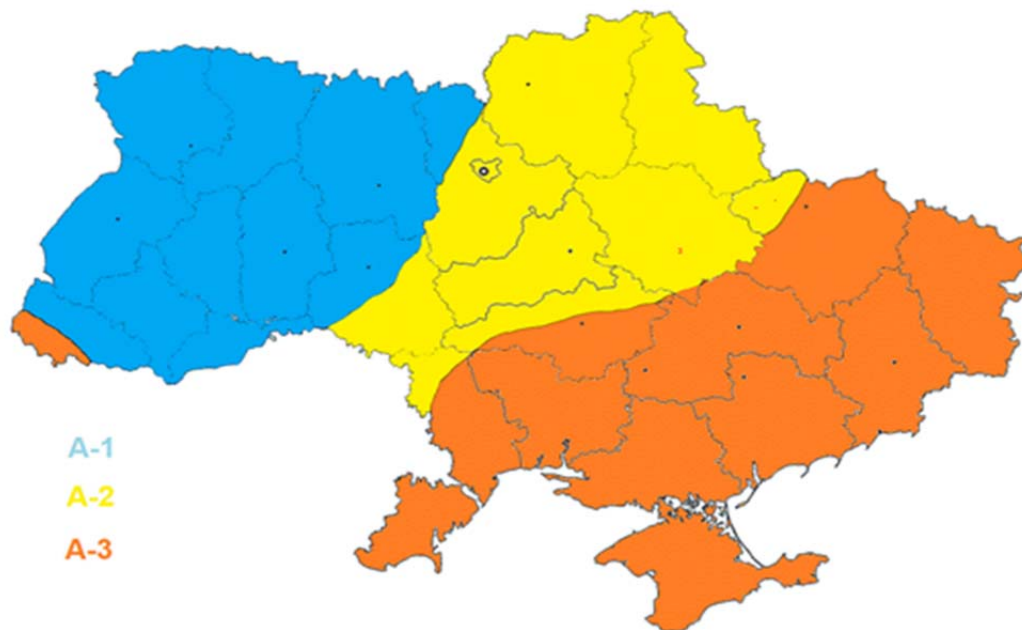


Рисунок 2 – Карта України за кліматичними умовами роботи дренуючого асфальтобетону
Figure 2 – Map of Ukraine according to the climatic conditions of operation of draining asphalt concrete

Висновки.

Товщину шару з дренуючого асфальтобетону треба призначати з урахуванням кількості опадів в районі будівництва, поперечного та повздовжнього похилу основи, а також дренуючих властивостей дренуючого асфальтобетону.

Однією з основних задач дренуючого асфальтобетону є відведення води з покриття. Саме на основі даних щодо максимальної кількості зливових опадів впродовж року, і розраховують необхідну товщину дренуючого асфальтобетону. Тому, доцільно було розглянути метод розрахунку необхідної товщини таких асфальтобетонів та розробити допоміжні матеріали для цього.

Як наслідок, було розроблено карту України за інтенсивністю зливових опадів. Використання даної карти дозволить виконувати вибір виду дренуючого асфальтобетону то розрахувати його необхідну товщину.

Умовно територію України за кліматичними умовами роботи дренуючого асфальтобетону було розділено на три райони та розроблено відповідну карту. Це допомогло визначити відповідно для кожного району рекомендовані марки бітуму. При цьому, обов'язково треба використовувати бітум, модифікований полімером. Температури уточнюють експериментально для кожного запроєктованого складу ДАБС у конкретних умовах виробництва.

Враховуючи максимальну інтенсивність зливових опадів та районування за кліматичними умовами роботи дренуючого асфальтобетону, було встановлено вимоги до бітуму та розроблено конструкції дорожнього одягу для різних категорій автомобільних доріг. Оскільки шар дренуючого асфальтобетону влаштовують як шар зносу, то для нього не встановлюють розрахункові характеристики.

Визначення необхідної товщини шару дренуючого асфальтобетону та в подальшому проведення аналітичного аналізу та лабораторних досліджень з встановлення методів визначення такого показника, як проникність (горизонтальна та вертикальна) дозволить накопичити дані для удосконалення існуючих та впровадження нових нормативних документів, які сприятимуть якісному впровадженню даної технології в Україні.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Gregory J., Taylor P.E. (Copyright 2014). Open-Graded Friction Courses (OGFC). 22 p. URL: <https://www.cedengineering.com/userfiles/Open-Graded%20Friction%20Courses.pdf> (дата звернення: 07.02.2022).
2. MS-2 Asphalt mix design methods. 7th edition. USA, 2014. 199 p. URL: https://yapim.otoyolas.com.tr/wpcontent/uploads/kaliteyayinlari/16_EK_2_MS_2_asphalt_mix_design_methods.pdf (дата звернення: 20.04.2020).

3. TL Asphalt – StB 07 Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen.
4. Prithvi S., Kandhal, P.E., Associate Director National Center for Asphalt Technology (2002). Design, Construction, and Maintenance of Open-Graded Asphalt Friction Courses. URL: http://driveasphalt.org/assets/content/resources/IS-115_Open_Graded_Asphalt_Friction_Courses.pdf (дата звернення: 20.04.2020).
5. H. Zhang, K. Anupam, A. Scarpas, C. Kasbergen & Sandra Erkens (2019): Effect of stone-on-stone contact on porous asphalt mixes: micromechanical analysis, International Journal of Pavement Engineering. DOI: <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1654105> (дата звернення: 20.04.2020).
6. Pavement Interactive, Open Graded Friction Courses – Keeping an Open Mind. 2011. URL: <https://pavementinteractive.org/open-graded-friction-courses-keeping-an-open-mind/> (дата звернення: 20.04.2020).
7. Jian-Shiuh Chen, Chin Hung Yang (2020): Porous asphalt concrete: A review of design, construction, performance and maintenance, International Journal of Pavement Research and Technology. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42947-020-0039-7> (дата звернення: 3.04.2023).
8. Желтобрюх А. Д., Копинець І. В., Соколов О. В. Особливості проектування та використання дренажного асфальтобетону. Дороги і мости. Київ, 2020. Вип. 21. С. 168-176. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.168>.
9. Желтобрюх А. Д., Копинець І. В., Результати експериментів із підбору складу дренажного асфальтобетону. Дороги і мости. Київ, 2022. Вип. 25. С. 40-47. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.040>.
10. ДСТУ EN 12697-35:2019 (EN 12697-35:2016, IDT) Бітумінеральні суміші. Методи випробування. Частина 35. Лабораторне змішування. Київ, 2020. 24 с. (Інформація та документація).
11. EN 13108-7:2016 Bituminous mixtures – Material specifications – Part 7: Porous Asphalt.
12. Р В.2.7-37641918-919:2021 Рекомендації щодо виробництва та влаштування дренажного асфальтобетону. Київ. 2021. 16 с. (Інформація та документація).

REFERENCES

1. Gregory J., Taylor P.E. (Copyright 2014). Open-Graded Friction Courses (OGFC). 22 p. URL: <https://www.cedengineering.com/userfiles/Open-Graded%20Friction%20Courses.pdf> (Last accessed: 07.02.2022) [in English].
2. MS-2 Asphalt mix design methods. 7th edition. USA, 2014. 199 p. URL: https://yapim.otoyolas.com.tr/wp-content/uploads/kaliteyayinlari/16_EK_2_MS_2_asphalt_mix_design_methods.pdf (Last accessed: 07.02.2022) [in English].
3. TL Asphalt – StB 07 Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen [in English].
4. Prithvi S. Kandhal, P.E., Associate Director National Center for Asphalt Technology (2002). Design, Construction, and Maintenance of Open-Graded Asphalt Friction Courses. URL: http://driveasphalt.org/assets/content/resources/IS-115_Open_Graded_Asphalt_Friction_Courses.pdf (Last accessed: 07.02.2022) [in English].
5. H. Zhang, K. Anupam, A. Scarpas, C. Kasbergen & Sandra Erkens (2019): Effect of stone-on-stone contact on porous asphalt mixes: micromechanical analysis, International Journal of Pavement Engineering. DOI: <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1654105> (Last accessed: 07.02.2022) [in English].
6. Pavement Interactive, Open Graded Friction Courses – Keeping an Open Mind. 2011. URL: <https://pavementinteractive.org/open-graded-friction-courses-keeping-an-open-mind/> (Last accessed: 07.02.2022) [in English].
7. Jian-Shiuh Chen, Chin Hung Yang (2020): Porous asphalt concrete: A review of design, construction, performance and maintenance, International Journal of Pavement Research and Technology. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42947-020-0039-7> (Last accessed: 3.04.2023) [in English].
8. Anton Zheltobriukh, Ivan Kopynets, Oleksii Sokolov Features design and use of draining asphalt concrete. Dorogi i mosti [Roads and bridges]. Kyiv, 2020. Iss. 21. P. 168–176 DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.168> [in Ukrainian].
9. Ivan Kopynets, Anton Zheltobriukh. The results of experiments of the composition of draining asphalt concrete. Dorogi i mosti [Roads and bridges]. Kyiv, 2022. Iss. 25. P. 40–47 DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.040> [in Ukrainian].
10. DSTU EN 12697-35:2019 (EN 12697-35:2016, IDT) Bitumineral'ni sumishi. Metody vyprobuvannya. Chastyna 35. Laboratorne zmishuvannya [State Standard of Ukraine (DSTU EN

12697-35:2019 (EN 12697-35:2016, IDT)) Bituminous mixtures. Test methods. Part 35: Laboratory mixing]. Kyiv, 2020. 24 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

11. EN 13108-7:2016 Bituminous mixtures – Material specifications – Part 7: Porous Asphalt

12. R V.2.7-37641918-919:2021 Rekomendatsiyi shchodo vyrobnytstva ta vlashtuvannya drenuyuchoho asfal'tobetonu. Kyiv. 2021. 16 s. (Information and documentation) [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Желтобрюх А.Д. Метод розрахунку необхідної товщини покриття із drenуючого асфальтобетону / А.Д. Желтобрюх, В.Я. Савенко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

В статті запропоновано метод розрахунку шару дорожнього покриття із drenуючого асфальтобетону. Однією з основних задач drenуючого асфальтобетону є відведення води з покриття. Саме на основі даних щодо максимальної кількості зливових опадів впродовж року, і було подано метод розрахунку необхідної товщини drenуючого асфальтобетону. Для цього також за аналізом Довідника № 4 розроблено карту України за інтенсивністю зливових опадів і також поділено території України на зони за кліматичними умовами роботи drenуючого асфальтобетону.

Об'єкт дослідження – drenуюче асфальтобетонне покриття дорожнього одягу автомобільних доріг.

Мета роботи – встановити метод розрахунку необхідної товщини шару drenуючого асфальтобетону та розробити необхідне для розрахунку районування України для подальшого якісного впровадження даної технології.

Метод дослідження – експериментально-аналітичний.

Результати – проведено аналіз існуючого досвіду використання drenуючого асфальтобетону, умов його застосування. Теоретичні дослідження процесу розрахунку товщини drenуючого асфальтобетону зі структурою із взаємопов'язаних відкритих пор. Подано метод розрахунку необхідної товщини шару із drenуючого асфальтобетону в залежності від максимальної кількості зливових опадів на території України. Розроблено районування за максимальною інтенсивністю зливових опадів, кліматичними умовами роботи drenуючого асфальтобетону.

Висновки. – саме на основі даних щодо опадів впродовж року, необхідно розраховувати необхідну товщину drenуючого асфальтобетону. Але, на сьогодні, в Україні недостатньо інформації, нормативних документів, довідників та іншої нормативної бази щодо даного типу асфальтобетонів. Оскільки товщину шару з drenуючого асфальтобетону треба призначати з урахуванням кількості опадів в районі будівництва, поперечного та повздовжнього похилу основи, а також drenуючих властивостей, тому доцільно було розглянути метод розрахунку необхідної товщини покриття в залежності від максимальної кількості зливових опадів, що дозволить накопичити дані, можливо в подальшому включити в нормативні документи по методам досліджень та проектування даних асфальтобетонів, для удосконалення та впровадження даної технології, як такової. Оскільки однією з основних задач drenуючого асфальтобетону є відведення води з покриття, тому, в подальших дослідженнях, доцільно розглянути метод визначення проникної здатності (горизонтальна та вертикальна), який став би одним із основних методів випробування як влаштованого шару drenуючого покриття при контролі якості та засмічення з часом, так і виготовленого в лабораторних умовах, для встановлення залежності проникності від залишкової пористості.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДРЕНУЮЧИЙ АСФАЛЬТОБЕТОН, ДРЕНУЮЧІ АСФАЛЬТОБЕТОННІ СУМІШІ, ПРОНИКНІСТЬ, ТОВЩИНА, ШАР ПОКРИТТЯ ПОРИСТІСТЬ.

ABSTRACT

Zheltobriukh A.D., Savenko V.Y. Method of calculating the necessary thickness of the covering layer from draining asphalt concrete. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The article proposes a method of calculating the layer of the road surface from draining asphalt concrete. One of the main tasks of draining asphalt concrete is to remove water from the surface. It was based on the data on the maximum amount of rainfall during the year, and the method of calculating the required thickness of the draining asphalt concrete was presented. For this purpose, based on the analysis of Handbook No. 4, a map of Ukraine was developed according to the intensity of torrential rainfall, and the territory of Ukraine was also divided into zones according to the climatic conditions of the drainage asphalt concrete.

Object of study – draining asphalt-concrete pavement of highways.

Purpose – establish a method for calculating the required thickness of a layer of draining asphalt concrete and develop what is necessary for calculating the zoning of Ukraine for further high-quality implementation of this technology.

Methods – experimental-analytical.

Results – an analysis of the existing experience of using draining asphalt concrete, conditions of its use, was carried out. Theoretical studies of the process of calculating the thickness of draining asphalt concrete with a structure of interconnected open pores. The method of calculating the required thickness of the layer of draining asphalt concrete depending on the maximum amount of torrential precipitation in the territory of Ukraine is presented. Zoning has been developed according to the maximum intensity of torrential rains, climatic conditions of operation of draining asphalt concrete.

Conclusions – precisely on the basis of data on precipitation throughout the year, it is necessary to calculate the required thickness of draining asphalt concrete. But, today, in Ukraine, there is not enough information, regulatory documents, directories and other regulatory framework regarding this type of asphalt concrete. Since the thickness of the layer of draining asphalt concrete must be determined taking into account the amount of precipitation in the area of construction, the transverse and longitudinal slope of the base, as well as the drainage properties, therefore it was advisable to consider the method of calculating the required thickness of the coating depending on the maximum amount of rainfall, which will allow accumulating data, possibly in the future, to include in the regulatory documents on the methods of research and design of these asphalt concretes, for the improvement and implementation of this technology as such. Since one of the main tasks of draining asphalt concrete is to remove water from the pavement, therefore, in further research, it is advisable to consider the method of determining permeability (horizontal and vertical), which would become one of the main methods of testing as an arranged layer of drainage pavement in quality control and clogging with sometimes, and made in laboratory conditions, to establish the dependence of permeability on residual porosity.

KEYWORDS: DRAINING ASPHALT CONCRETE, DRAINING ASPHALT CONCRETE MIXTURES, PERMEABILITY, THICKNESS, COATING LAYER, POROSITY.

АВТОРИ:

Желтобрюх Антон Дмитриевич, аспірант кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, e-mail: antonoff18@gmail.com, тел. +380985510450, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, <https://orcid.org/0000-0003-0764-8793>

Савенко В'ячеслав Якович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, e-mail: svi1310@ukr.net, тел. +380506572008, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, <https://orcid.org/0000-0001-8174-7728>

AUTHOR:

Zheltobriukh Anton D., is a graduate student of the Department of Transport Construction and Property Management of the National Transport University, e-mail: antonoff18@gmail.com, phone +380960736425, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str, 1, <https://orcid.org/0000-0003-0764-8793>

Savenko Vyacheslav Y., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Transport Construction and Property Management of the National Transport University, e-mail: svi1310@ukr.net, phone +380506572008, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str, 1, <https://orcid.org/0000-0001-8174-7728>.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Рутковська І.А., кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри аеропортів, Київ, Україна.

Копинець І.В., кандидат технічних наук, ДП "ДерждорНДІ", завідувач відділу бітумних в'язучих та асфальтобетонів Центру дорожніх матеріалів та технологій, Київ, Україна.

REVIEWER:

I.A. Rutkovska, PhD, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Professor of Airfields Department, Kyiv, Ukraine.

Kopynets I.V., PhD, Candidate of Technical Sciences, DerzhdorNDI SE, Head of the Bituminous Binder and Asphalt Department, Kyiv, Ukraine.

ДОСЛІДНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ ІЗ ЗОЛОЮ-ВИНОСУ

Каськів В.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, vi_kas@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8074-6798

Соколов О.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, bitumen_lab@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4694-9647

EXPERIMENTAL IMPLEMENTATION OF ASPHALT CONCRETE MIXTURES WITH FLY ASH

Kaskiv V.I., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, vi_kas@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8074-6798

Sokolov O.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, bitumen_lab@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4694-9647

Постановка проблеми.

Одним з найбільш використовуваних матеріалів під час будівництва автомобільних доріг є асфальтобетонні суміші. Для виробництва даних сумішей зазвичай використовують крупний заповнювач, дрібний заповнювач, наповнювач (мінеральний порошок) та бітум.

В Україні як наповнювач переважно використовують матеріал, отриманий подрібненням осадових карбонатних гірських порід. В той же час на електрогенеруючих підприємствах України в результаті спалювання вугілля утворюються мільйони тонн пилоподібних відходів - золи-виносу. За зерновим складом зола-виносу наближається до національних вимог до наповнювача. Комплексні лабораторні дослідження засвідчили можливість використання золи-виносу як наповнювача у складі асфальтобетонних сумішей [1], тому наступний етап досліджень полягав у дослідному впровадженні асфальтобетонних сумішей із золою-виносу.

Основна частина

Утилізація вторинних продуктів промисловості (відходів) призначена для збереження природних ресурсів і скорочення обсягу відходів, які необхідно утилізувати в спеціальних місцях поховання. Утилізація заохочується багатьма країнами Європейського Союзу, в якому є відповідні положення у всіх директивах, що стосуються управління відходами. Ключовим елементом у заохоченні до переробки відходів є принцип «забруднювач платить», який був включений до всіх директив Співтовариства щодо поводження з безпечними та небезпечними відходами. З метою заохочення до переробки багато держав-членів прийняли специфічне екологічне законодавство, зокрема, сплату податку за утилізацію відходів [2].

На сьогодні в Україні не вирішено питання утилізації вторинних продуктів промисловості, тому значна їх частина знаходиться у відвалах та несе в собі великий ризик для екології, і тільки незначна частина утилізується в будівельних проєктах, хоча вже впродовж багатьох років існує «Державна цільова економічна програма розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018–2023 роки» та розпорядження Кабінету міністрів України, які регламентують використання місцевих матеріалів, включаючи вторинні продукти промисловості під час будівництва та ремонту автомобільних доріг [3].

З метою впровадження золи-виносу під час будівництва та ремонту автомобільних доріг було здійснено влаштування асфальтобетонних шарів із золою-виносу під час ремонту під'їзної автомобільної дороги до прохідної 1-го блоку ДТЕК Бурштинська ТЕС загальною протяжністю 900 метрів (рисунок 1).

Під час дослідного впровадження були відібрані зразки керни (рисунок 3 та 4) і проведено випробування з визначення складу асфальтобетонної суміші, фізико-механічних властивостей асфальтобетону, перевірено якість ущільнення асфальтобетонної суміші.

З метою встановлення якості ущільнення суміші виконано визначення фізичних показників відібраних зразків-кернів, а саме середньої густини та водонасичення відповідно до розділу 8 та розділу 14 ДСТУ Б В.2.7-319 [4]. Результати випробувань наведено в таблиці 1.

Результати лабораторних випробувань відібраних зразків-кернів асфальтобетону засвідчили відповідність їх водонасичення вимогам таблиці 8 ДСТУ Б В.2.7-119 [5] відповідно до району А-2, у тому числі з урахуванням пункту 7.13 ДСТУ Б В.2.7-119.

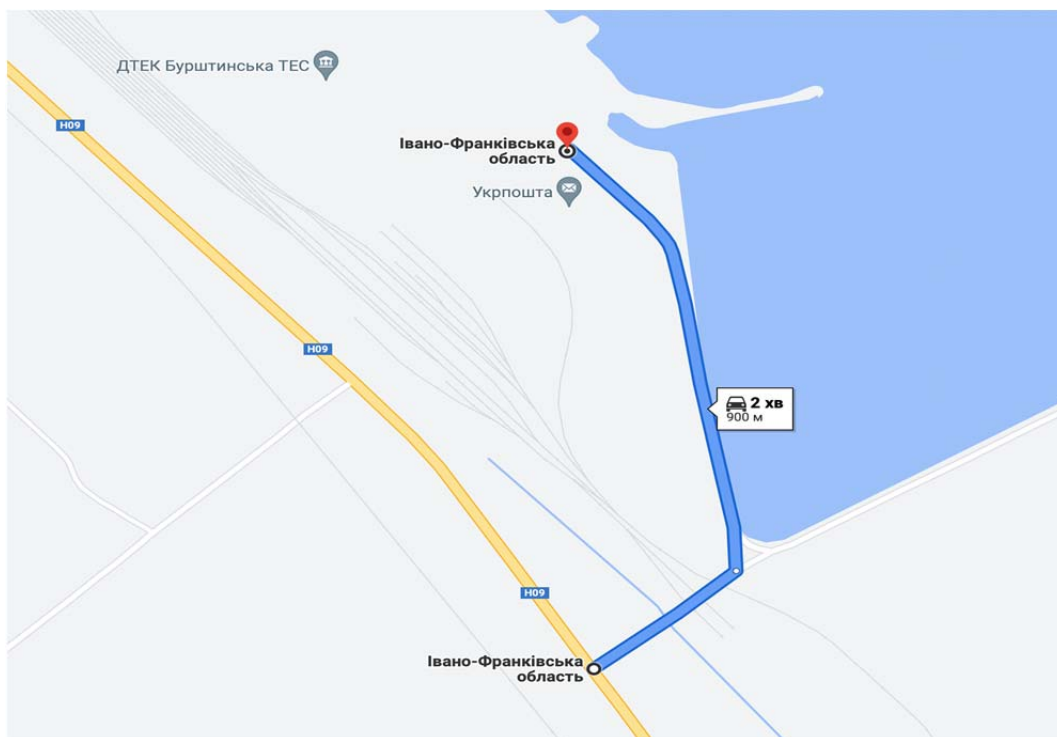


Рисунок 1 – Схема розташування під'їзної автомобільної дороги до прохідної 1-го блоку ДТЕК Бурштинської ТЕС
 Figure 1 – Location scheme of the access road to the passageway of the 1st block of DTEK Burshtyn TPP

Для даного проекту було розроблено та прийнято 2 типи конструкції дорожнього одягу, зображені на рисунку 2.

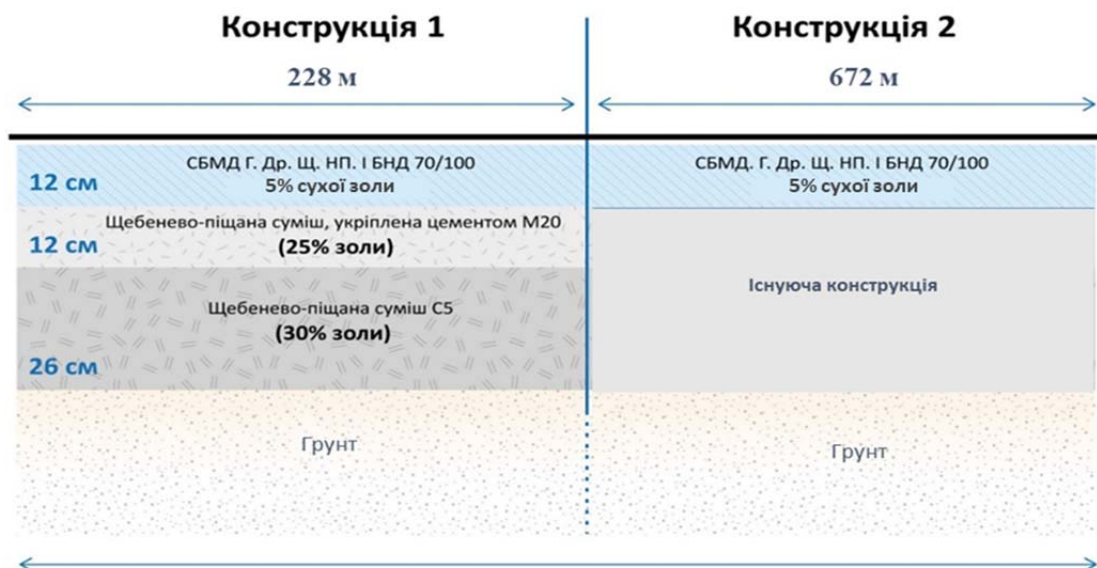


Рисунок 2 – Використовувані типи конструкції дорожнього одягу
 Figure 2 – Used types of construction of road clothing



Рисунок 3 – Відбирання зразків-кernів на під'їзній автомобільній дорозі до прохідної 1-го блоку ДТЕК Бурштинської ТЕС
 Figure 3 – Sampling of core samples on the access road to the passageway of the 1st block of DTEK of the Burshtyn TPP



Рисунок 4 – Відібрані зразки-керна на під'їзній автомобільній дорозі до прохідної 1-го блоку ДТЕК Бурштинської ТЕС
 Figure 4 – Selected core samples on the access road to the passageway of the 1st block of DTEK of the Burshtyn TPP

Таблиця 1 Випробування зразків-кернів відібраних на під'їзній автомобільній дорозі до прохідної 1-го блоку ДТЕК Бурштинської ТЕС

Table 1 Tests of core samples taken on the access road to the passageway of the 1st block of DTEK Burshtynskaya TPP

Ч. ч.	Найменування показника, одиниця вимірювання	Фактичні показники зразків-кернів шару покриття			Середнє арифметичне	Фактичні показники зразків-кернів шару основи			Середнє арифметичне
		1	2	3		4	5	6	
1	Середня густина, г/см ³	2,30	2,27	2,31	2,29	2,33	2,31	2,34	2,32
2	Водонасичення, % за об'ємом	3,5	4,5	3,3	3,8	2,8	3,2	2,5	2,8

Визначення коефіцієнта ущільнення на відповідність вимогам ДБН В.2.3-4 виконували відповідно до розділу 33 ДСТУ Б В.2.7-319. Результати випробувань наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати визначення коефіцієнта ущільнення

Table 2 – Results of determining the compaction coefficient

Ч. ч.	Найменування показника, одиниця вимірювання	Вимоги ДБН В.2.3-4	Результат випробування
1	Коефіцієнт ущільнення суміші для шару покриття	0,99, не менше	0,99
2	Коефіцієнт ущільнення суміші для шару основи	0,98, не менше	1,00

За результатами досліджень встановлено, що коефіцієнт ущільнення сумішей для шару покриття відповідає вимогам пункту 20.8.10 ДБН В.2.3-4 [6].

Визначення складу відібраної суміші, а саме зернового складу мінеральної частини та вмісту в'язучого, виконували відповідно до розділу 31 ДСТУ Б В.2.7-319. Результати визначення зернового складу асфальтобетонної суміші наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати визначення зернового складу асфальтобетонної суміші з золою-виносу

Table 3 – Results of determination of grain composition of asphalt concrete mixture with fly ash

Найменування показника	Вміст, % за масою, мінеральних зерен, менших даного розміру, мм											
	40	25	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Результат випробування	100,0	100,0	98,4	88,7	77,5	62,5	44,8	32,6	26,0	19,0	12,2	8,3
Вимоги ДСТУ Б В.2.7-305 та ДСТУ Б В.2.7-119	100	100	100-95	93-84	82-69	65-55	53-41	42-31	33-23	25-16	18-11	14-8
Відповідність вимогам ДСТУ Б В.2.7-305 та ДСТУ Б В.2.7-119	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Середнє значення вмісту в'язучого в суміші становило 4,76 % за масою мінеральних матеріалів. Окремі результати визначення вмісту в'язучого становили від 4,68 % за масою до 4,83 % за масою.

Визначення фізико-механічних показників виготовлених зразків асфальтобетону, а саме середньої густини, водонасичення, границі міцності за температури 20 °С, границі міцності за температури 50 °С виконували відповідно до розділу 8, розділу 14 та розділу 16 ДСТУ Б В.2.7-319. Результати випробувань наведено в таблиці 4.

Результати лабораторних випробувань засвідчили наступне:

– водонасичення виготовлених зразків відповідає вимогам таблиці 8 ДСТУ Б В.2.7-119 відповідно до району А-2 та таблиці 3 ДСТУ Б В.2.7-305;

– границя міцності при стиску за температури 20 °С виготовлених зразків відповідає вимогам таблиці 8 ДСТУ Б В.2.7-119 відповідно до району А-2 та таблиці 3 ДСТУ Б В.2.7-305 [7];

– границя міцності при стиску за температури 50 °С виготовлених зразків відповідає вимогам таблиці 8 ДСТУ Б В.2.7-119 відповідно до району А-2 таблиці 3 ДСТУ Б В.2.7-305.

Таблиця 4 Результати випробувань відібраної асфальтобетонної суміші з золою-виносу
Table 4 Test results of the selected asphalt concrete mix with fly ash

Ч. ч.	Найменування показника, одиниця вимірювання	Результат випробування			Середнє арифметичне
1	Середня густина, г/см ³	2,31	2,31	2,32	2,31
2	Водонасичення, % за об'ємом	3,4	3,4	3,3	3,4
3	Границя міцності при стиску за температури 20 °С, МПа	4,2	4,4	4,6	4,4
4	Границя міцності при стиску за температури 50 °С, МПа	1,7	1,6	1,6	1,6

Висновки

За результатами дослідного впровадження асфальтобетонних сумішей із золою-виносу встановлено відповідність використовуваної асфальтобетонної суміші вимогам ДСТУ Б В.2.7-119 та ДСТУ Б В.2.7-305, якість її ущільнення, а також підтверджено результати комплексних лабораторних досліджень щодо можливості використання золи-виносу під час виробництва асфальтобетонних сумішей.

Використання золи-виносу на заміну мінерального порошку дозволить знизити вартість виробництва асфальтобетонних сумішей, оскільки вартість золи-виносу є нижчою за вартість кондиційного мінерального порошку.

Використання золи-виносу також дозволить поліпшити екологічну ситуацію в Україні, зокрема в місцях розташування електростанцій, завдяки зменшенню площ відведення землі під утилізацію золи-виносу, попередженню забруднення повітря та водоймищ в результаті розпорошення золи-виносу, а також зменшенню видобутку природних корисних копалин – осадових карбонатних гірських порід.

Однозначно, робити висновки щодо масштабного впровадження поки що зарано, оскільки поки що не встановлено експлуатаційну довговічність асфальтобетону із золою виносу, тому подальші лабораторні дослідження треба спрямувати на встановлення старіння асфальтобетону із золою виносу та виконувати спостереження за дослідною ділянкою.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Каськів В. І., Копинець І. В., Соколов О. В. Дослідження золи-винесення електрогенеруючих підприємств з метою її використання як альтернативи вапняковому мінеральному порошку для виробництва асфальтобетонних сумішей. Дороги і мости. 2021. Вип. 24. С. 40–47.
2. Соколов О. В., Желотобрюх А. Д., Копинець І. В., Каськів В. І. Використання відходів промисловості в дорожньому будівництві // Дороги і мости. – 2020. – Вип. 21. – С. 110-119.
3. Про застосування відходів виробництва в дорожньому будівництві : Розпорядження Кабінету міністрів України від 04.12.2019 N 1420-р // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1420-2019-%D1%80#Text> (дата звернення: 20.01.2021).
4. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. Київ, 2016. 71.с (Інформація та документація).
5. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. Київ, 2012. 75.с (Інформація та документація).
6. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2016. 91.с (Інформація та документація).
7. ДСТУ Б В.2.7-305:2015 Суміші бітумомінеральні дорожні. Загальні технічні умови. Київ, 2016. 48.с (Інформація та документація).

REFERENCES

1. Volodymyr Kaskiv, Ivan Kopynets, Oleksii Sokolov. Study of fly ash from power generating enterprises to use it as an alternative to lime mineral filler for the production of asphalt mixtures. Dorogi i mosti [Roads and bridges]. 2021. Iss. 24. P. 40–47 [in Ukrainian].

2. Oleksii Sokolov, Anton Zheltobriukh, Ivan Kopynets, Volodymyr Kaskiv Use of industrial waste in road construction // *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. – 2020. – Iss. 21. – P. 110-119. [in Ukrainian].
3. On the use of production waste in road construction: Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated 04.12.2019 N 1420-r // *Database of Ukrainian Legislation / Verkhovna Rada of Ukraine*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1420-2019-%D1%80#Text> (date of application: 01/20/2021).
- 4 DSTU B V.2.7-319:2016 Asphalt concrete mixtures and road and airfield asphalt concrete. Test methods. Kyiv, 2016. 71 p. (Information and documentation).
5. DSTU B V.2.7-119:2011 Asphalt concrete mixtures and road and airfield asphalt concrete. Specifications. Kyiv, 2012. 75.p. (Information and documentation).
6. DBN V.2.3-4:2015 Motor roads. Part I. Design. Part II. Construction. Kyiv, 2016. 91.p. (Information and documentation).
7. DSTU B V.2.7-305:2015 Bituminous-mineral road mixtures. General technical conditions. Kyiv, 2016. 48.p. (Information and documentation).

РЕФЕРАТ

Каськів В.І.. Дослідні впровадження асфальтобетонних сумішей із золою – виносу / В.І. Каськів, О.В. Соколов // *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

Одним з найбільш використовуваних матеріалів під час будівництва автомобільних доріг є асфальтобетонні суміші. Для виробництва даних сумішей зазвичай використовують крупний заповнювач, дрібний заповнювач, наповнювач (мінеральний порошок) та бітум.

В Україні як наповнювач переважно використовують матеріал, отриманий подрібненням осадових карбонатних гірських порід. В той же час на електрогенеруючих підприємствах України в результаті спалювання вугілля утворюються мільйони тонн пилоподібних відходів - золи-виносу. За зерновим складом зола-виносу наближається до національних вимог до наповнювача. Комплексні лабораторні дослідження засвідчили можливість використання золи-виносу як наповнювача у складі асфальтобетонних сумішей, тому наступний етап досліджень полягав у дослідному впровадженні асфальтобетонних сумішей із золою-виносу.

Утилізація вторинних продуктів промисловості (відходів) призначена для збереження природних ресурсів і скорочення обсягу відходів, які необхідно утилізувати в спеціальних місцях поховання. Утилізація заохочується багатьма країнами Європейського Союзу, в якому є відповідні положення у всіх директивах, що стосуються управління відходами. Ключовим елементом у заохоченні до переробки відходів є принцип «забруднювач платить», який був включений до всіх директив Співтовариства щодо поводження з безпечними та небезпечними відходами. З метою заохочення до переробки багато держав-членів прийняли специфічне екологічне законодавство, зокрема, сплату податку за утилізацію відходів.

На сьогодні в Україні не вирішено питання утилізації вторинних продуктів промисловості, тому значна їх частина знаходиться у відвалах та несе в собі великий ризик для екології, і тільки незначна частина утилізується в будівельних проєктах, хоча вже впродовж багатьох років існує «Державна цільова економічна програма розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018–2022 роки» та розпорядження Кабінету міністрів України, які регламентують використання місцевих матеріалів, включаючи вторинні продукти промисловості під час будівництва та ремонту автомобільних доріг.

З метою впровадження золи-виносу під час будівництва та ремонту автомобільних доріг було здійснено влаштування асфальтобетонних шарів із золою-виносу під час ремонту під'їзної автомобільної дороги до прохідної 1-го блоку ДТЕК Бурштинська ТЕС загальною протяжністю 900 метрів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОМОБІЛЬНА ДОРОГА, АСФАЛЬТОБЕТОН, ЗОЛА-ВИНОСУ, МІНЕРАЛЬНИЙ ПОРОШОК, ВТОРИННІ ПРОДУКТИ ПРОМИСЛОВОСТІ.

ABSTRACT

Kaskiv V.I., Sokolov O.V. Experimental implementation of asphalt concrete mixtures with fly ash. *Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences»*. Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

Asphalt concrete mixtures are one of the most used materials during the construction of highways. For the production of these mixtures, coarse aggregate, fine aggregate, filler (mineral powder) and bitumen are usually used.

In Ukraine, the material obtained by crushing sedimentary carbonate rocks is mainly used as a filler. At the same time, as a result of burning coal, millions of tons of dust-like waste - fly ash - are formed at power-generating enterprises of Ukraine. The grain composition of fly ash approaches the national requirements for filler. Complex laboratory studies confirmed the possibility of using fly ash as a filler in asphalt concrete mixtures, therefore the next stage of research consisted in the experimental implementation of asphalt concrete mixtures with fly ash.

The disposal of secondary products of industry (waste) is intended to preserve natural resources and reduce the amount of waste that must be disposed of in special burial places. Recycling is encouraged by many countries in the European Union, which has relevant provisions in all directives relating to waste management. A key element in encouraging waste recycling is the "polluter pays" principle, which has been included in all Community directives on the management of safe and hazardous waste. In order to encourage recycling, many Member States have adopted specific environmental legislation, in particular, the payment of a waste disposal tax.

To date, the issue of disposal of secondary industrial products has not been resolved in Ukraine, therefore a significant part of them is in landfills and carries a great risk for the environment, and only a small part is disposed of in construction projects, although for many years there has been a "State Targeted Economic Program for the Development of Automotive public roads of state significance for 2018–2022" and the order of the Cabinet of Ministers of Ukraine, which regulate the use of local materials, including secondary industrial products during the construction and repair of highways.

In order to introduce fly ash during the construction and repair of highways, asphalt concrete layers with fly ash were laid during the repair of the access road to the passageway of the 1st block of DTEK Burshtynska TPP with a total length of 900 meters.

KEY WORDS: MOTOR ROAD, ASPHALT CONCRETE, FLY ASH, MINERAL POWDER, SECONDARY PRODUCTS OF INDUSTRY.

АВТОРИ:

Касків В. І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, vi_kas@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8074-6798

Соколов О. В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, bitumen_lab@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4694-9647

AUTHORS:

Kaskiv V. I., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, vi_kas@ukr.net, orcid.org/0000-0002-8074-6798

Sokolov O. V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, bitumen_lab@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4694-9647

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Савенко В.Я., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет.

Нагайчук В.М., кандидат технічних наук, доцент, начальник відділу підвищення кваліфікації фахівців Науково-методичного центру ДП «ДерждорНДІ»

REVIEWER:

V. Ya. Savenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University.

Nagaichuk V.M., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Professional Development of the Scientific and Methodological Center of State Enterprise "DerzhdorNDI"

ТИПОВІ ЇЗДОВІ ВИПРОБУВАЛЬНІ ЦИКЛИ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Ковбасенко С.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, s-kov@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7309-8200

Гонтар Ю.В., ДП «ДержавтотрансНДІпроект», Київ, Україна, yuragontar0511@gmail.com, orcid.org/0009-0005-6261-5216

TYPICAL DRIVING TEST CYCLES FOR ASSESSMENT OF THE PERFORMANCE INDICATORS OF AUTOMOTIVE VEHICLES

Kovbasenko S.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, s-kov@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7309-8200

Hontar Y.V., «DerzhavtotransNDIproekt», Kyiv, Ukraine, yuragontar0511@gmail.com, orcid.org/0009-0005-6261-5216

Вступ. Збільшення виробництва автомобілів в світі є однією з найбільших транспортних тенденцій останніх десятиліть. За даними Міжнародного союзу автомобільного транспорту (International Organization of Motor Vehicle Manufacturers – OICA), кількість легкових автомобілів в світі досягла більше 1 млрд одиниць у 2010 році, а в 2019 році це число зросло до понад 1,4 млрд [1].

Однією з причин такого зростання є збільшення населення світу і відповідно – попиту на транспортні засоби. За даними Міжнародної дорожньої федерації (International Road Federation) лідером за кількістю автомобілів на 1000 осіб є США з кількістю 821 шт. [1] Автомобілізація в Україні, починаючи з 2003 року, зросла зі 107 до 232 одиниць на 1000 осіб станом на кінець 2021 року [2].

Автомобільний транспорт відіграє важливу роль в соціально-економічному розвитку кожної країни, але одночасно є і одним з найбільших джерел забруднення навколишнього середовища. За даними Міжнародного агентства з енергетики (IEA) споживання палива нафтового походження автомобільним транспортом у 2021 році становило понад 40% світового нафтопродукту [3]. Відпрацьовані гази автотранспортних засобів містять більше 200 відомих найменувань шкідливих речовин [4].

Аналіз досліджень і публікацій. У зв'язку з глобальним погіршенням екологічної ситуації більшість країн у різних галузях вводять все більш жорсткі норми викидів шкідливих речовин. Для оцінки викидів шкідливих речовин автотранспортними засобами з двигунами внутрішнього згоряння існує ціла низка нормативних документів, стандартів та регламентів, які обмежують такі викиди.

В Європі – це екологічні стандарти Euro I-VI [5], що регулюють вміст шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Сполучені Штати Америки використовують стандарти екологічності Tier 0-4. Японія має свої стандарти: New Short Term, New Long Term, Post New Long Term, Future Regulations [6]. Перевірка на відповідність даним вимогам проводиться відповідно до певних моделей та процедур випробування. Одним зі способів визначення екологічної безпеки та паливної економічності машин є дослідження цих показників за допомогою їздових циклів (легкові автомобілі) та циклів випробувань двигунів (вантажні автомобілі).

Їздовий випробувальний цикл автомобілів являє собою ряд режимів (прискорення і сповільнення, стала швидкість, холостий хід), які чергуються між собою та імітують усереднений рух в реальних умовах експлуатації. Основними критеріями оцінки їздового циклу є: загальний пробіг, час, середня швидкість руху, максимальна швидкість, середнє та максимальне прискорення, холостий хід, кількість та тривалість зупинок.

Мета роботи – аналіз існуючих їздових циклів для оцінки експлуатаційних характеристик, економічності та екологічності автотранспортних засобів, а також та визначення перспективних методів створення випробувальних циклів.

Виклад основного матеріалу. Більшість їзових циклів, що використовуються у світі, можна розділити на три основні групи: Європейські, Японські та випробувальні цикли США [7].

Європейські випробувальні цикли. NEDC (New European Drive Cycle) – новий європейський їзовий цикл відтворюється на динамометричному моторному стенді для легкових та легковантажних автомобілів. Він складається з двох циклів міського режиму (ECE) та позаміського (EUDC). Міський режим (ECE) включає в себе чотири режими по 195 с. кожний та одного позаміського (EUDC) тривалістю 400 с. Перед початком випробування за NEDC обов’язковою вимогою була фаза прогріву двигуна впродовж 40 с, але, після запровадження в 2000 році екологічного стандарту Euro III, ця норма була скасована. Це дало змогу врахувати виділення шкідливих речовин з холодного пуску двигуна і впродовж фази прогріву. Основні параметри циклу: відстань 11,007 км, тривалість 1800 с, середня швидкість руху 33,6 км/год, максимальна швидкість 120 км/год (рис. 1) [6].

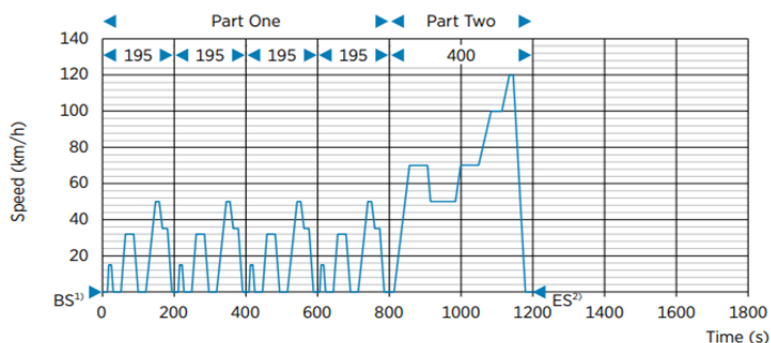


Рисунок 1 – цикл NEDC

Figure 1 – NEDC cycle

WLTC (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle) – Всесвітній гармонізований цикл випробувань легкових транспортних засобів є частиною Всесвітніх гармонізованих процедур випробування легких транспортних засобів (WLTP) та був розроблений групою UNECE GRPE (Робоча група з забруднення та енергетики) на основі статистичного аналізу руху у різних країнах світу [8]. Прийшов на заміну досить застарілому NEDC, починаючи з вересня 2017 року. Мета його розробки — широке використання в світі та визначення більш реалістичних значень паливної економічності та екологічності транспортних засобів. Випробування проводяться на роликівому випробувальному стенді з урахуванням різних факторів таких як: увімкнений кондиціонер, аудіосистема, враховуються погодні умови, якість палива, знос шин, особливості конструкції кузова автомобіля, заряду акумулятора та інші. Процедура WLTP включає три класи випробувальних їзових циклів WLTC, застосування яких визначається в залежності від відношення номінальної потужності до спорядженої маси транспортного засобу (ВПМ), (табл. 1). Визначення необхідного циклу також залежить від максимальної швидкості, заявленої заводом-виробником.

Таблиця 1 – Класи випробувальних їзових циклів WLTC (WLTC test driving cycle classes) [6]

Table 1 –WLTC test driving cycle classes (WLTC test driving cycle classes) [6]

Категорія		ВПМ (W/кг)	Фази швидкості
Перший клас		$ВПМ \leq 22$	Low1+Medium1+Low1
Другий клас		$22 < ВПМ \leq 34$	Low2+Medium2 +High2+Extra High2
Третій клас	3a ($V_{\text{макс.}} < 120$ км/год)	$ВПМ > 34$	Low3+Medium3-1 + High3-1+Extra High3
	3b ($V_{\text{макс.}} \geq 120$ км/год)		Low3+Medium3-2 + High3-2+Extra High3

Випробувальний їздовий цикл для класу 2 і 3 складається з 4-х режимів: Low (низький), Medium (середній), High (високий) та Extra High (дуже високий). Для класу 1 таких режимів – 3: Low (низький), Medium (середній) та знову Low (низький)[9].

Цикл WLTC для транспортних засобів класу 3b представлений на рисунку 2.

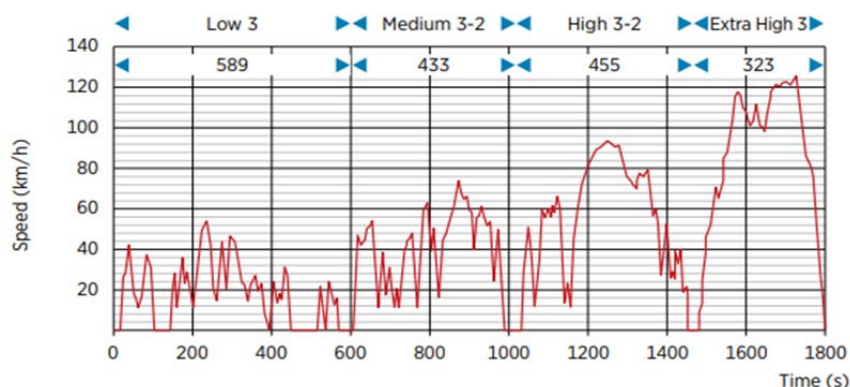


Рисунок 2 – Цикл WLTC для транспортних засобів класу 3b

Figure 2 – WLTC cycle for Class 3b vehicles

RDE (Real Driving Emissions) – це додаткова методика випробувального циклу WLTC, яка визначає шкідливі викиди в реальних умовах водіння. Це нова методика вимірювання викидів забруднюючих речовин, таких як оксиди азоту (NO_x) і дрібних частинок. Випробування RDE проводяться на дорогах загального користування в реальних умовах руху, а не в лабораторних, та включає в собі три режими – низький (рух по міських дорогах з невеликою швидкістю), середній (рух по передмістю з середньою швидкістю) та високий (швидкісний рух по автостраді). Через різні допустимі швидкості руху на однотипних ділянках у різних країнах, було розроблено поправочні коефіцієнти для більш точного проведення дослідження [8]. Вимірювання проводяться з використанням інтелектуального пристрою під назвою PEMS (Portable Emissions Measurement System [10] – портативна система вимірювання шкідливих викидів), який в ході випробувань закріплюють на задній частині автомобіля. Викиди, створені під час випробування RDE, реєструються щосекунди і обчислюються за допомогою спеціальних методів оцінки. Основні параметри циклу: відстань 23,5 км, середня швидкість руху 46,6 км/год, максимальна швидкість 131,6 км/год, тривалість 1800 с.

WLTP також передбачає випробування гібридних та електричних транспортних засобів. Всі вони відносяться до третього класу транспортних засобів випробувального їздового циклу. Викиди та ряд інших параметрів перевіряються за їздовим циклом класу 3 (клас 3a або клас 3b), в режимі зниження та підтримки заряду.

В Україні випробування двигунів вантажних автомобілів та автобусів на екологічність та оцінку витрати палива проводять після визначення контрольної маси транспортного засобу на динамометричному моторному стенді за Правилами ЄЕК ООН №49 [11] або на роликовому випробувальному стенді за Правилами ЄЕК ООН №83 – застосовується для транспортних засобів категорій M₁ та N₁.

Правила ЄЕК ООН №49 передбачають використання 13-режимного циклу випробування дизельного двигуна стаціонарним способом, при цьому двигун монтують на спеціальному динамометричному стенді. Це випробування здійснюється шляхом задання 13 умов швидкості та навантаження. Викиди шкідливих речовин вимірюються на кожному режимі окремо і визначаються в г/кВт·год. Остаточним результатом вважається середньозважене значення. Це випробування проводиться для визначення викидів важких дорожніх двигунів на схвалення типу за стандартом викидів Euro II та залишається нормативною процедурою тестування для країн, в яких даний стандарт ще діє. Для Сполучених Штатів Америки використовується таке ж 13-режимне випробування, але результативні вагові коефіцієнти – інші. З жовтня 2000 року 13-режимний цикл (рис. 3) за правилами ЄЕК ООН №49 був замінений циклом ESC (рис. 4) [12].

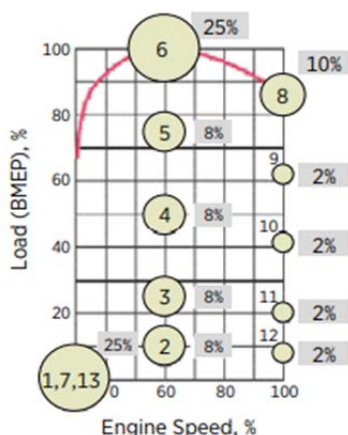


Рисунок 3 – 13-режимний цикл
за Правилами СЕК ООН №49
Figure 3 – 13-mode cycle
according to UNECE Rules No. 49

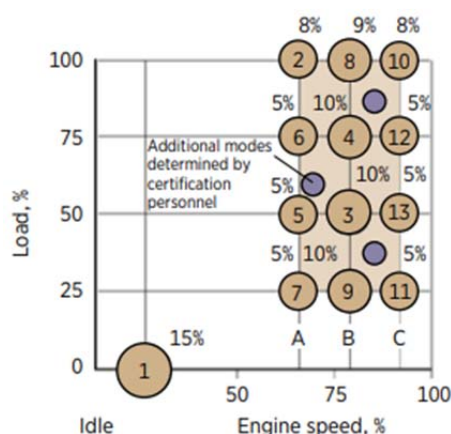


Рисунок 4 – 13-режимний цикл ESC
Figure 4 – 13-mode ESC cycle

Із впровадженням екологічних норм Euro III на заміну 13-режимного циклу за Правилами СЕК ООН №49 прийшов більш удосконалений випробувальний цикл **ESC**. При застосуванні даної методики двигун випробовують на динамометричному стенді в послідовності сталих режимів. Двигун повинен працювати впродовж встановленого часу в кожному з 13-ти режимів, переходи між швидкістю та навантаженням двигуна повинні відбуватися впродовж 20 секунд. Вказана швидкість повинна підтримуватися в межах $\pm 50 \text{ хв}^{-1}$, а заданий крутний момент в межах $\pm 2\%$ від максимального крутного моменту при випробувальній швидкості. Викиди шкідливих речовин вимірюються на кожному режимі окремо і визначаються в г/кВт·год. Остаточним результатом вважається середньозважене значення. Викиди твердих частинок відбираються одним фільтром у 13 режимах. Випробувальний цикл ESC характеризується високим середнім коефіцієнтом навантаження та високою температурою відпрацьованих газів.

Випробувальний цикл ESC був запроваджений разом із циклами ETC (Європейський перехідний цикл) і ELR (Європейська реакція на навантаження).

ETC (European Transient Cycle) – Європейський перехідний випробувальний цикл, який включає три несталі режими, що відповідають руху КТЗ в місті, селі та передмісті, на швидкісних магістралях.

ELR (European Load Response test) – Європейський навантажувальний цикл проводиться на тих же швидкісних режимах, що і ESC, та використовується для визначення димності дизеля.

Випробувальні цикли США. FTP-75 (Також відомий як **City Driving Cycle**). Американський їздовий цикл FTP 75 розроблений для оцінки екологічності та економічності легкових транспортних засобів, складається з трьох режимів, що відповідають швидкостям руху, виміряним на вулицях Лос-Анжелеса та передбачає 10-ти хвилинну зупинку автомобіля (рис. 5). Перед випробуванням автомобіль 12 годин перебуває в стані спокою при температурі 20...30 °. Після цього передбачається рух за трьома фазами: Cold start phase (холодна фаза); Transient phase (фаза обмежених швидкостей). Після закінчення цієї фази на 1369 секунд двигун вимикається на 10 хвилин; Hot start phase (фаза на прогрітому двигуні).

Виконується повторний запуск двигуна для проведення випробувань прогрітого двигуна. Швидкісний режим руху аналогічний до того, що був при випробуваннях в холодній фазі.

При цьому під час випробування на кожній із фаз проводиться збір відпрацьованих газів у окремі ємності. Вагові сумарні значення шкідливих речовин (CO, CH і NOx) з усіх трьох ємностей оцінюються по відношенню до пройденої відстані і потім перераховуються у вагову кількість цих компонентів на 1 милю ($\approx 1,6 \text{ км}$).

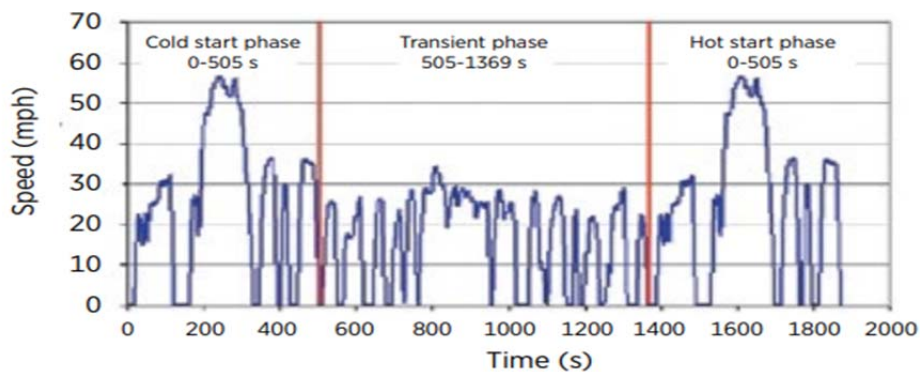
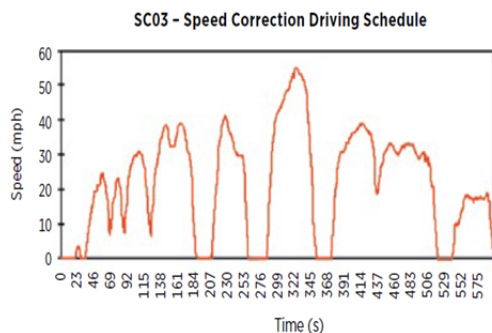


Рисунок 5 – Цикл FTP-75
Figure 5 – FTP-75 cycle

Автомобілі, модельний ряд яких починається з 2000-го року, проходять додаткові випробування за двома додатковими федеральними випробувальними циклами US06 та SC03 (рис. 6), які створені для урахування режимів агресивного водіння та руху автомобіля з увімкненою системою кондиціонування. US06 відображає агресивний високошвидкісний рух, SC03 – рух з використанням кондиціонера.

SC03 AIR CONDITIONING DRIVING CYCLE



US06 HIGH SPEED/HIGH LOAD DRIVING CYCLE

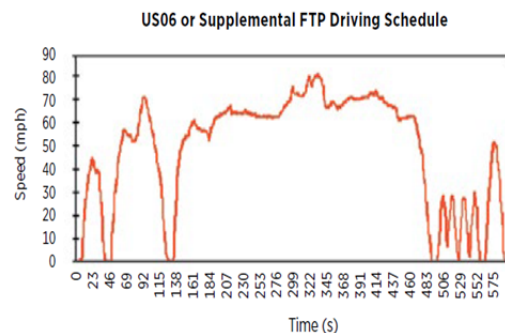


Рисунок 6 – Цикли US03 (ліворуч) та US06 (праворуч)
Figure 6 – Cycles US03 (left) and US06 (right)

Паливна економічність розраховується на основі тестування FTP (для міського руху) і HWFET (для руху по шосе). Модельний ряд автомобілів, починаючи з 2008-го року, досліджується на економічність за допомогою 5-циклічних випробувань за методом EPA. Цей метод базується на результатах 5 їздових циклів: двох FTP — одного звичайного та одного при низькій температурі, проведеного при лабораторній температурі 20°F (-6,7°C), а також циклів HWFET (рис. 7), US06 і SC03.

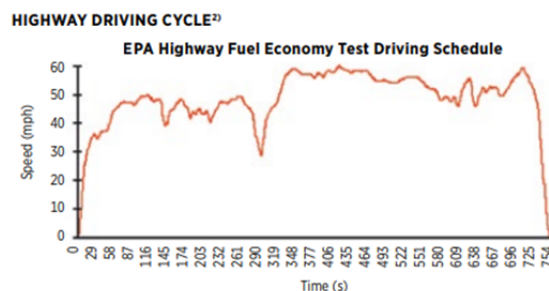


Рисунок 7 – Цикл HWFET
Figure 7 – HWFET cycle

Перехідний цикл FTP (Federal Test Procedure) – перехідний випробувальний цикл для визначення шкідливих викидів двигунами вантажних автомобілів (рис. 8). Тестування проводиться на моторному динамометричному стенді.

Перехідний тест був розроблений для врахування різноманітних моделей водіння вантажівок і автобусів в американських містах, включаючи рух у містах і навколо них на дорогах і швидкісних магістралях. Перехідний цикл FTP складається з чотирьох фаз (рис. 8).

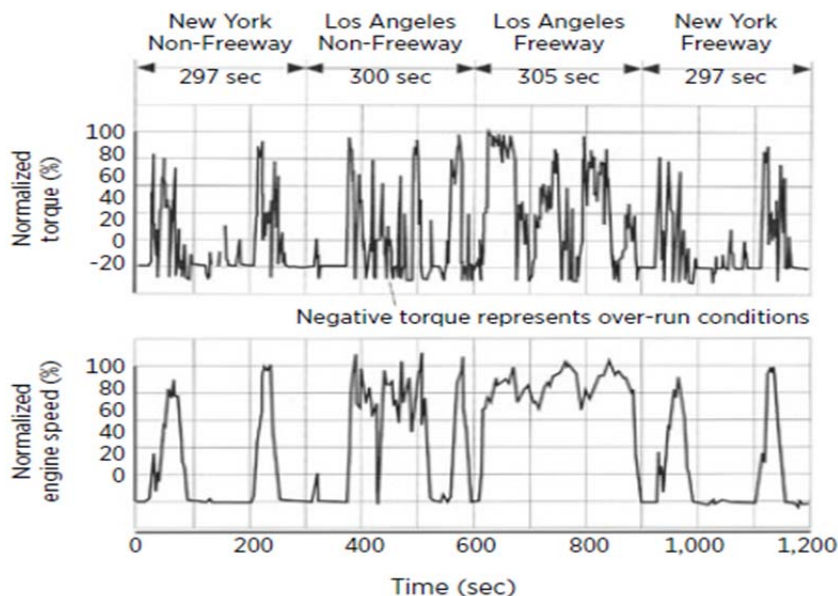


Рисунок 8 – Перехідний цикл FTP

Figure 8 – FTP transition cycle

Середній коефіцієнт навантаження перехідного циклу FTP становить приблизно 20-25% від максимальної потужності двигуна, доступної при даній швидкості двигуна. Середня швидкість автомобіля – близько 30 км/год, відстань – 10,3 км, час – 1200 с.

LLC- Low Load Cycle (цикл низького навантаження) – характеризує рух міського вантажного та комунального транспорту з низьким навантаженням на двигун (рис. 9). Цей цикл створений для аналізу роботи систем доочистки шкідливих речовин у відпрацьованих газах на режимах низьких навантажень. Він складається з 3-х режимів навантаження: стійкого навантаження, перехідного від високого до низького режиму, та від низького до високого режиму навантаження. Випробування триває 5505 с = 1 година 31 хвилина 44 секунди. Проводиться на динамометричному моторному та роликовому стендах [13].

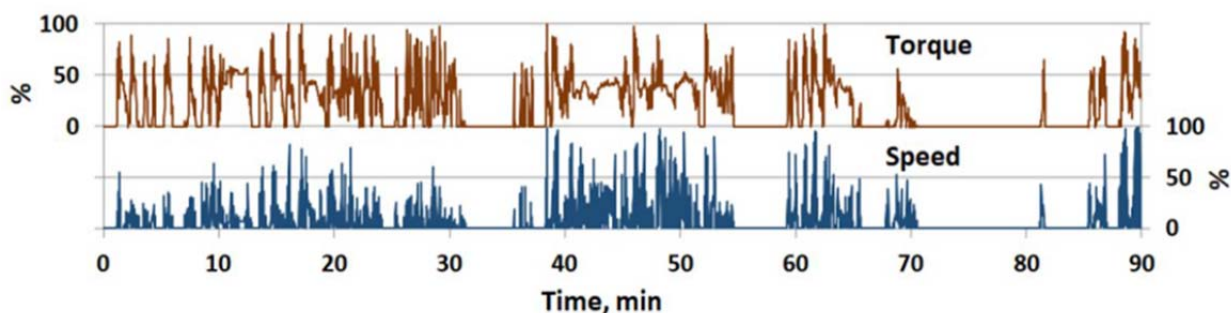


Рисунок 9 – Цикл низького навантаження (LLC)

Figure 9 – Low Load Cycle (LLC)

Випробувальні цикли Японії. 10-15 MODE COLD CYCLE. 10-15 – режимний цикл (10-15 MODE COLD CYCLE) є похідним від 10-режимного (міського) циклу, доданий ще 15-режимний сегмент із максимальною швидкістю 70 км/год (рис. 10). Викиди оцінюються у г/км. 10-15 MODE COLD CYCLE – це комбінація п'яти циклів. Весь цикл триває 15 хвилин. Перед початком виконується 15-ти хвилинний прогрів автомобіля на швидкості 60 км/год, після чого слід виконати

комбінації циклів. Першим виконується 15- режимний сегмент, далі три повторення 10-режимних циклів і потім знову 15- режимний сегмент.

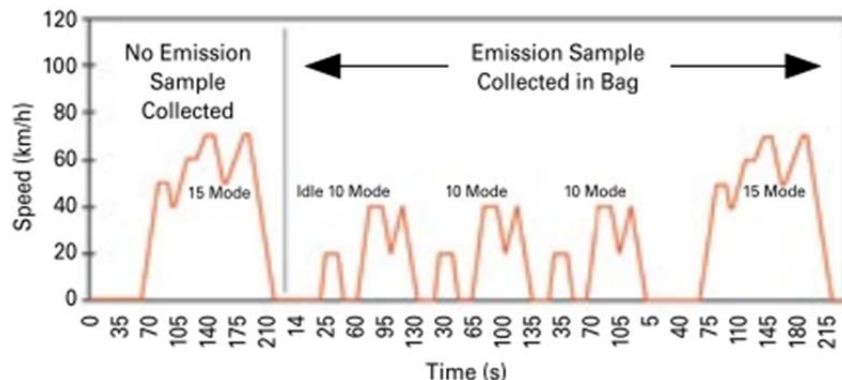


Рисунок 10 – 10-15 режимний цикл
Figure 10 – 10-15 mode cycle

Загальна довжина циклу – 6,34 км, тривалість – 892 с, середня швидкість – 25,61 км/год. Викиди вимірюються впродовж останніх 4 сегментів. Довжина циклу – 4,16 км, середня швидкість – 22,7 км/год, максимальна швидкість – 70 км/год, тривалість – 660 с (або відповідно 6,34 км, 25,6 км/год, 892 с, включаючи початковий 15-ти режимний відрізок) [6]. Даний цикл відноситься до модальних їзових циклів, тому його не можна вважати репрезентативним циклом [14].

Їзовий цикл JC 08 (Driving cycle JC 08). Цей випробувальний цикл працює в Японії з 2007 року, в 2010 він прийнятий як єдиний стандарт оцінки. Тест представляє водіння в скупченому міському трафіку, включаючи періоди простою та часте чергування прискорення та уповільнення (рис. 11). Вимірювання проводиться двічі, з холодним і теплим пуском. Тест використовується для вимірювання викидів і визначення економії палива для бензинових і дизельних автомобілів. Розрахунковий час даного циклу складає 1204 с. Передбачається, що за цей час автомобіль проїжджає дистанцію 8,17 кілометрів. Діапазон швидкостей вимірювального циклу JC08 становить 24,4 км/год для середньої швидкості та 81,6 км/год для максимальної. Коефіцієнт навантаження – 29,7%.

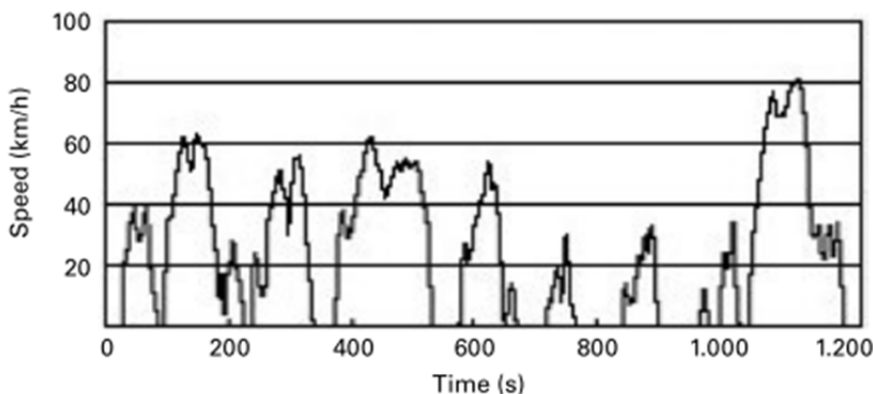


Рисунок 11 – Цикл JC 08
Figure 11 – Cycle JC 08

Слід зазначити, що екологічність легкових транспортних засобів в Японії, починаючи з 2018 року, перевіряється за їзовим циклом WLTP [6].

JE05 (також відомий як ED12) – випробувальний цикл транспортних засобів із повною масою понад 3500 кг. запроваджений в 2005 році. Відноситься до перехідних випробувальних циклів, базується на режимах водіння в м. Токіо та застосовується для випробування автомобілів із двигунами з іскровим запалюванням та дизелями.

Цикл JE05 визначає залежність швидкості транспортного засобу від часу руху (рис. 12). Тривалість випробування – приблизно 1800 с, середня швидкість – 26,94 км/год, максимальна – 88 км/год.

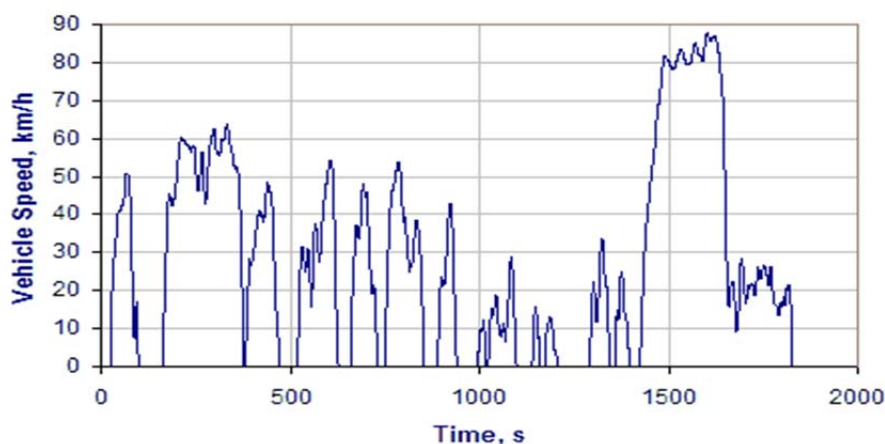


Рисунок 12 – Цикл JE05

Figure 12 – Cycle JE05

На сучасному етапі створення їзових випробувальних циклів можливе за допомогою таких методів, як використання даних з систем глобального позиціонування (GPS), IoT (Internet of Things), створення штучних та синтетичних їзових циклів тощо. Кожен з цих методів має свої переваги та недоліки, і використовується залежно від поставленої мети та завдань випробування. Поєднання різних методів може дати найкращі результати в створенні їзових циклів, які відповідають різним умовам руху автомобілів. Це дозволить отримати більш повну та точну інформацію про показники споживання палива та викидів шкідливих речовин автотранспортними засобами. Створення нових методів та їзових циклів є дуже важливим завданням, оскільки дозволяє отримати більш точні та наближені до реальних умов експлуатації результати випробувань, а також зменшити час та витрати на випробування.

Висновки. На сьогодні у світі існує велика кількість стандартів, директив, методик контролю та дослідження транспортних засобів щодо їх паливної економічності та екологічних показників. З огляду існуючих їзових циклів можна зробити висновок, що не всі вони досконалі та враховують усі режими експлуатації автомобіля в реальних дорожніх умовах. Основним недоліком є ідеалізація умов випробування без урахування всіх реальних експлуатаційних факторів. Режими експлуатації автотранспортних засобів на різних континентах та в різних країнах мають значні відмінності, що ускладнює використання уніфікованих їзових випробувальних циклів через різну методику випробувань, відмінність правил дорожнього руху, інфраструктурні фактори, обмеження потужності двигунів, вимог до палива тощо.

Поєднання різних методів створення їзових випробувальних циклів (використання даних з систем глобального позиціонування, IoT, створення штучних та синтетичних їзових циклів тощо) дозволить отримати найкращі результати в створенні їзових циклів, які відповідають різним умовам руху автомобілів. Дослідження паливної економічності та екологічних показників автомобілів за допомогою їзових циклів досить трудомісткий процес, тому створення їзових випробувальних циклів для спрощення певних етапів досліджень та розробка програмних засобів, універсальних комп'ютерних моделей дозволить суттєво полегшити процедуру випробування і забезпечити точність отриманих результатів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. International Organization of Motor Vehicle Manufacturers – OICA. Режим доступу: <https://www.oica.net/production-statistics/>.
2. Інститут дослідження авторинку. Український авторинок: історія проблем та як їх розв'язати. Режим доступу: <https://eauto.org.ua/news/130-ukrajinskiy-avtorinok-istoriya-problema-ta-yak-jih-rozv-yazati>.
3. International Energy Agency (IEA). Режим доступу: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/oil-information>.
4. Транспортна екологія: навчальний посібник / О. І. Запорожець, С. В. Бойченко, О. Л. Матвеева, С. Й. Шаманський, Т. І. Дмитруха, С. М. Маджд; за заг. редакцією С. В. Бойченка. Київ, 2017.

5. Еколого-транспортні проблеми сучасної України. МЦПД, Київ, 2022р. Режим доступу: https://icps.com.ua/assets/uploads/images/files/ecology_a4_ukr.pdf.
6. Worldwide emission standards. Passenger cars. Режим доступу: https://cdn.borgwarner.com/docs/default-source/default-document-library/passenger-cars-and-light-duty-vehicles-emissions-standards-booklet.pdf?sfvrsn=437a0b3d_6.
7. Emission Test Cycles. Режим доступу: <https://dieselnet.com/standards/cycles/index.php>.
8. Monica Tutuianu, Pierre Bonnel, Biagio Ciuffo, Takahiro Haniu, Noriyuki Ichikawa, Alessandro Marotta, Jelica Pavlovic, Heinz Steven. Elsevier journal. Transportation Research Part D. Development of the World-wide harmonized Light duty Test Cycle (WLTC) and a possible pathway for its introduction in the European legislation. Режим доступу: https://e3p.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/documents/publications/2015_trd_wltp.pdf.
9. Mukhitdinov A.A, Ziyaev K.Z. Method for evaluating the energy efficiency of regulated driving cycles // European science review. 2016. №9-10. pp. 234-236.
10. European Commission. Portable Emissions Measurement Systems (PEMS). Режим доступу: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/scientific-tools-and-databases/portable-emissions-measurement-systems-pems_en.
11. uniform provisions concerning the measures to be taken against the emission of gaseous and particulate pollutants from compression-ignition engines for use in vehicles, and the emission of gaseous pollutants from positive-ignition engines fuelled with natural gas or liquefied petroleum gas for use in vehicles. Режим доступу: <https://unece.org/sites/default/files/2021-07/R049r4e.pdf>.
12. Worldwide emissions standards on and off-highway commercial vehicles. Режим доступу: https://cdn.borgwarner.com/docs/default-source/default-document-library/on-and-off-highway-commercial-vehicles-emissions-standards.pdf?sfvrsn=30265b3d_8.
13. Emission characteristics analysis under California low load cycle for a China VI heavy-duty diesel engine. Xiaowei Wang, Jian Ling, Tao Gao, Xuejing Gu, Gang Li, Youyuan Zhang. 2022. Режим доступу: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2022/19/e3sconf_esat2022_03047.pdf.
14. Грицук І.В. До питання вибору і обґрунтування типу випробувального їздового циклу для дослідження показників токсичності відпрацьованих газів двигунів / І.В. Грицук, А.В. Кривопусков, Д.О. Гриценко // ДТЗ: зб. наук. пр. ДонІЗТ. 2009 – №17.

REFERENCES

1. International Organization of Motor Vehicle Manufacturers – OICA. Access mode: <https://www.oica.net/production-statistics/>.
2. Institute of Car Market Research. Ukrainian car market: history of problems and how to solve them? Access mode: <https://eauto.org.ua/news/130-ukrajinskiy-avtorinok-istoriya-problem-ta-yak-jih-rozvyazati>.
3. International Energy Agency (IEA). Access mode: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/oil-information>.
4. Transport ecology: a study guide / O. I. Zaporozhets, S. V. Boychenko, O. L. Matveeva, S. Y. Shamanskyi, T. I. Dmytrokha, S. M. Madzhd; in general edited by S. V. Boychenko. Kyiv, 2017.
5. Environmental and transport problems of modern Ukraine. Moscow State University, Kyiv, 2022. Access mode: https://icps.com.ua/assets/uploads/images/files/ecology_a4_ukr.pdf.
6. Worldwide emission standards. Passenger cars. Access mode: https://cdn.borgwarner.com/docs/default-source/default-document-library/passenger-cars-and-light-duty-vehicles-emissions-standards-booklet.pdf?sfvrsn=437a0b3d_6.
7. Emission Test Cycles. Access mode: <https://dieselnet.com/standards/cycles/index.php>.
8. Monica Tutuianu, Pierre Bonnel, Biagio Ciuffo, Takahiro Haniu, Noriyuki Ichikawa, Alessandro Marotta, Jelica Pavlovic, Heinz Steven. Elsevier journal. Transportation Research Part D Development of the World-wide harmonized Light duty Test Cycle (WLTC) and a possible pathway for its introduction in the European legislation. Access mode: https://e3p.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/documents/publications/2015_trd_wltp.pdf.
9. Mukhitdinov A.A, Ziyaev K.Z. Method for evaluating the energy efficiency of regulated driving cycles // European science review. 2016. №9-10. pp. 234-236.
10. European Commission. Portable Emissions Measurement Systems (PEMS). Access mode: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/scientific-tools-and-databases/portable-emissions-measurement-systems-pems_en.

11. Uniform provisions concerning the measures to be taken against the emission of gaseous and particulate pollutants from compressionignition engines for use in vehicles, and the emission of gaseous pollutants from positive-ignition engines fuelled with natural gas or liquefied petroleum gas for use in vehicles. Access mode:

<https://unece.org/sites/default/files/2021-07/R049r4e.pdf>.

12. Worldwide emissions standards on and off-highway commercial vehicles. Access mode:
https://cdn.borgwarner.com/docs/default-source/default-document-library/on-and-off-highway-commercial-vehicles-emissions-standards.pdf?sfvrsn=30265b3d_8.

13. Emission characteristics analysis under California low load cycle for a China VI heavy-duty diesel engine. Xiaowei Wang, Jian Ling, Tao Gao, Xuejing Gu, Gang Li , Youyuan Zhang. 2022. Access mode:

https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2022/19/e3sconf_esat2022_03047.pdf.

14. Hrytsuk I.V. On the issue of choosing and justifying the type of test driving cycle for the study of indicators of the toxicity of engine exhaust gases / I.V. Hrytsuk, A.V. Krivopuskov, D.O. Hrytsenko // DTZ: coll. of science works. DonIZT. 2009 – №17.

РЕФЕРАТ

Ковбасенко С.В. Типові їздові випробувальні цикли для оцінки експлуатаційних показників автотранспортних засобів / С.В. Ковбасенко, Ю.В. Гонтар // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

Об’єкт дослідження – типові їздові цикли, які використовуються для визначення експлуатаційних показників автомобільних транспортних засобів.

Мета роботи – аналіз існуючих їздових циклів для оцінки експлуатаційних характеристик, економічності та екологічності автотранспортних засобів, а також та визначення перспективних методів створення випробувальних циклів.

У статті розглянуті основні діючі їздові цикли для оцінки експлуатаційних характеристик, економічності та екологічності автотранспортних засобів. Відмічається, що одним зі способів визначення екологічної безпеки та паливної економічності машин є використання їздових циклів для легкових автомобілів та циклів випробувань двигунів для вантажних автомобілів. На сьогодні у світі існує велика кількість стандартів, директив, методик контролю та дослідження транспортних засобів щодо їх паливної економічності та екологічних показників. Більшість їздових циклів, що використовуються у світі відносяться до таких основних груп: Європейські, Японські та випробувальні цикли США. Основним недоліком типових їздових циклів є ідеалізація умов випробування без урахування всіх реальних експлуатаційних факторів. Крім того, режими експлуатації автотранспортних засобів на різних континентах та в різних країнах мають значні відмінності, що ускладнює використання уніфікованих їздових випробувальних циклів.

Дослідження паливної економічності та екологічних показників автомобілів за допомогою їздових циклів досить трудомісткий процес, тому створення їздових випробувальних циклів для спрощення певних етапів досліджень та розробка програмних засобів, універсальних комп’ютерних моделей дозволить суттєво полегшити процедуру випробування і забезпечити точність отриманих результатів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВИПРОБУВАЛЬНИЙ ЦИКЛ, ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ, ВИТРАТА ПАЛИВА, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, АВТОТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ.

ABSTRACT

Kovbasenko S.V., Hontar Y.V. Typical driving test cycles for assessment of the performance indicators of automotive vehicles. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The object of the study is typical driving cycles that are used to determine the performance indicators of motor vehicles.

The purpose of the work is the analysis of existing driving cycles for the assessment of operational characteristics, economy and environmental friendliness of motor vehicles, as well as the determination of promising methods for creating test cycles.

The article considers the main operating driving cycles for evaluating the operational characteristics, economy and environmental friendliness of motor vehicles. It is noted that one of the ways to determine the

environmental safety and fuel efficiency of cars is the use of driving cycles for cars and engine test cycles for trucks. Today in the world there are a large number of standards, directives, methods of control and research of vehicles regarding their fuel economy and environmental indicators. Most of the driving cycles used in the world belong to the following main groups: European, Japanese and US test cycles. The main disadvantage of typical driving cycles is the idealization of test conditions without taking into account all real operating factors. In addition, the modes of operation of motor vehicles on different continents and in different countries have significant differences, which makes it difficult to use unified driving test cycles.

The study of fuel efficiency and environmental indicators of cars using driving cycles is a rather time-consuming process, therefore, the creation of driving test cycles to simplify certain stages of research and the development of software tools, universal computer models will significantly facilitate the test procedure and ensure the accuracy of the results obtained.

KEYWORDS: TEST CYCLE, PERFORMANCE INDICATORS, FUEL CONSUMPTION, ENVIRONMENTAL SAFETY, MOTOR VEHICLE.

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.

Гонтар Юрій Валерійович, аспірант Національного Транспортного Університету, провідний інженер ДП «ДержавтотрансНДІпроект», yuragontar0511@gmail.com, тел: +380978703884, Україна, 03057, Київ, просп. Берестейський, 57, каб. 711, orcid.org/0009-0005-6261-5216.

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.

Hontar Yurii V., postgraduate of National Transport University, senior engineer in «DerzhavtotransNDIproekt», Kyiv, Ukraine, e-mail: yuragontar0511@gmail.com, tel. +380978703884, Ukraine, 03057, Kyiv, Beresteysky avenue, 57, of. 711, orcid.org/0009-0005-6261-5216.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Посвятенко Е.К., доктор технічних наук, професор, професор кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, Національний транспортний університет, Україна.

Поляков А.П., доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, Україна.

REVIEWER:

Posvyatenko Eduard K., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, professor of the Department of Manufacturing, Repair and Materials Engineering, Kyiv, Ukraine.

Polyakov Andriy P., Doctor of Technical Sciences, Professor, Vinnytsia National Technical University, professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia, Ukraine.

ОБЛІКОВО-АНАЛІТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЮ ВИТРАТ СУБ'ЄКТІВ ГОСПОДАРЮВАННЯ – ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА

Корольова О.І., кандидат економічних наук, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, korolyovaokiv@meta.ua, orcid.org/0000-0002-3871-0636

Карлова І.О., кандидат економічних наук, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, Irina_108@meta.ua, orcid.org/0000-0002-7943-1975

Бабич Л.М., кандидат економічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, babich_ludmila@ukr.net, orcid.org/0000-0003-1602-929X

ACCOUNTING AND ANALYTICAL PROVISION OF COST CONTROL OF BUSINESS ENTITIES – THEORY AND PRACTICE

Korolyova O.I., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, korolyovaokiv@meta.ua, orcid.org/0000-0002-3871-0636

Karlova I.O., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, Irina_108@meta.ua, orcid.org/0000-0002-7943-1975

Babich L.M., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, babich_ludmila@ukr.net, orcid.org/0000-0003-1602-929X

Постановка проблеми. Інтеграційні процеси «поглинають» все більший сектор вітчизняної економіки. Незважаючи на це, місце України у світовому розподілі праці все ще залишається невизначеним. У майбутньому Уряд [1] робить ставку на розвиток чотирьох пріоритетних галузей, які стануть «локомотивом» для відновлення української економіки:

- 1) military-tech (високотехнологічне озброєння);
- 2) металургія, гірничо-промисловість і машинобудування;
- 3) сільське господарство та харчова промисловість;
- 4) ІТ-галузь.

Як відомо, впровадження нових технологій вимагає якісно нового підходу до організації обліково-аналітичного забезпечення процесу управління. Проблема вдосконалення системи управління витратами, зокрема її стратегічної складової, є особливо актуальною для підприємств України, діяльність яких характеризується високим рівнем витратомісткості та значною частиною збиткових підприємств [2]. Тому, є всі підстави вважати, що назріла потреба в «ревізії» наявного інструментарію обліково-аналітичного забезпечення контролю витрат на предмет його відповідності вимогам сучасних реалій і потреб управління. Окремі аспекти зазначеної проблеми розглянемо у цій статті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню обліково-аналітичного забезпечення контролю витрат суб'єктів господарювання приділяється увага багатьох науковців. Різною мірою ця тема розглянута в працях Г.О. Партина [2], А.Г. Загороднього [2], С. В. Голова [7], Н.Ю. Єршової [3], П.О. Куцик [5], С.І. Головацької [5], І. М. Труніної [6], О. В. Онищенко [6], С.Ю. Кучеренко [8], Л.Ю. Леваєвої [8], Л. М. Васильєвої [9] та інших. Однак, все ще залишаються питання, які потребують подальших досліджень.

Виділення невирішених раніше проблем. Провідні фахівці, які займаються практичними аспектами організації обліково-аналітичного забезпечення контролю витрат суб'єктів господарювання акцентують увагу на окремих проблемах, зокрема: недосконалість нормативно-законодавчої бази обліку і контролю, відсутність науково обґрунтованих нормативів витрачання ресурсів, трудомісткість нормативного методу, недоцільності перерозподілу загальновиробничих витрат між собівартістю виробленої і реалізованої продукції звітного періоду та інші. Однак поза увагою залишається проблема відсутності стратегічного контролю ефективності використання виробничих ресурсів. Втім, така ситуація не відповідає вимогам ефективного управління господарською діяльністю в умовах конкурентного середовища.

Постановка завдання. Головною метою написання статті є аналіз наявного інструментарію обліково-аналітичного забезпечення стратегічного контролю витрат та розробка пропозицій щодо удосконалення показників ефективності використання виробничих ресурсів на вітчизняних підприємствах. В

якості бази дослідження обрано машинобудування, оскільки воно є найбільш складною галуззю, яка забезпечує модернізацію всієї економіки країни.

Виклад основного матеріалу. Обліково-аналітичне забезпечення – це інтегрована система, що включає бухгалтерський облік, аналіз, контроль діяльності підприємства в розрізі бізнес-процесів і центрів відповідальності з метою прийняття управлінських рішень щодо вдосконалення виробництва, зниження витрат і підвищення ефективності використання ресурсів для забезпечення довгострокового функціонування та розвитку підприємства. Тобто обліково-аналітичне забезпечення слід розглядати як інструмент для підвищення ефективності управління підприємством [3].

Машинобудування є досить складною й диференційованою галуззю промисловості. Загальним для підприємств всіх її галузей є: складність продукції, що складається із численних деталей і вузлів; послідовність їхньої обробки й зборки в численних цехах заводів і тривалість виробничого циклу. Для правильного розподілення витрат виробництва між номенклатурою виробів та вибору методу калькулювання собівартості продукції, що найбільш повно відповідає специфіці певного підприємства, потрібно чітко усвідомлювати і розуміти: як функціонують різні типи машинобудівних виробництв; які стадії виробничого та технологічного процесів проходить продукція в цехах; що є об'єктом машинобудівного виробництва.

У машинобудуванні розрізняють три основні типи виробництв: масове, серійне та одиничне. Належність виробництва до того чи іншого типу визначається ступінню спеціалізації робочих місць, номенклатурою об'єктів виробництва, формою руху цих об'єктів по робочим місцям [4 с.7].

Масове виробництво характеризується безперервним виготовленням обмеженої номенклатури виробів на вузькоспеціалізованих робочих місцях. Цей тип виробництва дозволяє механізувати та автоматизувати технологічний процес у цілому та організувати його більш економічно.

Серійне виробництво характеризується виготовленням обмеженої номенклатури виробів (деталі виготовляють партіями, а складальні одиниці – серіями), що повторюється через певні проміжки часу, і широкою спеціалізацією робочих місць. Розділення серійного виробництва на велико-, середньо- та дрібносерійне умовне, так як у різних галузях машинобудування при одній і тій же кількості виробів у серії, але при суттєвій різниці їх розмірів, складності та трудомісткості виробництва може бути віднесене до різних типів. За рівнем механізації та автоматизації багатосерійне виробництво наближається до масового, а дрібносерійне до одиничного.

Одиничне виробництво – відзначається виготовленням широкої номенклатури виробів в одиничних кількостях, що повторюється через невизначені проміжки часу, або взагалі не повторюється. Робочі місця при цьому не мають визначеної спеціалізації. Значний процент технологічних операцій виконують вручну.

Виробничий процес – підготовка засобів виробництва та обслуговування робочих місць; отримання та зберігання матеріалів і напівфабрикатів; усі стадії виготовлення деталей машин; транспортування матеріалів, напівфабрикатів, заготовок, деталей та готових виробів; розбирання складаних одиниць і виробів (у разі ремонтування); виготовлення тари; пакування виробів та інші дії, необхідні для їх виготовлення. Виробничий процес виконується в просторі та часі в тісному зв'язку об'єктів і засобів виробництва [4 с.9].

Класифікацію видів виробництва у машинобудуванні розглянемо на рис.1.

Лиття – це отримання заготовки з рідкого металу шляхом заповнення ним порожнини заданої форми з наступним твердненням. Оброблення тисненням – це формоутворення заготовки шляхом пластичного деформування чи відокремлення матеріалу без виходу стружки. Формування – це утворення заготовки з порошкового чи волокнистого матеріалу шляхом заповнення ним порожнини заданої форми з подальшим стискуванням. Гальванопластика – це формування заготовки з рідкого матеріалу шляхом випадання в осад металу з розчину під дією електричного струму. Оброблення різанням – це отримання заготовки шляхом відокремлення поверхневих шарів матеріалу з утворенням стружки. Термічне та хіміко-термічне оброблення полягає в зміні структури та властивостей матеріалу заготовки під дією теплових чи теплових і дифузійних впливів одночасно. Електрофізичне оброблення – це зміна форми та розмірів заготовки внаслідок дії електричних розрядів, магнітострикційного ефекту, плазмового променя, електронного та оптичного випромінювання. Покривання – це утворення на заготовці поверхневого шару зі заданого чужорідного матеріалу [4 с.15].

Частина виробничого процесу, під час якого змінюють і визначають новий стан предмета виробництва, має назву технологічного процесу. Розрізняють технологічні процеси лиття, кування, штампування, пресування, зварювання, склеювання, термічного, хімічного та механічного оброблення заготовок, складання та ремонту виробів. У технологічних процесах виготовлення

заготовок матеріал перетворюється у заготовки шляхом лиття, внаслідок оброблення тисненням, різанням та іншими способами. У процесі термічного оброблення відбуваються структурні перетворення, що змінюють властивості матеріалу заготовки. Технологічний процес складання передбачає створення різних і нерознімних з'єднань складових частин виробів (деталей) у більш складному виробі (вузлі, машині). Вид технологічного процесу визначається кількістю виробів, на які він поширюється, та складом технологічної документації. Класифікацію видів технологічних процесів наведено на рис 2.

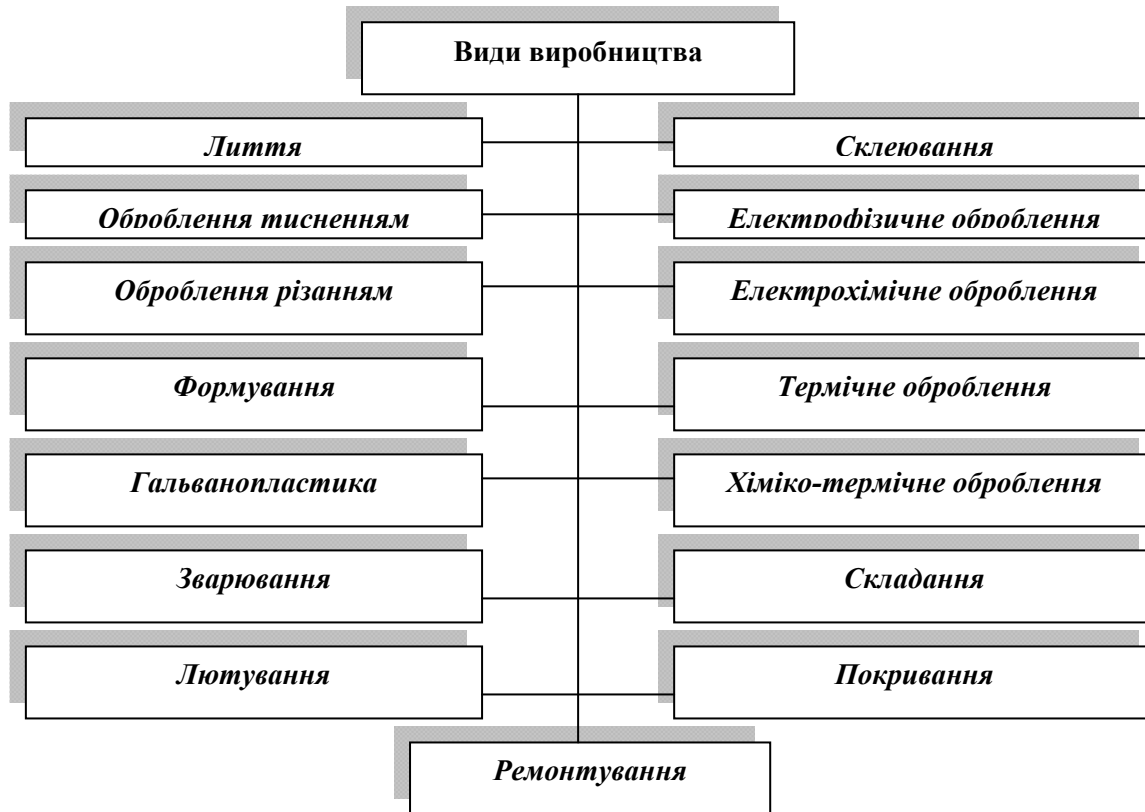


Рисунок 1 – Класифікація видів виробництва у машинобудуванні [4]
Figure 1 – Classification of types of production in mechanical engineering [4]



Рисунок 2 – Класифікація видів технологічних процесів [4]
Figure 2 – Classification of types of technological processes [4]

Об'єктом машинобудівного виробництва є виріб. Виробом називається продукт кінцевої стадії виробництва. Ним може бути будь-який предмет або набір предметів виробництва, які підлягають виготовленню або виготовлені на підприємстві, наприклад, зібрана машина або складова частина машини, приладу чи обладнання, що є на даному підприємстві продуктом кінцевої праці. Так, для

тракторного заводу виробом є трактор, для карбюраторного – карбюратор, для автоматичного заводу поршнів – поршень. Залежно від призначення розрізняють вироби основного і допоміжного виробництва.

До виробів основного виробництва належать ті, що призначені для постачання (реалізації), допоміжного виробництва – ті, які виготовляються тільки для власних потреб підприємства. Вироби, призначені для постачання і водночас для власних потреб, належать до виробів основного виробництва.

Вироби основного виробництва поділяються на такі категорії: виготовлені в основному виробництві, отримані в готовому вигляді по кооперації, куповані. ГОСТ 2.101-68 встановлює такі види виробів: деталі, складальні одиниці, комплекси та комплекти (рис.3).

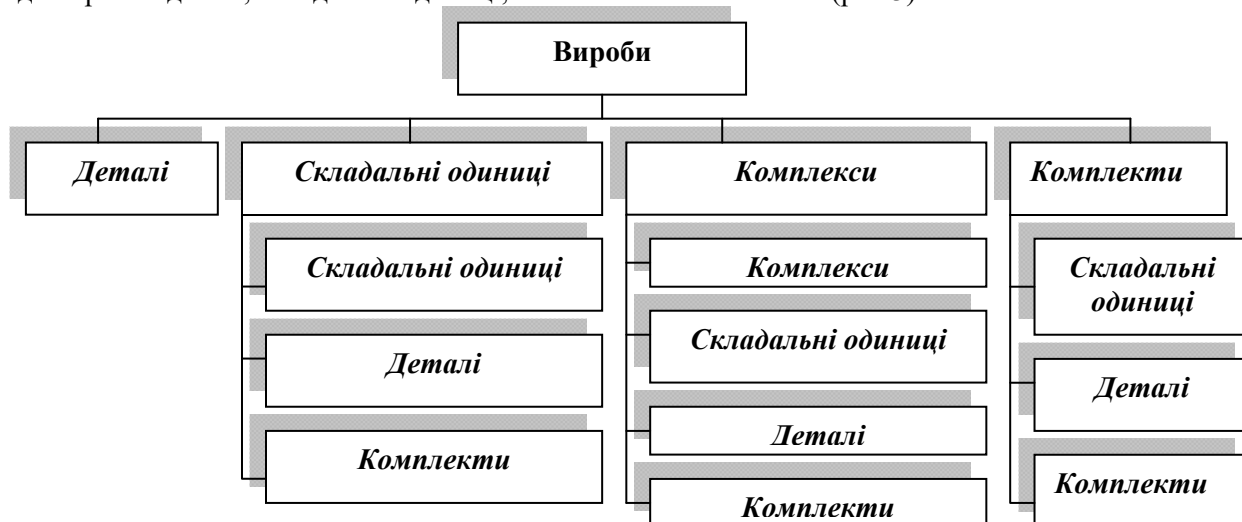


Рисунок 3 – Види виробів та їхня структура [4]
Figure 3 – Types of products and their structure [4]

Організація виробничого обліку передбачає певне групування витрат підприємства. Виробничі витрати слід, по-перше, акумулювати по місцях їх виникнення, по-друге, відносити на конкретну продукцію. При цьому даються різні визначення об'єктів обліку витрат:

1. Під об'єктами обліку виробничих витрат розуміється групування витрат виробництва у поточному обліку, що дає можливість визначити собівартість продукції за її видами, процесами, способами та місцями виробництва;
2. Об'єктами обліку виробничих витрат є вироби, їх окремі частини-вузли, деталі, групи однорідних виробів, виробництва, процеси, фази, стадії, переділи технологічних процесів, окремі операції, замовлення, види діяльності.

Нерідко носії витрат – види продукції (робіт, послуг) ототожнюють з об'єктами калькулювання. При цьому об'єктами калькулювання собівартості є різного ступеню готовності окремі види й одиниці продукції (робіт, послуг) основного і допоміжного підрозділів, технологічних фаз, стадій, переділів виробництва. Об'єкти калькулювання собівартості продукції взаємопов'язані з об'єктами обліку витрат виробництва і можуть збігатися. Однак на практиці у багатьох випадках об'єкти обліку витрат і об'єкти калькулювання не збігаються, що потребує чіткого їх розуміння і відповідного розмежування. Об'єкти обліку витрат і об'єкти калькулювання мають різне призначення та зміст. Якщо під об'єктами обліку витрат розуміють сукупність витрат, то під об'єктами калькулювання – певний вид продукції.

На вибір об'єктів обліку витрат істотно впливають: організація виробництва; технологічні особливості; рівень спеціалізації підрозділів; структура управління підприємством; технічні параметри продукції, що виробляється; система контролю за витратами; ступінь освоєння внутрішньогосподарського розрахунку. Тому номенклатуру об'єктів обліку витрат кожне підприємство розробляє самостійно.

Діючі системи обліку виробничих витрат можна класифікувати за такими ознаками: об'єктами групування (позамовне, попередільне і попроцесне), за повнотою включення загальновиробничих витрат (метод обліку змінних витрат, метод обліку повних витрат), ступенем нормування (фактичні і нормативні витрати), повнотою охоплення процесами (напівфабрикатний і безнапівфабрикатний), кількістю продукції (одно- і багатопродуктовий), місцями виникнення (часткова участь у випуску продукції, виконанні робіт і послуг, попереднє узагальнення витрат та їх подальший розділ за

носіями), способом розподілу непрямих витрат (одно- і багато коефіцієнтний), видом організації (місця виникнення витрат і центри відповідальності), часом складання (плановий і звітний).

В зв'язку з тим, що між об'єктами обліку виробничих витрат і об'єктами калькулювання собівартості одиниці продукції є відмінності, виробничий облік витрат здійснюється в два етапи: облік виробничих витрат та їх розподіл між об'єктами виробничих витрат, аналітичний облік цих витрат і визначення собівартості всієї виробленої продукції; калькулювання собівартості одиниці продукції.

Облік виробничих витрат повинен забезпечити групування витрат за: видами діяльності; видами виробництва (основне, допоміжне); підрозділами (цехами, виробництвами, дільницями); виробами, видами продукції, що виробляється; статтями калькуляції; економічними елементами витрат. Етапи зведеного обліку витрат на виробництво продукції наведено на рис.4.

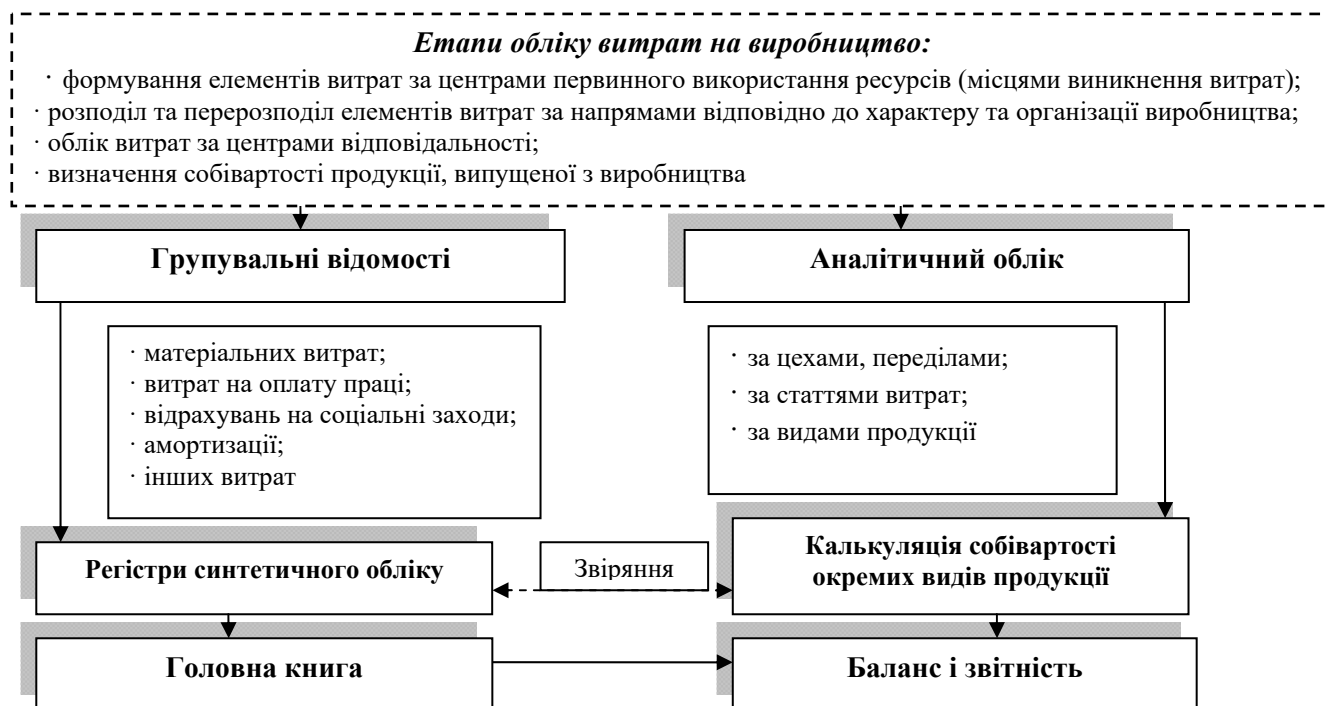


Рисунок 4 – Організація зведеного обліку витрат і калькулювання собівартості продукції
Figure 4 – Organization of summary accounting of expenses and calculation of production costs

Суттєвим недоліком вітчизняної системи обліку є те, що вона не забезпечує достатньої й оперативної інформації для ефективного управління підприємством. Відсутність інформації про доцільність витрат, їх склад та динаміку, наявні резерви підприємства є серйозною перешкодою для раціонального використання ресурсів, підвищення організаційно-технічного рівня виробництва, забезпечення конкурентоспроможності продукції на ринку [5].

В П(С)БО 1 зазначено, що метою складання фінансової звітності є надання користувачам для прийняття рішень повної, правдивої та неупередженої інформації про фінансовий стан, результати діяльності та рух коштів підприємства. Взаємозв'язок між рахунками обліку витрат і фінансовою звітністю наведено у табл. 1.

Фінансова звітність повинна задовольняти потреби тих користувачів, які не можуть вимагати звітів, складених з урахуванням їх конкретних інформаційних потреб. Основною ґрунтовною вимогою до стратегічного управління затратами є забезпечення якісної інформаційно-аналітичної підтримки, яка має сприяти розробці та впровадженню управлінських рішень [6].

На нашу думку, в умовах нестабільної економіки з неврегульованою ціновою політикою і відсутністю науково обґрунтованих норм витрат, використання тільки вартісного показника в якості універсального індикатора для проведення порівняльного аналізу роботи різних підприємств, є мало ефективним і сумнівним.

Принцип превалювання сутності над формою полягає в тому, що бухгалтерський облік не є засобом фіксації формальних даних. Головне – правдиво відображувати господарську діяльність та надавати користувачам реальну картину фінансового стану підприємства. Проте більша частина інформації, що стосується витрат виробництва, є конфіденційною і не знаходить відображення в

показниках фінансової звітності. Неможливо визначити з показників фінансової звітності працемісткість, матеріаломісткість та фондомісткість реалізованої продукції. А саме вони і є індикаторами виробничого потенціалу підприємства та свідченням його конкурентоспроможності.

Таблиця 1 – Відображення інформації про витрати виробництва в фінансовій звітності
Table 1 – Display of information about production costs in financial statements

№ п/п	Фінансовий звіт	Код рядка	Рахунок бух.обліку	Примітки
1	Баланс (ф-1)			
	Запаси	1100	23	Сальдо 23 рахунку на кінець звітного періоду
	- Незавершене виробництво			
	- Готова продукція		26	Сальдо 26 рахунку на кінець звітного періоду
2	Звіт про фінансові результати (ф-2)			
	- Собівартість реалізованої продукції (товарів, робіт, послуг)	2050	23,26,90	У разі застосування тільки рахунків класу 8: кредитовий оборот 23 –реалізовано послуги, кредитовий оборот 26-реалізовано готову продукцію, кредитовий оборот 28 – реалізовано товари, або дебетовий оборот 90 рахунку за звітний період
	- Матеріальні затрати	2500	20, 22,80	Кредитовий оборот 20 та 22 рахунків за звітний період в дебет 23 та 91 рахунків, або дебетовий оборот 80 рахунку за звітний період
	- Витрати на оплату праці	2505	66,81	Кредитовий оборот 66 рахунку за звітний період, або дебетовий оборот 81 рахунку за звітний період
	- Відрахування на соціальні заходи	2510	65,82	Кредитовий оборот 65 рахунку за звітний період, або дебетовий оборот 82 рахунку за звітний період
	- Амортизація	2515	13,83	Кредитовий оборот 13 рахунку, або дебетовий оборот 83 рахунку за звітний період
	- Інші операційні витрати	2520	84	Всі інші витрати операційної діяльності, які не відображені в попередніх рядках

З цього слідує, що фінансова звітність в її сучасному вигляді не виконує покладених на неї функцій в повній мірі. Підвищення інформативності фінансової звітності – це одна із багатьох проблем, яку потрібно вирішувати на сучасному етапі розвитку теорії бухгалтерського обліку.

В умовах посилення конкурентної боротьби зростає потреба в нових системах оцінки ефективності, що потребує перегляду ставлення до фінансових показників діяльності.

Як показує дослідження літературних джерел, зазначені проблеми притаманні не лише машинобудуванню чи будь якій іншій галузі, вони мають універсальний характер.

Прихильник теорії багатоцільового бухгалтерського обліку С.Голов пропонує новий підхід до складання фінансової звітності – принцип збалансованості грошових і не грошових вимірників передбачає, що для відображення предмета бухгалтерського обліку на різних рівнях управління і в різних формах звітності слід застосовувати комплекс різноманітних вимірників, які дають змогу сформувати актуальну інформаційну сукупність [7].

Таким чином, на сучасному етапі розвитку теорії бухгалтерського обліку виникла потреба в нових формах подання економічної інформації, що адекватно відображала б події господарювання, пов'язані не тільки з кількісними та вартісними параметрами виробництва, а і з якісною стороною господарського процесу, обумовленою існуванням певного ринкового середовища, розвитком НТП та появою нових видів активів, що не можуть бути чіткого виміряні грошовим показником.

Всі фактори, що впливають на конкурентоспроможність підприємств, доцільно поділити на зовнішні та внутрішні. Під внутрішніми факторами маються на увазі об'єктивні критерії, які визначають можливості підприємства із забезпечення власної конкурентоспроможності. До них належить і виробничо-технологічний потенціал [8].

Для того, щоб показники ефективності виробництва несли дійсно корисну та неупереджену інформацію, розраховувати їх потрібно орієнтуючись не тільки на внутрішні нормативи витрачання

ресурсів, а й на галузеві технологічні нормативи та єдиний еталон по галузі. Для цілей стратегічного управління витратами пріоритетне значення має інформація, яка надходить із зовнішніх джерел і характеризує стан факторів, які знаходяться за межами підприємства, надаючи при цьому прямий або опосередкований вплив на його діяльність в цілому і на витрати зокрема [9]. Це вимагає створення галузевих нормативних баз та єдиної еталонної бази показників по галузі. Зрозуміло, що в умовах машинобудування, коли асортимент продукції постійно оновлюється і змінюється, а технологічні процеси в деяких виробництвах є унікальними, досягти повної відповідності умовам конкретного виробництва та передбачити всі можливі нюанси виробничого процесу майже неможливо. Тому потрібно, абстрагуючись від зайвої деталізації технологічного процесу, взяти за основу створення єдиної еталонної бази показників дані підприємств-лідерів в галузі. Це можуть бути показники світових лідерів з виробництва аналогічної продукції, а можуть бути і вітчизняних підприємств-лідерів. Подібна база дасть уявлення про реальну картину ефективності виробничого процесу на певному підприємстві та вкаже на можливі напрями пошуку резервів його розвитку та економії витрат. Оскільки умови господарювання та рівень впровадження досягнень НТП в різних країнах значно відрізняються, потрібно розуміти, що зазначені показники є досить умовними. Їх призначення – приведення інформації до вигляду, в якому її можна порівнювати та аналізувати.

Пропонуємо, для оцінки ефективності виробничої діяльності машинобудівних підприємств, впровадити в практику внутрішнього контролю показники наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Показники ефективності виробничої діяльності підприємств
Table 2 – Indicators of the efficiency of production activity of enterprises

Назва	Формула розрахунку	Характеристика показника
Коефіцієнт наднормативних витрат	$K_{HHB} = \frac{B_{\phi}}{B_{BH}};$ Де: B_{ϕ} – фактичні витрати за плановими цінами; B_{BH} – нормативні витрати за плановими цінами та за внутрішніми нормативами	Цей показник дає уявлення стосовно ефективності внутрішнього нормування на підприємстві та показує економію або перевитрати ресурсів
Коефіцієнт еталонних витрат	$K_{EB} = \frac{B_{\phi}}{B_{EH}};$ Де: B_{ϕ} – фактичні витрати на виготовлення 1-ці продукції за плановими цінами B_{EH} – нормативні витрати на виготовлення 1-ці продукції за плановими цінами та за галузевими нормативами	Цей показник дозволяє визначити наскільки конкурентоспроможне підприємство на внутрішньому ринку

Висновки. Україна інтегрується у світове співтовариство як рівноправний партнер. Цей процес висуває нові вимоги до інформаційного забезпечення процесів управління на різних рівнях менеджменту. Особливу увагу слід приділити розробці інструментарію оцінки конкурентоспроможності суб'єктів господарювання. Подолання негативних тенденцій екстенсивного розвитку вітчизняної економіки постає актуальною проблемою сьогодення. В цьому контексті якісне обліково-аналітичне забезпечення управління господарською діяльністю є важливим елементом відродження виробничого потенціалу. Як показало дослідження, роль контролю на підприємствах машинобудування не обмежується суто аналітичними функціями (оцінкою рівня витрат, виявленням невикористаних резервів ефективного використання матеріальних, трудових і фінансових ресурсів, раціональне управління ними). Не менш важливою ніж зазначені є його стратегічна функція. Контроль є інструментом аналізу конкурентоспроможності вітчизняних суб'єктів господарювання. У зв'язку з цим, його потрібно орієнтувати не тільки на внутрішнє споживання ресурсів, але і розглядати його як засіб оцінки господарської діяльності з погляду застосованої підприємством технології виробництва. Контролювати ефективність доцільно через співставлення показників суб'єкта господарювання з еталонними значеннями по галузі, що дозволить отримувати неупереджену і достовірну інформацію про ефективність виробничого процесу і конкурентоспроможність суб'єкта господарювання.

Для підвищення якості інформаційного забезпечення управління господарською діяльністю пропонуємо впровадити в практику внутрішнього контролю витрат показники: коефіцієнт наднормативних витрат і коефіцієнт еталонних витрат. Впровадження зазначених показників дасть можливість контролювати конкурентоспроможність підприємства і оцінювати ефективність виробничого процесу з погляду наближення до еталону, тобто до показників кращих виробників в галузі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Урядовий портал [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/news/uriad-robyt-stavku-na-rozvytok-chotyrok-priorytetnykh-haluzei-iaki-stanut-lokomotyvom-dlia-vidnovlennia-ukrainskoi-ekonomiky-iuliia-svrydenko>
2. Партин Г.О., Загородній А.Г. Стратегічне управління витратами підприємства та його інформаційне забезпечення Розвиток обліково-аналітичного забезпечення системи менеджменту підприємств : колективна монографія – Львів: Растр-7, 2019. – С. 207-219.
3. Єршова Н. Ю. Удосконалення обліково-аналітичного забезпечення управління основними засобами підприємств: стратегічний аспект [Електронний ресурс]/ Економіка і суспільство : електрон. наук. фахове вид. – 2018. – Вип. 14. – С. 894-904. – Режим доступу: http://economyandsociety.in.ua/journal/14_ukr/128.pdf.
4. Боженко Л.І. Технологія машинобудування – Львів: Світоч, 1996. – 414 с.
5. Куцик П.О., Головацька С.І. Обліковий інструментарій стратегічного управління витратами підприємства. Розвиток обліково-аналітичного забезпечення системи менеджменту підприємств : колективна монографія – Львів: Растр-7, 2019. – С.168 – 189.
6. Труніна І. М., Онищенко О. В. Методичні підходи до управління затратами промислових підприємств [Електронний ресурс]/ електронне наукове фахове видання з економічних наук «Modern Economics» – 2018 . – Вип. 7. – С. 182-191. – Режим доступу: <https://modecon.mnau.edu.ua/issue/7-2018/UKR/trunina.pdf>
7. Голов С.Ф. Теорія багатоцільового бухгалтерського обліку // Бухгалтерський облік і аудит. – К., 2011. – №4 – С.3-13.
8. Кучеренко С.Ю., Леваєва Л.Ю. Вплив факторів конкурентоспроможності підприємств а період розвитку цифрової економіки. Бухгалтерський облік, контроль та аналіз в умовах інституціональних змін: матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції – Полтава : ПДАУ, 2021. – С.62-65 .
9. Васильєва Л. М., Інформаційне забезпечення аналітичних процедур в стратегічному управління витратами підприємства. Бухгалтерський облік, контроль та аналіз в умовах інституціональних змін: матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції – Полтава : ПДАУ, 2021. – С. 151-155

REFERENCES

1. Government portal [Electronic resource] / <https://www.kmu.gov.ua/news/uriad-robyt-stavku-na-rozvytok-chotyrok-priorytetnykh-haluzei-iaki-stanut-lokomotyvom-dlia-vidnovlennia-ukrainskoi-ekonomiky-iuliia-svrydenko>
2. G.O. Partyn, A.H. Zagorodnii. Strategic cost management of the enterprise and its information support Development of accounting and analytical support of the enterprise management system: collective monograph – Lviv: Rastr-7, 2019. – P. 207-219.
3. Yershova N.Yu. Improvement of accounting and analytical support for the management of fixed assets of enterprises: strategic aspect [Electronic resource] / N.Yu. Yershova // Economy and society: electronic. of science professional type – 2018. – Issue 14. – pp. 894-904. – Access mode: http://economyandsociety.in.ua/journal/14_ukr/128.pdf.
4. Bozhenko L.I. Engineering technology – Lviv: Svitoch, 1996. – 414 p.
5. Kutsik P.O., Holovatska S.I. Accounting tools for strategic enterprise cost management. Development of accounting and analytical support of the enterprise management system: collective monograph – Lviv: Rastr-7, 2019. – P.168 – 189.
6. Trunina I. M., Onyshchenko O. V. Methodical approaches to cost management of industrial enterprises [Electronic resource]/ electronic scientific publication on economic sciences "Modern Economics" – 2018. – Issue 7. – P. 182-191. – Access mode: <https://modecon.mnau.edu.ua/issue/7-2018/UKR/trunina.pdf>
7. Golov S.F. Theory of multi-purpose accounting // Accounting and auditing. – K., 2011. – No. 4 – P.3-13.

8. Kucherenko S.Yu., Levaeva L.Yu. The impact of factors on the competitiveness of enterprises and the period of development of the digital economy. Accounting, control and analysis in conditions of institutional changes: materials of the IV All-Ukrainian Scientific and Practical Conference – Poltava: PDAU, 2021. – P.62-65.

9. Vasilieva L.M., Information support of analytical procedures in the strategic management of enterprise costs. Accounting, control and analysis in conditions of institutional changes: materials of the IV All-Ukrainian Scientific and Practical Conference – Poltava: PDAU, 2021. – P. 151-155

РЕФЕРАТ

Корольова О.І. Обліково-аналітичне забезпечення контролю витрат суб'єктів господарювання – теорія і практика / О.І. Корольова, І.О. Карлова, Л.М. Бабич // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

Стаття присвячена обґрунтуванню науково-теоретичних та обліково-аналітичних засад контролю витрат суб'єктів господарювання в сучасних умовах.

Об'єкт дослідження – обліково-аналітичне забезпечення контролю витрат в сучасних умовах господарювання.

Мета роботи – метою написання даної статті є аналіз наявного інструментарію обліково-аналітичного забезпечення стратегічного контролю витрат та розробка пропозицій щодо удосконалення показників ефективності використання виробничих ресурсів на вітчизняних підприємствах.

Метод дослідження – теоретичне і нормативно-правове обґрунтування процесів пов'язаних з обліково-аналітичним забезпеченням контролю витрат суб'єктів господарювання.

Процес інтеграції країни у світове співтовариство висуває нові вимоги до інформаційного забезпечення процесів управління на різних рівнях менеджменту. Особливої уваги потребує оцінка конкурентоспроможності суб'єктів господарювання. В цьому контексті якісне обліково-аналітичне забезпечення управління господарською діяльністю є важливим елементом відродження виробничого потенціалу. Дослідження показало, що роль контролю на підприємствах машинобудування не обмежується суто внутрішніми економічними функціями. Він є інструментом аналізу конкурентоспроможності та оцінки ефективності господарської діяльності з погляду застосованої технології виробництва.

На сучасному етапі розвитку теорії бухгалтерського обліку виникла потреба в нових формах подання економічної інформації, що адекватно відображала б події господарювання, пов'язані не стільки з кількісними та вартісними параметрами виробництва, а і з якісною стороною господарського процесу, обумовленою існуванням певного ринкового середовища, розвитком НТП та появою нових видів активів, що не можуть бути чіткого виміряні грошовим показником.

Контролювати ефективність доцільно через співставлення показників суб'єкта господарювання з еталонними значеннями по галузі, що дозволить отримувати неупереджену і достовірну інформацію про ефективність виробничого процесу і конкурентоспроможність суб'єкта господарювання. Для підвищення якості інформаційного забезпечення управління господарською діяльністю запропоновано впровадити в практику внутрішнього контролю показники: коефіцієнт наднормативних витрат і коефіцієнт еталонних витрат. Впровадження зазначених показників дозволить контролювати конкурентоспроможність підприємства і оцінювати ефективність виробничого процесу з погляду наближення до показників кращих виробників в галузі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВИТРАТИ, МАШИНОБУДУВАННЯ, ВИРОБНИЦТВО, СУБ'ЄКТИ ГОСПОДАРЮВАННЯ, ОБЛІК, КОНТРОЛЬ, ЗАГАЛЬНА ТЕОРІЯ ОБЛІКУ, ФІНАНСОВА ЗВІТНІСТЬ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕТАЛОННІ ПОКАЗНИКИ.

ABSTRACT

Korolyova O.I., Karlova I.A., Babich L.M. Accounting and analytical provision of cost control of business entities – theory and practice. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The article is devoted to the substantiation of the scientific-theoretical and accounting-analytical principles of cost control of business entities in modern conditions.

The object of the research is accounting and analytical provision of cost control in modern economic conditions.

The purpose of the work – the purpose of writing this article is to analyze the available tools for accounting and analytical support for strategic cost control and to develop proposals for improving indicators of the efficiency of the use of production resources at domestic enterprises.

The research method is a theoretical and legal justification of the processes related to the accounting and analytical provision of cost control of economic entities.

The process of integration of the country into the world community puts forward new requirements for information support of management processes at different levels of management. The assessment of the competitiveness of economic entities requires special attention. In this context, high-quality accounting and analytical support for the management of economic activity is an important element of the revival of production potential. The study showed that the role of control at machine-building enterprises is not limited to purely internal economic functions. It is a tool for analyzing competitiveness and evaluating the efficiency of economic activity from the point of view of the applied production technology.

At the current stage of the development of accounting theory, there is a need for new forms of presentation of economic information that would adequately reflect economic events related not so much to the quantitative and cost parameters of production, but also to the qualitative side of the economic process, due to the existence of a certain market environment, development NTP and the emergence of new types of assets that cannot be clearly measured by a monetary indicator.

It is expedient to control the efficiency by comparing the indicators of the economic entity with reference values in the industry, which will allow to receive unbiased and reliable information about the efficiency of the production process and the competitiveness of the economic entity. In order to improve the quality of information support for the management of economic activity, it is proposed to introduce the following indicators into the practice of internal control: the ratio of above-standard costs and the ratio of reference costs. The implementation of these indicators will allow to control the competitiveness of the enterprise and evaluate the efficiency of the production process from the point of view of approaching the indicators of the best manufacturers in the industry.

KEY WORDS: COSTS, ENGINEERING, PRODUCTION, ENTITIES OF MANAGEMENT, ACCOUNTING, CONTROL, GENERAL THEORY OF ACCOUNTING, FINANCIAL STATEMENTS, EFFICIENCY, BENCHMARK INDICATORS.

АВТОРИ:

Корольова Оксана Іванівна, Національний транспортний університет, доцент кафедри фінансів, обліку і аудиту, e-mail: korolyovaokiv@meta.ua, orcid.org/orcid id/0000-0002-3871-0636

Карлова Ірина Олександрівна, Національний транспортний університет, доцент кафедри фінансів, обліку і аудиту, e-mail: Irina_108@meta.ua, тел. +380985344242, Україна, 02090, м. Київ, вул. Пращька, 3, кв.195. orcid id/0000-0002-7943-1975

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

AUTHORS:

Korolyova Oksana I., National Transport University, Associate Professor of the Department of Finance, Accounting and Audit, e-mail: korolyovaokiv@meta.ua, orcid.org/orcid id/0000-0002-3871-0636

Karlova Irina A., National Transport University, Associate Professor of the Department of Finance, Accounting and Audit, e-mail: Irina_108@meta.ua, orcid id/0000-0002-7943-1975

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

РЕЦЕНЗЕНТИ:

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

Парасій-Вергуненко І.М., доктор економічних наук, Державний торгово-економічний університет, професор кафедри "Фінансового аналізу та аудиту", Київ, Україна

REVIEWER:

Bazyliuk A.V., Ph.D., Economics (Dr.), professor, National Transport University, professor, department of finances, account and audit, Kyiv, Ukraine.

Parasii-Verhunencko I.M., Ph.D., Economics (Dr.), State University of Trade and Economics, Professor of the Department of "Financial Analysis and Audit", Kyiv, Ukraine.

АЛЬТЕРНАТИВНІ ПАЛИВА З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В АВТОМОБІЛЬНИХ ДИЗЕЛЯХ

Корпач А.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, akorpach@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7070-7883

Левківський О.О., кандидат технічних наук, Товариство з обмеженою відповідальністю «Віннер ЛТД», Київ, Україна, oleksandr.levkivskyi@gmail.com, orcid.org/0000-0002-2951-2312

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

ALTERNATIVE FUELS FROM RENEWABLE RESOURCES FOR AUTOMOTIVE DIESEL ENGINES

Korpach A.O., Ph.D., National Transport university, Kyiv, Ukraine, akorpach@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7070-7883

Levkivskyi O.O., Ph.D., Limited Liability Company «Winner LTD», Kyiv, Ukraine, oleksandr.levkivskyi@gmail.com, orcid.org/0000-0002-2951-2312

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

Постановка проблеми. За даними ОПЕК щорічне споживання палив з видобувних ресурсів автомобільним транспортом продовжує зростати. При цьому актуальний попит на дизельне паливо перевищує потребу в інших видах палива для автомобільних двигунів [1]. Враховуючи, що автомобільний транспорт є одним із основних джерел забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами та парниковими газами, питання заміни палив з видобувних ресурсів альтернативними із відновлювальної сировини продовжує бути актуальним.

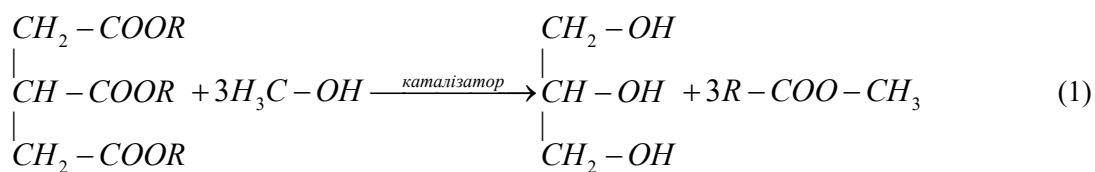
На сьогоднішній день розроблено та впроваджено в промислових масштабах ряд технологічних процесів, які дозволяють отримати альтернативні дизельні палива з широкого переліку відновлювальних ресурсів. Згідно ряду досліджень та досвіду практичного застосування найбільш придатною сировиною для виробництва альтернативних палив вважаються біоресурси рослинного походження [2]. Використання рослинної сировини для виробництва альтернативних палив, з одного боку, дозволяє щорічно отримати прогнозований об'єм палива для зниження обсягів споживання мінеральних ресурсів, з іншого боку, зменшити емісію парникових газів (основну частину яких складають діоксиди вуглецю) в атмосферу. Зниження викидів парникових газів при використанні палив з відновлювальних ресурсів рослинного походження досягається за рахунок того, що частина викидів парникових газів, що виділяються в процесі виробництва та використання біопалива в подальшому буде поглинута рослинами під час наступного циклу вирощування сировини [3].

Мета роботи проаналізувати ефективність виробництва та можливості застосування в сучасних автомобільних дизелях альтернативних палив, які можливо отримати з відновлювальних ресурсів рослинного походження.

Виклад основного матеріалу. На сьогоднішній день найбільш поширеним альтернативним паливом, що використовується в автомобільних дизелях, є біодизельне паливо. Для виробництва біодизельного палива використовуються олії, які отримують з різних рослин. Рационально використовувати рослини, що дозволяють отримати найбільший об'єм готового палива з одиниці сировини, наприклад: соняшник, ріпак і соя (таблиця 1).

Технологію виробництва біодизельного палива побудовано на основі процесу трансестерифікації тригліцеридів, що входять до складу рослинних олій. Трансестерифікація це хімічний процес, який відбувається між рослинними оліями та одновалентними спиртами в присутності каталізаторів (1). Під час реакції трансестерифікації тригліцериди взаємодіють зі спиртами утворюючи складні ефіри, гліцерин, інші побічні продукти та залишки вихідної сировини, що не були використані під час реакції. Для протікання реакції використовують суміші рослинної олії зі спиртом у співвідношенні 9 до 1 та каталізатор у кількості 1% від маси рослинної олії. У зв'язку з оборотністю реакції транс естерифікації, як правило, підвищують концентрацію спирту, надлишки

якого вимиваються водою після завершення реакції. Реакція протікає при температурі 60...80 °C і атмосферному тиску [4].



Для виробництва біодизельного палива можливо використовувати будь-які одноатомні спирти та їх ізомери [5]. В таблиці 2 наведено основні фізико-хімічні властивості спиртів, що можуть використовуватись для виробництва біодизельного палива. Зі збільшенням молекулярної маси спирту ускладняється технологія виробництва, що обумовлено погіршенням розділення фракцій біодизельного палива та необхідністю використання більшого об'єму спирту. Таки чином, оптимально виробляти біодизельне паливо, використовуючи метиловий або етиловий спирт, тому на сучасному ринку альтернативних палив найбільшого поширення отримали метилові ефіри жирних кислот FAME (Fatty acid methyl esters) та етилові ефіри жирних кислот FAEE (Fatty acid ethyl esters).

Таблиця 1 – Середній вміст олії та кількість біодизельного палива, яке можливо отримати з різної сировини [4]

Table 1 – The average amount of oil and the volume of biodiesel fuel, which possible to have from different sources [4]

Сировина	Вміст олії, %	Середній вміст олії в тонні сировини, кг	Середня кількість біодизельного палива з тони сировини, кг
Соняшник	29...57	400	350
Ріпак	36...40	370	340
Соя	13...25	180	170

Перевагами етилового ефіру вважається – менша токсичність в процесі виробництва, а також менша агресивність до деталей двигуна в процесі експлуатації. Метилові ефіри, за рахунок більш низької молекулярної маси, мають нижчу в'язкість, кращу паливну економічність та більш простий процес виробництва, в порівнянні з етиловими ефірами, що, наряду з непродуктивним значенням метилового спирту, сприяє більш широкому використанню в порівнянні з етиловим.

Для ефективного та швидкого протікання реакції трансестерифікації використовують кислотні або лужні каталізатори. Кислотні каталізатори (сірчана кислота, соляна кислота, та інші), у зв'язку з високою вартістю, не набули широкого розповсюдження і переважно використовуються лише в реакціях з оліями, які мають значний вміст жирних кислот і можуть нейтралізувати дію лужних каталізаторів. Лужні каталізатори (гідрооксид калію, гідрооксид натрію та інші) широко використовуються в процесі виробництва біодизельного палива. Ефективність реакції естерифікації при використанні різних лужних каталізаторів майже ідентична. На сьогоднішній день, переважно використовується гідрооксиди калію або натрію.

До основних переваг біодизельного палива можна віднести: просту технологію виробництва, високе цетанове число, добрі змащувальні властивості, відсутність сірки і ароматичних вуглеводнів. Основні недоліки: більш висока густина та кінематична в'язкість в порівнянні з мінеральним паливом, схильність до окислення при тривалому зберіганні, низька температура застигання, висока хімічна та корозійна активність через вміст залишків спирту в кінцевому продукті [6].

Таблиця 2 – Фізико-хімічні властивості одноатомних спиртів [5]

Table 2 – Physicochemical properties of monoatomic alcohols [5]

Спирт	Хімічна формула	Молекулярна маса, г/моль	Густина (t=20°C), г/см ³	Співвідношення (3 моля спирту до 1 моля тригліцериду)
Метанол	CH ₃ OH	32	0,792	11
Етанол	C ₂ H ₅ OH	46	0,789	15
Пропанол	C ₃ H ₇ OH	60	0,838	20
Бутанол	C ₄ H ₉ OH	74	0,801	25
Пентанол	C ₅ H ₁₁ OH	88	0,814	30

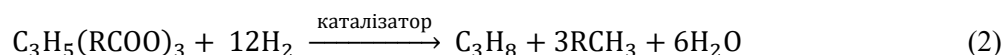
Для покращення низькотемпературних властивостей ефірів використовують депресорні присадки (додавання 0,25% депресорної присадки OFI-1010 виробництва Innospec (Німеччина) до ефірів з температурою застигання -17°C , знижують її до температури $-33\ldots-35^{\circ}\text{C}$) або використання суміші біодизельного палива з мінеральними паливами середнього та легкого фракційного складу (суміш дизельного та біодизельного палив у співвідношенні 50:50 дозволяє знизити граничну температури фільтрування палива до -20°C) [7].

На сьогоднішній день згідно технічної документації автовиробників, а також державних стандартів якості дизельного палива допускають використання біодизельного палива у суміші з мінеральним паливом [6]. Досвід застосування біодизельного палива в двигунах різного типу свідчить про зниження викидів продуктів неповного згоряння і сажі з відпрацьованими газами, при цьому спостерігається збільшення викидів оксидів азоту, яке можливо знизити за рахунок коригування кута випередження впорскування. Наявність кисню у молекулі біодизельного палива викликає зростання масової витрати палива, в порівнянні з паливом мінерального походження [8].

Іншою групою альтернативних дизельних палив, що виробляють з відновлювальної сировини рослинного походження є очищені рослинні олії. На сьогоднішній день існує ряд технологічних процесів, які дозволяють ефективно очистити олію від небажаних компонентів (тонке очищення, ректифікація, гідроочищення тощо) [9]. Найбільш перспективним вважається метод гідроочищення рослинних олій HVO (Hydrotreated vegetable oils). Аналогічно біодизельному паливу виробляти біопаливо методом гідроочищення можливо з будь якої рослинної сировини, що містить достатню кількість олії.

Даний вид палива отримують шляхом гідрогенізації та гідрокрекінгу рослинних олій в присутності каталізатора при високій температурі і тиску. В результаті гідроочищення кисень видаляється з вихідної сировини, яка складається з тригліцеридів та жирних кислот, що дозволяє отримати суміш лінійних парафінових вуглеводнів, які можуть мати різні властивості та молекули різного розміру в залежності від вихідної сировини та особливостей перебігу процесу [10].

Процес гідроочищення рослинних олій відбувається в два етапи. Спочатку вихідна сировина насичується воднем з подальшим розщеплення під дією високої температури (наближено $300 - 390^{\circ}\text{C}$). В результаті реакції жирні кислоти перетворюються на вуглеводні, водень та кисень виділяються у вигляді води та утворюється побічний продукт – пропан (2). Продукт першої стадії гідроочищення, як правило, додатково проходить ізомеризацію в присутності водню для розгалуження лінійних ланцюгів, що дозволяє поліпшити низькотемпературні властивості палива.



Біопаливо, отримане шляхом гідроочищення рослинних олій, має фізико-хімічні властивості, що повністю відповідають вимогам до дизельного палива (таблиця 3). В порівнянні з FAME, паливо отримане методом HVO, має нижчу густину та кінематичну в'язкість, більш високе цетанове число та більш низьку температуру застигання. Крім того HVO паливо при дотриманні всіх вимог виробництва має низький вміст домішок та інших небажаних компонентів, що містяться в FAME або мінеральному дизельному паливі: залишки води, спирту та сірка. HVO паливо також має кращу стабільність при зберіганні в порівнянні з FAME [11].

Таблиця 3 – Фізико-хімічні властивості дизельного палива та біопалив з рослинних олій [11, 6]
Table 3 – Physico-chemical properties of diesel fuel and biofuel fuels from vegetable oils [11, 6]

Назва показника	Дизельне паливо	FAME	HVO
Масова частка ефірів, %	0	96,5	0
Густина, $\text{кг}/\text{м}^3$	833,7	887,5	778,7
Кінематична в'язкість, $\text{мм}^2/\text{с}$	4,4	5,5	2,82
Температура спалаху у закритому тиглі, $^{\circ}\text{C}$	63	183	83
Температура застигання, $^{\circ}\text{C}$	-26	-5	-22
Масова частка сірки, $\text{мг}/\text{кг}$	0,2	0	0
Цетанове число	47	52	76
Масова частка води, $\text{мг}/\text{кг}$	0	200	20
Випробування на мідній пластині	витримує	витримує	витримує

За даними досліджень [10] використання гідроочищених рослинних олій дозволяє покращити екологічні показники дизелів в порівнянні з FAME, в основному, за рахунок зниження викидів оксидів азоту. До основних експлуатаційних недоліків відносять низькі змащувальні властивості, а також збільшена масова витрата палива в порівнянні з мінеральним.

Найбільш перспективним методом виробництва дизельного палива з відновлювальних ресурсів рослинного походження вважається синтез за допомогою процесу Фішера-Тропша. Даний процес був розроблений на початку 1920-х років німецькими вченими Францем Фішером і Гансом Тропшем та використовувався переважно для виробництва рідких палив з кам'яного вугілля. Синтез Фішера-Тропша – це каталітичний процес перетворення оксидів вуглецю та водню в вуглеводні з різною довжиною ланцюгів. На сьогоднішній день існує ряд модифікацій даного процесу, серед яких синтез рідкого палива з біомаси, що отримав загальну назву BTL (Biomass To Liquid) [12].

Для виробництва дизельного палива за допомогою процесу BTL можливо використовувати будь-яку біомасу, найбільшого поширення набуло виробництво палива з залишків деревообробної (тріски, тирса і т.п.) та сільськогосподарської (солома зернових та інших культур, стебел та качанів кукурудзи, і т.п.) промисловості. Процес виробництва біопалива складається з декількох етапів, на першому етапі біомасу перетворюють в синтез-газ шляхом газифікації. Далі відбувається процес очищення синтез-газу від небажаних компонентів, що можуть негативно вплинути на якість та кількість готового палива. На останньому етапі очищений синтез-газ направляється в каталітичний реактор Фішера-Тропша для виробництва дизельного біопалива [13].

Газифікація це процес перетворення твердої біомаси в суміш газів, що переважно складається з оксиду вуглецю, водню, вуглекислого газу, азоту і метану. Для ефективного протікання газифікації сировину попередньо очищують, подрібнюють та висушують. Газифікація біомаси відбувається в ректорах різноманітної конструкції (з висхідним потоком, з нерухомим шаром, з низхідним потоком та інші) та з використанням різних агентів (повітря, кисень, або водяна пара). Вибір конструкції газифікатора та агенту залежить від сировини.

В результаті газифікації отримують синтез-газ, який містить значну кількість небажаних домішок, що в подальшому негативно вплинуть на каталітичне перетворення в процесі Фішера-Тропша. Небажані домішки в синтез-газі розділяють на три основні групи: органічні домішки: смоли, бензол, толуол та ін.; неорганічні домішки: кисень, аміак, кислоти та ін.; механічні домішки: пил і сажу. Органічні домішки видаляють методом термічного або каталітичного крекінгу, в результаті якого органічні сполуки розкладаються на оксид вуглецю та водень, які використовують в подальшому синтезі палива, неорганічні та механічні домішки видаляють за допомогою різноманітних методів механічного та хімічного очищення.

На останньому етапі очищений синтез-газ подається в низькотемпературний реактор, у якому на поверхні каталізатора на основі заліза або кобальту при температурі 230°C утворюється рідке паливо. Синтезоване методом BTL дизельне паливо складається, в основному, з лінійних парафінових вуглеводнів, у ньому практично відсутні ароматичні та сірчані сполуки. Фізико-хімічні властивості синтетичного дизельного палива подібні до мінерального. Густина при температурі 15°C становить 770–785 кг/м³, кінематична в'язкість при температурі 40°C – 3,2-4,5 мм²/с. Через високий вміст алканів синтетичне дизельне паливо має дуже високе цетанове числа 73–81 [14, 15].

Синтетичне дизельне паливо з біомаси може використовуватись в сучасних дизелях без зміни їх конструкції і, практично, не викликає зміни паливної економічності двигуна. Екологічні показники дизеля вдається покращити за рахунок відсутності сірки та поліциклічних ароматичних вуглеводнів. Крім того, синтетичне паливо повністю змішується з мінеральним паливом, а отже, може використовуватись в сумішах різної пропорції. Серед недоліків можливо виділити високу вартість виробництва, погані низькотемпературні та змащувальні властивості, для покращення яких необхідно використовувати відповідні присадки.

Висновки. На сьогоднішній день біодизельне паливо (FAME та FAEE) завдяки простій технології виробництва залишається найбільш поширеним альтеративним паливом для автомобільних дизелів. Однак, через більш високу густину та кінематичну в'язкість а також високу хімічну активність за рахунок залишків спиртів його можливо використовувати або в суміші з мінеральним паливом або необхідно адаптувати конструкцію та налаштування двигуна. Перспективними паливами з відновлювальної сировини рослинного походження вважаються дизельні палива, одержані методами HVO та BTL. Фізико-хімічні властивості даних палив дозволяють їх використовувати в сучасних двигунах без зміни конструкції, крім того BTL паливо має дуже широку сировинну базу, однак через високу вартість виробництва, на сьогоднішній день, воно не отримало широкого розповсюдження.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. World oil outlook 2045. (2022). OPEC Secretariat. Vienna. 2022. 313 p.
2. Worldwide Fuel Charter 2019 – Gasoline and diesel fuel. European Automobile Manufacture's Association. Brussels. 2019. 96 p.
3. Utku Bozbay. Promoting utilization of biofuels in the transportation sector to reduce CO₂ emissions: A comparative analysis / Utku Bozbay, Mine Güngörmüşler // Journal of Polytechnic. – 2022. – 25(4). – P. 1741-1751.
4. Корпач А. О. Сучасні напрямки використання альтернативних палив в автомобільних дизелях / А. О. Корпач, О. О. Левківський // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – 2020. – №1 (46). – С. 145 – 152.
5. Shahidi F. Bailey's industrial oil and fat products, 6 volume set / F. Shahidi. – Wiley-Interscience, 2005. – 3616 p.
6. Корпач А. О. Дослідження впливу фізико-хімічних властивостей біодизельного палива на паливну економічність, енергетичні та екологічні показники автомобільного дизеля / А. О. Корпач, О. О. Левківський // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2016. – №2(77). – С. 115 – 121.
7. Корпач А. О. Оцінка експлуатаційних властивостей біодизельного палива при низьких температурах / А. О. Корпач, О. О. Левківський, Б. Ф. Кочирко // Вісник Національного транспортного університету. – 2010. – № 20. – С. 193 – 197.
8. Корпач А. О. Проблеми використання біодизельного палива в автомобільних двигунах / А. О. Корпач, О. О. Левківський, О. А. Корпач // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2010. – №2(53). – С. 71 – 73.
9. Забарний Г. М. Термодинамічна ефективність та ресурси рідкого біопалива України / Г. М. Забарний, С. О. Кудря, Г. Г. Кондратюк, Г. О. Четверик. – К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України. Відділ відновлюваних органічних енергоносіїв, 2006. – 226 с.
10. Aatola H. Hydrotreated vegetable oil (HVO) as a renewable diesel fuel: trade-off between NO_x, particulate emission, and fuel consumption of a heavy-duty engine / Aatola H., Larimi M., Sarjoavaara T., Mikkonen S. // SAE World Congress. – 2008
11. Athanasios Dimitriadis. Evaluation of a hydrotreated vegetable oil (HVO) and effects on emissions of a passenger car diesel engine / Athanasios Dimitriadis, Ioannis Natsios, Athanasios Dimaratos, Dimitrios Katsaounis, Zissis Samaras, Stella Bezergianni, Kalle Lehto // Frontiers in Mechanical Engineering – 2018.
12. Lappas A. Production of biofuels via Fischer–Tropsch synthesis: biomass-to-liquids / Lappas A., Heracleous E. // Handbook of Biofuels Production. – 2016. – P. 549 – 593
13. Jin Hu Application of Fischer–Tropsch synthesis in biomass to liquid conversion / Jin Hu, Fei Yu, Yongwu Lu // Catalysts. – 2012. – P. 303 – 326
14. Snehes Shivananda Ail. Biomass to liquid transportation fuel via Fischer Tropsch synthesis – Technology review and current scenario / Snehes Shivananda Ail, Dasappa S. // Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 58. – 2016. – P. 267 – 286

REFERENCES

1. World oil outlook 2045. (2022). OPEC Secretariat. Vienna.
2. Worldwide Fuel Charter 2019 – Gasoline and diesel fuel. (2019). European Automobile Manufacture's Association. Brussels.
3. Utku Bozbay, Mine Güngörmüşler. (2022). Promoting utilization of biofuels in the transportation sector to reduce CO₂ emissions: A comparative analysis. Journal of Polytechnic.
4. Korpach, A. O., Levkivskyi, O. O. (2020). Suchasni napryamky vykorystannya al'ternatyvnyh palyv v avtomobil'nyh dyzelyah [Modern ways of using alternative fuels in automobile diesel engines] Visnyk Nacional'noho transportnoho universytetu – Bulletin of the National transport university. 1 (46). [in Ukrainian]
5. Shahidi F. (2005). Bailey's industrial oil and fat products, 6 volume set. Wiley-Interscience.
6. Korpach, A. O., Levkivskyi, O. O. (2016). Doslidzhennya vplyvu fizyko-himichnyh vlastyvostej biodyzel'noho palyva na palyvnu ekonomichnist', enerhetychni ta ekolohichni pokaznyky avtomobil'noho dyzelya [Investigation of influence of the physico-chemical properties of biodiesel fuel on fuel economy, energy and environmental indicators of automotive diesel] Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Bulletin of the Zhytomyr State Technological University. 2 (77). [in Ukrainian]
7. Korpach, A. O., Levkivskyi, O. O., Kochyrko B. F. (2010). Ocinka ekspluatacijnyh vlastyvostej biodyzel'noho palyva pry nyz'kyh temperaturah [Evaluation of the operational properties of biodiesel fuel at

low temperatures] Visnyk Nacional'noho transportnoho universytetu – Bulletin of the National transport university. 20. [in Ukrainian]

8. Korpach, A. O., Levkivskyi, O. O., Korpach, O. A. (2010) Problemy vykorystannia biodyzelnoho palyva v avtomobilnykh dvyhunakh [Problems of using biodiesel fuel in automobile engines] Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Bulletin of the Zhytomyr State Technological University. 2 (53). [in Ukrainian]

9. Zabarny H. M., Kudrya S. O., Kondratyuk H. G., Chetveryk G. O. (2006). Termodynamichna efektyvnist' ta resursy ridkoho biopalyva Ukrayiny [Thermodynamic efficiency and liquid biofuel resources of Ukraine] Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv. [In Ukraine]

10. Aatola, H., Larmi, M., Sarjovaara, T., Mikkonen. S. (2008). Hydrotreated vegetable oil (HVO) as a renewable diesel fuel: trade-off between NOx, particulate emission, and fuel consumption of a heavy-duty engine. SAE World Congress.

11. Athanasios Dimitriadis, Ioannis Natsios, Athanasios Dimaratos, Dimitrios Katsaounis, Zissis Samaras, Stella Bezergianni, Kalle Lehto. (2018). Evaluation of a hydrotreated vegetable oil (HVO) and effects on emissions of a passenger car diesel engine. Frontiers in Mechanical Engineering.

12. Lappas A., Heracleous E. (2016). Production of biofuels via Fischer–Tropsch synthesis: biomass-to-liquids. Handbook of Biofuels Production.

13. Jin Hu, Fei Yu, Yongwu Lu. (2012) Application of Fischer–Tropsch synthesis in biomass to liquid conversion. Catalysts.

14. Snehes Shivananda Ail, Dasappa S. (2016) Biomass to liquid transportation fuel via Fischer Tropsch synthesis – Technology review and current scenario. Renewable and Sustainable Energy Reviews.

РЕФЕРАТ

Корпач А.О. Альтернативні палива з відновлювальних ресурсів для використання в автомобільних дизелях / А.О. Корпач, О.О. Левківський, О.А. Корпач// Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

В статті розглянуто альтернативні дизельні палива з відновлювальних ресурсів рослинного походження, що придатні для використання в автомобільних дизелях.

Об'єкт дослідження – альтернативні дизельні палива.

Мета роботи – проаналізувати ефективність виробництва та можливості застосування в сучасних автомобільних дизелях альтернативних палив, які можливо отримати з відновлювальних ресурсів рослинного походження.

Метод дослідження – аналітичний.

Розглянуто альтернативні дизельні палива: біодизельне паливо (FAME та FAEE), дизельні палива одержані шляхом гідроочистки рослинних олій (HVO) та методом синтезу (BTL). Проаналізовано технологію виробництва кожної групи альтернативних дизельних палив та ефективність застосування в автомобільних дизелях. Встановлено, що на сьогоднішній день біодизельне паливо, завдяки простій технології виробництва, залишається найбільш поширеним альтернативним паливом для автомобільних дизелів. Однак, через більш високу густину та кінематичну в'язкість, а також високу хімічну активність, за рахунок залишків спиртів, його можливо використовувати або в суміші з мінеральним паливом, або необхідно адаптувати конструкцію та налаштування двигуна. Більш перспективними паливами з відновлювальної сировини рослинного походження вважаються дизельні палива одержані методами HVO та BTL. Фізико-хімічні властивості даних палив дозволяють їх використовувати в сучасних двигунах без зміни конструкції, крім того BTL паливо має дуже широку сировинну базу, однак через високу вартість виробництва воно ще не отримало широкого розповсюдження.

Результати, висвітлені в статті, можуть бути використані для подальших досліджень ефективності використання альтернативних дизельних палив.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АЛЬТЕРНАТИВНІ ПАЛИВА, ДИЗЕЛЬ, БІОПАЛИВО, БІОДИЗЕЛЬНЕ ПАЛИВО, HVO, BTL

ABSTRACT

Korpach A.A., Levkivskyi O.O., Korpach O.A. Alternative fuels from renewable resources for automotive diesel engines. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The article considers alternative diesel fuels from renewable resources of plant origin that are suitable for use in automotive diesel engines.

The object of study – alternative diesel fuels.

The purpose of the work – analyze the efficiency of production and the possibilities of using alternative fuels in modern automobile diesels, which can be obtained from renewable resources of plant origin.

The research method – analytical.

Alternative diesel fuels are considered: biodiesel fuel (FAME and FAEE), diesel fuels obtained by hydrotreating vegetable oils (HVO) and synthesis method (BTL). The production technology of each group of alternative diesel fuels and the effectiveness of their use in automotive diesels are analyzed. It has been established that today, due to the more simple production technology, biodiesel fuel remains the most common alternative fuel for automobile diesels. However, due to its higher density and kinematic viscosity, as well as high chemical activity due to residual alcohols, it can be used either in a mixture with mineral diesel fuel, or it is required to adapt the engine design and settings. Diesel fuels obtained by HVO and BTL methods are considered to be more promising fuels from renewable raw materials of plant origin. The physico-chemical properties of these fuels allow them to be used in modern engines without changing the design or addition, BTL fuel has a very wide raw material base, but due to the high cost of production, they have not been widely distributed yet.

The results shown in the article can be used for further research on the alternative diesel fuels using effectiveness.

KEYWORDS: ALTERNATIVE FUEL, DIESEL, BIOFUEL, BIODIESEL FUEL, HVO, BTL

АВТОРИ:

Корпач Анатолій Олександрович, кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри двигунів і теплотехніки, e-mail: akorpach@ukr.net, тел. +380931203905, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1. к.303, orcid.org/0000-0002-7070-7883

Левківський Олександр Олександрович, кандидат технічних наук, інструктор з технічного навчання, Товариство з обмеженою відповідальністю «Віннер ЛТД», e-mail: oleksandr.levkivskyi@gmail.com, тел. +380677976448, Україна, 03164, м. Київ, вул. Клавдіївська 40Б, orcid.org/0000-0002-2951-2312

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:

Korpach Anatolii O., Ph.D., National Transport University, professor department of engines and heating engineering, e-mail: akorpach@ukr.net, тел. +380931203905, Ukraine, 01010, Kyiv, Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka Str., of. 303, orcid.org/0000-0002-7070-7883

Levkivskyi Oleksandr Oleksandrovich, Ph.D., technical trainer, Limited Liability Company «Winner LTD», e-mail: oleksandr.levkivskyi@gmail.com, тел. +380677976448, Ukraine, 03164, Kyiv, Klavdiivska 40B, orcid.org/0000-0002-2951-2312

Korpach Oleksii A., Ph.D., associate professor, National Transport University, associate professor department of automobiles, e-mail: korpach1988@gmail.com, тел. +380442804252, Ukraine, 01010, Kyiv, Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka Str. 1, of. 306, orcid.org/0000-0002-2496-4395.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Кравченко О.П., доктор технічних наук, професор, Жилінський університет, Жиліна, Словаччина.

Ковбасенко С.В., кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри інженерії машин транспортного будівництва, Київ, Україна.

REVIEWER:

Kravchenko O.P., Engineering (Dr.), professor, University of Zilina., Zilina. Slovak Republic.

Kovbasenko S.V., PhD, professor, National Transport University, professor of road building machines department, Kyiv, Ukraine.

АНАЛІЗ ТРАНСПОРТНОЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ АВТОПОЇЗДІВ У МІСЬКИХ УМОВАХ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Крупнов В.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна, sniv@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2111-4678

ANALYSIS OF TRANSPORT ENERGY EFFICIENCY OF VEHICLES IN URBAN CONDITIONS OF FUNCTIONING

Krupnov V.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine, sniv@ukr.net, orcid.org/0000-0002-2111-4678

Постановка задачі. Автотранспортні послуги матеріально створюються в процесах автомобільних перевезень з використанням властивостей автотранспортних засобів (АТЗ) як ресурсно-технічних і технологічних засобів вантажних перевезень в умовах їх адаптивно-дискретного руху як на міських, так і на міжміських маршрутах [1]. При чому відомо, що частина міжміських маршрутів реалізується в умовах міського руху. Основними експлуатаційно-технологічними особливостями автомобільних перевезень є [2]:

- 1) висока енерго- і ресурсоемність автотранспортних послуг (особливо при русі у міських умовах);
- 2) широкий діапазон змінних конструктивно-технічних характеристик нових АТЗ на світовому ринку автомобілів при високій динаміці змін їх параметрів;
- 3) різноманіття станів дорожньо-трафікових і термінальних факторів транспортно-технологічної експлуатації АТЗ;
- 4) недосконалість структур ресурсно-технологічних баз автотранспортних підприємств та низькі рівні технологічної (енергетичної і енергоресурсної) ефективності автотранспортних процесів.

У зв'язку з цим, проблема підвищення транспортної енергоефективності автотранспортних засобів з урахуванням експлуатаційно-технологічних особливостей є актуальною.

Методи організації вантажних автомобільних перевезень [3] базуються на теоретичній схемі віртуального (нематеріального) транспортування предметів рухомим складом, у якій не враховуються ресурсно-технічні та технологічні властивості АТЗ. Крім того, також не враховуються вищезгадані особливості автомобільних перевезень. Ці методи забезпечують спрощений організаційний вибір рухомого складу (як віртуальне-мобільного кузову). Вони дозволяють вирішувати оперативні задачі організації автомобільних перевезень по критеріях їх противитратної і комерційної ефективності, при чому, без врахування важливих технічних параметрів автопоїздів та умов їх руху.

Метою статті є встановлення закономірностей впливу технічних параметрів на показники транспортної енергоефективності автопоїздів з урахуванням зміни їх швидкісних режимів в умовах міського трафіко-адаптивного руху. Одним із важливих таких параметрів є максимальна потужність двигуна N_M (кВт). Вона, крім того, характеризує ще й транспортно-енергетичний потенціал АТЗ як ресурсно-технічного і технологічного засобу виробництва автотранспортних послуг. Зміна трафіко-адаптивних режимів в транспортних операціях автопоїздів характеризується величинами дискретних приростів їх швидкості dv (м/с) на фазах розгонів ($dv_{\max} > dv(u_d, u_r) > 0$), де u_d і u_r – параметри керування двигуном і трансмісією АТЗ.

На основі результатів багатоваріантного моделювання трафіко-адаптивного руху автопоїзду MB Astros 1840 у тестовій операції міського циклу (з довжиною пробігу АТЗ $l_{\text{оп}}=1000$) отримані наступні закономірності впливу величин приросту його швидкості dv на важливі показники функціонування АТЗ: машинно-технологічної віддачі TB , ($TB=f(dv)$); транспортної енергоефективності P_e , ($P_e=f(dv)$); операційно-циклової витрати палива ($Q_{\text{оп}}=f(dv)$); коефіцієнту тестової енергоефективності $P_{\text{ер}}$, ($P_{\text{ер}}=f(dv)$). При цьому величини максимальної потужності двигуна N_M автопоїзду MB Astros 1840 змінюються у діапазоні $N_M \in (300, 450)$ квт. Залежності представлені на рисунках 1-4.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботах Гальони І.І. [4] міститься досить докладний опис методики аналізу впливу технічних параметрів та машинно-технологічних процедур на енергоефективність автомобілів малої вантажопідйомності. Стаття також містить детальні результати досліджень та їх аналіз.

Однак, у статті представлені результати аналізу тільки автомобілів малої вантажопідйомності. Також у статті відсутній порівняльний аналіз: стаття не надає порівняльних даних про енергоефективність різних автомобілів малої вантажопідйомності для різних видів перевезень, що може обмежувати можливість порівняння ефективності методики з іншими методами.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Для підвищення технологічної та енергетичної ефективності нового рухомого складу необхідно використати вищезгаданий комплекс закономірностей трафіко-адаптивного функціонування АТЗ. При чому, максимізація показника машинно-технологічної віддачі – (ТВ→max) забезпечує підвищення технологічної ефективності автопоїзду шляхом зросту транспортної віддачі його чотирьох машинних процедур в умовах міського руху (енерго-перетворювальних, трансмісійних, тягово-динамічних, траєкторно-кінетичних). Друга стратегія- максимізація показника P_e ($P_e \rightarrow \max$) забезпечує підвищення технологічної та транспортно-енергетичної ефективності нового рухомого складу. Комплексне підвищення транспортної енергоефективності автопоїздів і формування енергозберігаючих технологій перевезень вантажів здійснюються за умовами максимізації величин двох показників тестових транспортних операцій: а) транспортної енергоефективності – P_e ; б) транспортної машинно-технологічної віддачі машинних процедур – ТВ.

Показник ТВ необхідно враховувати у комплексі з показником енергетичної ефективності. У багатофазовій операції руху автомобіля цей показник визначається як для окремих і-тих його фаз (сталі рухи, розгони, гальмування) руху АТЗ (ТВ_i), так і для тестового циклу в цілому (ТВС). Це дозволяє здійснювати більш точний аналіз енергоефективності транспортного засобу [5]. Показником результативності машинно-технологічної віддачі технологічних процедур АТЗ у тестовій операції називається відношення дискретної транспортної роботи $W(\Delta l)$, яка відповідає пробігу автопоїзда Δl , до величини імпульсів сили тяги АП $P_m \Delta t$:

$$ТВ_i = \frac{q\gamma_{ст} l_i}{P_{mi} t_i^2} \rightarrow opt, i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

де $q\gamma_{ст}$ – вантажопідйомність автомобіля (кг) та коефіцієнт її використання;

n – кількість фаз в операції руху;

l_i – довжина пробігу автомобіля у і-й фазі операції, м;

P_{mi} – середня сила тяги автомобіля у і-й фазі операції, Н;

t_i – час руху автомобіля у і-й фазі операції, с;

Показник транспортної енергоефективності АТЗ P_e є відношенням транспортної енерговіддачі автопоїзда у тестовій операції p_e до транспортної енерговіддачі еталонного автомобіля у еталонній операції $p_{ет}$ [6].

$$P_e = \frac{p_e}{p_{ет}} = \frac{K_v * \gamma_{ст} * \eta_{т}}{K_e * (\eta_q + \gamma_{ст})} \rightarrow max \quad (2)$$

де K_v – коефіцієнт швидкості АМВ на розрахунковому маршруті (відношення середньої швидкості АТЗ на розрахунковому маршруті до постійної швидкості еталонного АТЗ);

$\gamma_{ст}$ – коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності АТЗ;

K_e – енергетичний коефіцієнт пробігу АТЗ в тестовій операції (відношення витрати палива даного АТЗ на розрахунковому маршруті до витрати палива еталонного АТЗ, який рухається з постійною еталонною швидкістю);

$\eta_{т}$ – ККД трансмісії АТЗ;

η_q – коефіцієнт спорядженої маси АТЗ.

Основні техніко-експлуатаційні показники автопоїзду Mercedes-Benz Actros 1840, які використані при багатоваріантному аналізі, представлені в табл. 1

Таблиця 1 – Технічні характеристики автопоїзда
Table 1 – Technical characteristics of the road train

№ п/п	Марка АТЗ	Mercedes-Benz Actros 1840
1	Вантажопідйомність, т	18
2	Власна маса, т	16,3
3	Повна маса, т	35
4	Навантаження на задню вісь, т	11500
5	Максимальна потужність, кВт	450
6	Лінійна норма витрати палива, л/100 км	30
7	Коефіцієнт спорядженої маси	0,91
8	Витрати палива в міському циклі, л/100 км	32,3
9	Витрати палива в магістральному циклі, л/100 км	29,2
10	Час розгону – до 40 км/год, с	15,7
11	до 60 км/год, с	34,8
12	до 80 км/год, с	61,48
13	до 100 км/год, с	95,78

Аналізуючи вплив потужності двигуна N_m на показники результативності технологічного впливу автомобіля встановлено, що при збільшенні значень N_m відбувається збільшення показника технологічного впливу ТВ (рис 1). Чим вищою є величина підвищення швидкості dv (м/с), тим більшим є вплив величини N_m на приріст значення показника технологічного впливу ТВ. Результати розрахунків приведені в табл. 2.

Графік залежності показника результативності технологічного впливу автопоїзда Mercedes-Benz Actros 1840 від потужності двигуна N_m в міському циклі демонструє зростаючу лінію в діапазоні 0,07 – 1,08.

Таблиця 2 – Значення показника транспортної віддачі ТВ (результативності) машинно-технологічних процедур автопоїзда Mercedes-Benz Actros 1840 в міському циклі – при зміні потужності двигуна.

Table 2 – The value of the indicator of the transport return TR (efficiency) of the mechanical and technological procedures of the Mercedes-Benz Actros 1840 road train in the urban cycle – when the engine power changes.

N_m	dv			
	5	8	11	14
	ТВ			
300	0,11	0,23	0,68	1,08
350	0,09	0,19	0,56	1,00
400	0,08	0,21	0,48	0,96
450	0,07	0,19	0,49	0,89

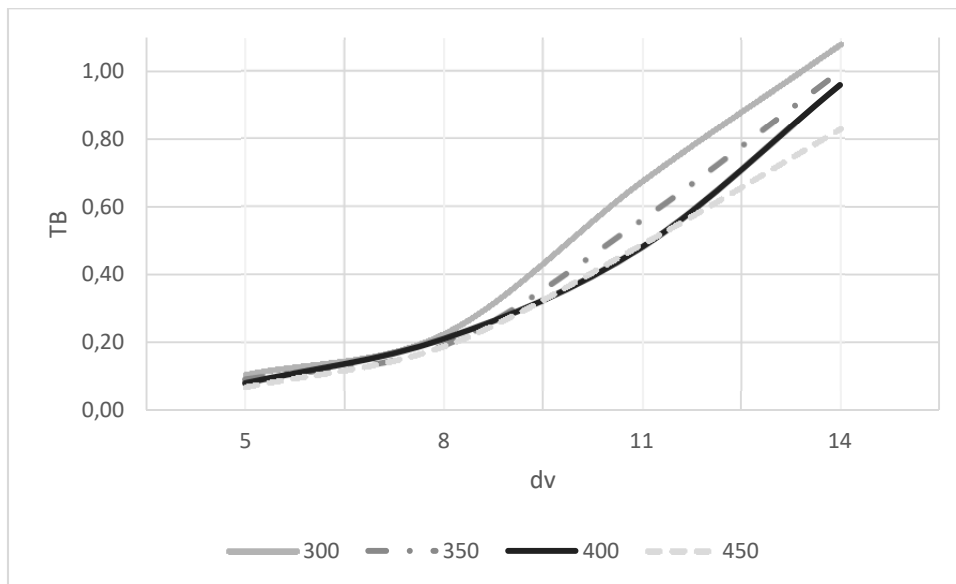


Рисунок 1 — Графіки залежності безрозмірного показника транспортної віддачі машинне-технологічної віддачі автопоїзда МВ Actros 1840 від величин приросту його швидкості dv (м/с) при різних значеннях максимальної потужності двигуна N_m (кВт) в міському циклі

Figure 1 – Graphs of the dependence of the dimensionless indicator of the transport return of the machine-technological return of the MB Actros 1840 road train on the values of its speed increase dv (m/s) at different values of the maximum engine power N_m (kW) in the urban cycle

Рисунок 2 демонструє, що зміна потужності двигуна N_m впливає на енергетичну ефективність автопоїзда. При збільшенні максимальної потужності двигуна збільшується коефіцієнт енергетичної ефективності на маршруті. При $N_m=300$ кВт показник $Pe=0,34$. Але, при збільшенні N_m на 33% показник Pe збільшується на 15% і складає 0,4.

Графік залежності показника енергоефективності автопоїзда Mercedes-Benz Actros 1840 від величин приросту його швидкості dv (м/с) при різних значеннях максимальної потужності N_m в міському циклі демонструє зростаючу лінію в діапазоні 0,32 – 0,44.

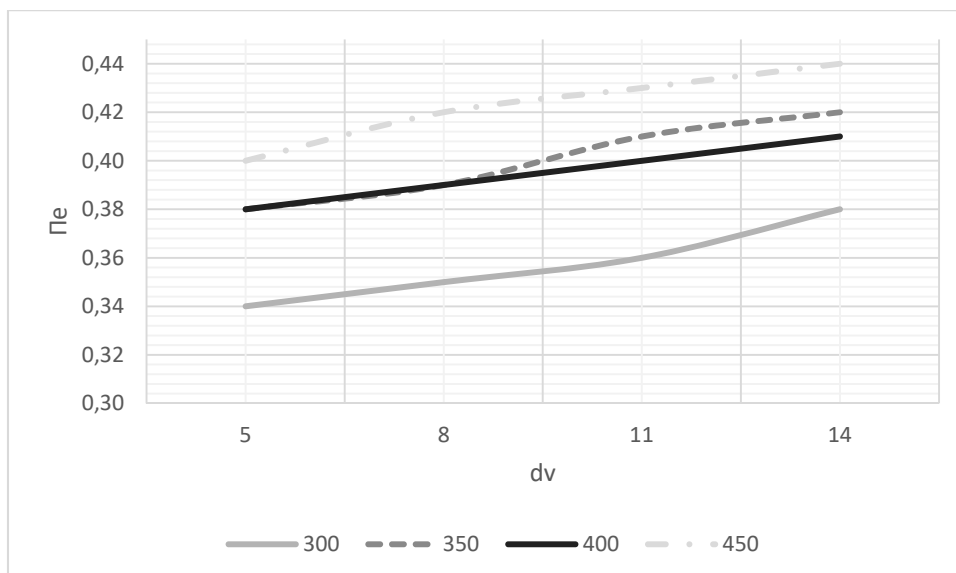


Рисунок 2 — Графіки залежності показника транспортної енергоефективності Pe автопоїзда МВ Actros 1840 від величин приросту його швидкості dv (м/с) при різних значеннях максимальної потужності двигуна N_m (кВт) в міському циклі

Figure 2 – Graphs of the dependence of the transport energy efficiency indicator Pe of the MB Actros 1840 road train on the values of its speed increase dv (m/s) at different values of the maximum engine power N_m (kW) in the urban cycle

Рисунок 3 демонструє, що при $N_m=300$ і $dv=5$ м/с витрати палива становлять 642 грами, однак при $N_m=350$ та $dv=5$ м/с витрати палива зростають на 14 % і становлять вже 746 грам. Із рисунку 3 видно, що при зростанні величини N_m до $N_m=450$ при $dv=5$ витрати палива різко зростають на 47%, і становлять майже 1200 грам у циклі тестової операції.

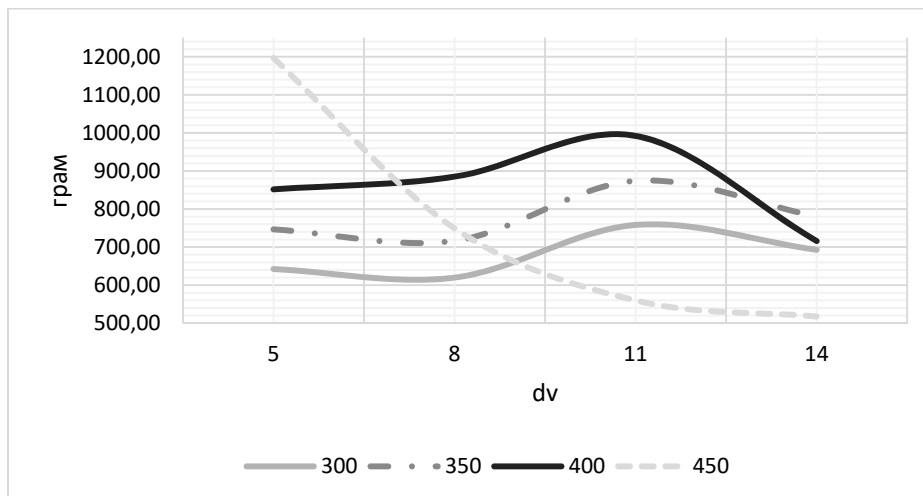


Рисунок 3 – Графіки залежності витрат палива Q_c (гр.) АТЗ MB Actros 1840 від величин приросту його швидкості dv (м/с) при різних значеннях максимальної потужності двигуна N_m (кВт) – в міському циклі

Figure 3 – Graphs of the dependence of fuel consumption Q_s (gr.) of the MB Actros 1840 on the values of its speed increase dv (m/s) at different values of the maximum engine power N_m (kW) – in the urban cycle

При порівнянні варіантів Mercedes-Benz Actros 1840 з двигунами різної потужності 350 кВт та потужністю 450 кВт виявлено, що при збільшенні величини N_m на 100 кВт відбувається зміна характеру закономірності $Q_c = f(dv)$. З локально-екстремальної (при 350 кВт), вона стає гіперболічною (Рис.3). Тобто, зі збільшенням потужності двигуна АТЗ та інтенсивності його розгону в діапазоні від $dv=5$ м/с до $dv=14$ м/с відбувається значне зменшення витрати палива (у 2,32 рази) у циклі тестової операції. Таким чином, АТЗ з $N_m=450$ кВт при $dv>9,5$ м/с має найменші витрати палива серед усіх інших варіантів двигунів.

Рисунок 4 демонструє залежність величини тестового коефіцієнту енергетичної ефективності Per автопоїзду від величин приросту його швидкості dv (м/с) при різних значеннях максимальної потужності N_m в міських умовах. При цьому, при значеннях $dv=5$ та потужності двигуна $N_m=300$ кВт транспортна енергетична ефективність $Per=0,67$, однак при збільшенні dv до 14 м/с та збільшенні N_m до 450 кВт транспортна енергетична ефективність зростає на 16% та становить $Per=0,79$.

В цілому, графіки залежності величини тестового коефіцієнту енергетичної ефективності Per автопоїзду Mercedes-Benz Actros 1840 від величин приросту його швидкості dv (м/с) при різних значеннях його максимальної потужності N_m у тестовій міській операції представляються закономірностями зростаючого характеру. При підвищенні потужності двигуна АТЗ від 300 кВт до 450 кВт величини тестового коефіцієнту Per зростають у діапазоні 0,67 – 0,79.

Висновки.

1) Встановлено актуальність методу технологічного вибору нових автопоїздів для міжміських перевезень з урахуванням рівнів їх транспортної енергоефективності у міських умовах руху при реалізації операцій збору або розвозу вантажів у містах.

2) Встановлено кількісні закономірності показників транспортної енергоефективності та машинне-технологічної віддачі автопоїзду у міських умовах руху при його трафіко-адаптивному функціонуванні. При збільшенні значень N_m відбувається збільшення показника технологічного впливу ТВ. Чим вищою є величина підвищення швидкості dv (м/с), тим більшим є вплив величини N_m на приріст значення показника технологічного впливу ТВ.

3) Виявлено, що зміна потужності двигуна N_m впливає на енергетичну ефективність автопоїзда. При збільшенні максимальної потужності двигуна збільшується коефіцієнт енергетичної ефективності на маршруті. При $N_m=300$ кВт показник $Pe=0,34$. Але, при збільшенні N_m на 33% показник Pe збільшується на 15%. Збільшення максимальної потужності двигуна N_m та приросту швидкості автопоїзда (dv) впливає на зростання тестового коефіцієнту енергетичної ефективності (Per). Графіки показують зростання Per зі збільшенням потужності двигуна та швидкості.

4) У подальших дослідженнях необхідно провести порівняльний аналіз показників транспортної енергоефективності міжміських автопоїздів з урахуванням різних співвідношень часток їх пробігів міжміських і міських умовах руху.

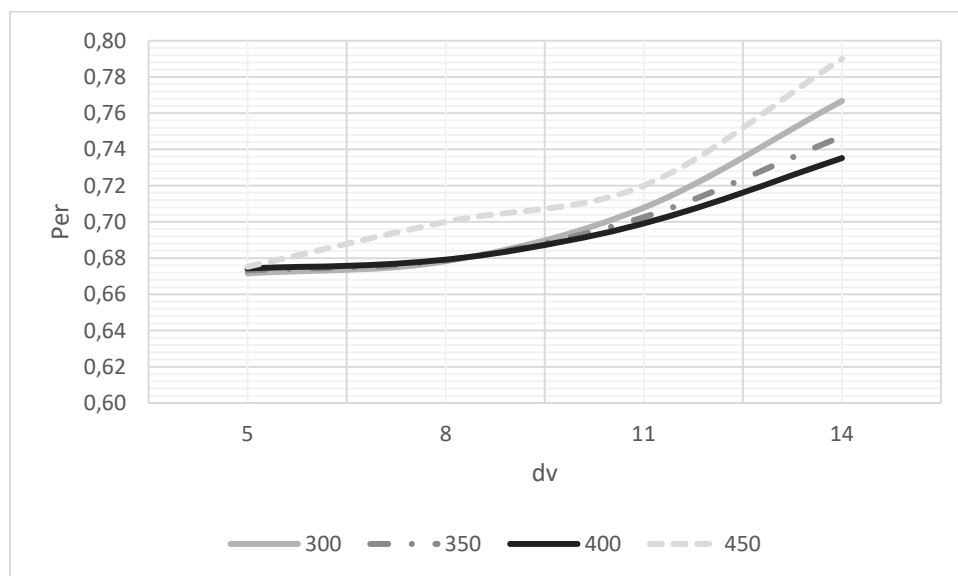


Рисунок 4 – Графіки залежності тестового коефіцієнту енергетичної ефективності Per автопоїзда МВ Actros 1840 від величин приросту його швидкості dv (м/с) при різних значеннях максимальної потужності N_m в міському циклі

Figure 4 – Graphs of the dependence of the test coefficient of energy efficiency Per of the MB Actros 1840 road train on the values of its speed increase dv (m/s) at different values of the maximum power N_m in the urban cycle

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Хабутдінов Р.А., Коцюк О.Я. Энергоресурсна ефективність автомобіля. – К.: УТУ. – 1997. – 197 с.
2. Хабутдінов Р.А. Принципи і методи концептуального підвищення енергоресурсної ефективності автотранспортних засобів і послуг в їх життєвих циклах. – К.: Вісник НТУ. – вип. 53. – 2022. – част. 3. – С 389-398.
3. Воркут А. И. Грузовые автомобильные перевозки. 2-е изд., перераб. и доп. — К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. — 447с.
4. Гальона І.І. Підвищення енергоефективності перевезень дрібних партій вантажів в рамках життєвого циклу автомобіля : автореф. дис ... канд. техн. наук : [спец.] 05.22.01 / Інеса Іванівна Гальона, Нац. транспортний ун-т. – Київ : [б.в.], 2021. – 20 с.
5. Хмельов І. В. Методика аналізу транспортно-технологічної якості автопоїздів за енергетичним критерієм / І. В. Хмельов // Вісник Національного транспортного університету. – 2011.

REFERENCES

1. Khabutdinov R., Kotsyk A. Energy-resource efficiency of car. – K.: UTU. – 1997. – 197 p. (Ukr)

2. Khabutdinov R. Principles and methods of conceptual improvement of energy resource efficiency of motor vehicles and services in their life cycles. -K.: Visnyk NTU.– Issue 53.–2022.–Part 3.–C 389-398. (Ukr)
3. Vorkut A. Freight transportation by road. K.: High-school.– 1986.– 447 p. (Rus)
4. Galyona I.I. Increasing the energy efficiency of the transportation of small consignments of goods within the framework of the life cycle of the car: autoref. thesis ... candidate technical Sciences: [specialist] 05.22.01 / Inesa Ivanovna Galyona, National University of Transport – Kyiv: [b.v.], 2021. – 20 p. (Ukr).
5. I. V. Khmelov. Methodology for the analysis of the transport and technological quality of road trains according to the energy criterion / I. V. Khmelov // Bulletin of the National Transport University. – 2011. (Ukr).
6. Khabutdinov R.A., Khmelov I.V., Methods of monitoring the energy efficiency of road trains//Bulletin of the National Transport University. – 2006. – No. 11. – P.6-10. (Ukr)

РЕФЕРАТ

Крупнов В.М. Аналіз транспортної енергоефективності автопоїздів у міських умовах функціонування / В.М. Крупнов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

У статті проаналізована транспортна енергоефективність автопоїздів у міському сполученні. На основі результатів багатоваріантного моделювання трафіко-адаптивного руху автопоїзду у тестовій операції міського циклу отримані закономірності впливу величин приросту його швидкості dv на важливі показники функціонування АТЗ: машинно-технологічної віддачі, транспортної енергоефективності, операційно-циклової витрати палива та коефіцієнту тестової енергоефективності.

Стаття є актуальною через те, що методи організації вантажних автомобільних перевезень базуються на теоретичній схемі віртуального (нематеріального) транспортування предметів рухомим складом, у якій не враховуються ресурсно-технічні та технологічні властивості АТЗ.

Об'єкт дослідження – технічні ресурси та технологічний процес автомобільних перевезень.

Мета роботи – встановлення закономірностей впливу технічних параметрів на показники транспортної енергоефективності автопоїздів з урахуванням зміни їх швидкісних режимів в умовах міського трафіко-адаптивного руху.

Результати статті можуть бути використані в транспортних компаніях, що здійснюють перевезення в Україні.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АНАЛІЗ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ПРОЦЕСИ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ, АВТОТРАНСПОРТНІ ПОСЛУГИ, МІСЬКИЙ ЦИКЛ, РЕСУРСИ, РЕЗУЛЬТАТИВНІСТЬ.

ABSTRACT

Krupnov V.M. Analysis of transport energy efficiency of road trains in urban operating conditions. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The article analyzes the transport energy efficiency of road trains in urban traffic. Based on the results of multivariate modeling of the traffic-adaptive movement of the road train in the test operation of the urban cycle, the laws of the influence of the increase in its speed dv on the important indicators of the operation of the vehicles were obtained: machine-technological efficiency, transport energy efficiency, operational-cycle fuel consumption and the test energy efficiency coefficient.

The article is relevant due to the fact that the methods of organizing cargo transportation by road are based on the theoretical scheme of virtual (intangible) transportation of objects by rolling stock, which does not take into account the resource-technical and technological properties of vehicles.

The object of research is technical resources and the technological process of automobile transportation.

The purpose of the work is to establish the regularities of the influence of technical parameters on the indicators of transport energy efficiency of road trains, taking into account the change in their speed regimes in the conditions of urban traffic-adaptive traffic.

The results of the article can be used in transport companies carrying out transportation in Ukraine.

KEY WORDS: ANALYSIS, ENERGY EFFICIENCY, ROAD TRANSPORT PROCESSES, ROAD TRANSPORT SERVICES, URBAN CYCLE, RESOURCES, PERFORMANCE.

АВТОРИ:

Крупнов Владислав Михайлович, аспірант, Національний транспортний університет, Київ, email: sniv@ukr.net, tel.+380982095552, Україна, м. Київ, вул. Героїв Дніпра 3, orcid.org/0000-0002-2111-4678

AUTHOR:

Krupnov Vladyslav Mykhailovych, graduate student, National Transport University, Kyiv, e-mail: sniv@ukr.net, tel. + 380982095552, Ukraine, Kyiv, st. Heroiv Dnipra, 3, orcid.org/0000-0002-2111-4678

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мнацаканов Р.Г., доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден, e-mail: mnatsakanov@ukr.net, тел. +380679714862, 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:

Mnatcakanov R., Doctor of Technical Sciences Engineering (Dr.), professor, National Aviation University, department of maintaining the airworthiness of aircraft, e-mail: mnatsakanov@ukr.net, тел. +380679714862, Kyiv, Ukraine.

Petrashevski O., Doctor of Technical Sciences, professor, National Transport University, Department of Airports, e-mail: olp47@ukr.net, тел. +380996092476, Kyiv, str. Omelyanovich-Pavlenko, 1, Ukraine.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ ПРИМІСЬКИХ ЗОН МІСТ УКРАЇНИ

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

Ліплява Т.М., Національний транспортний університет, Київ, Україна, tanyalipliava.99@gmail.com, orcid.org/0009-0002-5103-4932

EXPERIMENTAL RESEARCH CHARACTERISTICS TRAFFIC FLOWS ON THE ROADS OF THE SUBURBAN ZONES OF THE CITIES OF UKRAINE

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 VI Vernadsky, Kyiv, Ukraine, al.lanovoy@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

Lipliava T.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine, tanyalipliava.99@gmail.com, orcid.org/0009-0002-5103-4932

Постановка проблеми. Складність спільного руху місцевих та транзитних транспортних потоків приміськими дорогами, а також можливість руху окремих транспортних засобів рухатися різними маршрутами для досягнення своєї мети поїздки, вимагає розгляду декількох окремих задач. Для рішення кожної з них необхідним є самостійний підхід, а також розробка окремих методик експериментальних досліджень [1-10].

Ефективність устрою зручних високошвидкісних вхідних і кільцевих доріг у приміських зонах багато в чому визначається зменшенням часу і підвищенням зручності руху, що, у свою чергу, залежить від розташування дороги для можливого маршруту поїздки з використанням місцевої мережі автомобільних доріг і ступеня задоволення вимог транспортних потоків у частині організації їх руху автомобільними дорогами приміських зон міст України.

Разом з тим, для повної характеристики вибору водіями маршрутів руху з використанням автомобільних доріг, розташованих у приміських зонах міст України, та перевірки раніше висловлених припущень, уявляється доцільним розширити рамки експерименту [11-22].

Метою роботи є публікація отриманих характеристик транспортних потоків на автомобільних дорогах приміських зон міст України.

Виклад основного матеріалу дослідження. Формування об'ємів руху місцевих та транзитних транспортних потоків на кільцевих автомобільних дорогах.

Для виявлення можливого ухвалення рішення про вибір водіями маршрутів руху з використанням автомобільних доріг приміських зон міст України була розроблена методика визначення розподілів інтенсивності руху різних потоків по окремих ділянках доріг у залежності від тяжіння різних маршрутів до певних регіонів країни або радіальних магістральних доріг (входів у міста), а також інші аспекти формування інтенсивності руху автомобільними дорогами.

Процес формування інтенсивності руху на розглянутих дорогах змінюється в часі і по напрямках.

За часом, також відбуваються коливання інтенсивності руху сезонні, по днях тижня і по годинах доби [23].

Для того, щоб виявити сезонні коливання інтенсивності руху, спостереження проводилися один раз наприкінці кожного місяця, коли обсяг руху не нижче, ніж в інші дні місяця. При цьому також фіксувався склад потоку по групах транспортних засобів: легкові, вантажні, автобуси, автопоїзди та ін.

У такий спосіб було виявлено, що найменша інтенсивність руху спостерігається в зимовий період. Це відбувається через те, що в цей час значно менше використовується особистий транспорт. Найбільша інтенсивність руху спостерігається в липні – серпні, коли крім інтенсивного вантажного руху, що обслуговує промислові та торгівельні підприємства, збільшуються перевезення сільгосппродуктів нового врожаю при істотному збільшенні використання особистих автомобілів через поїздки населення до місць масового відпочинку.

Не існує також істотних відмінностей у формуванні інтенсивності руху й по днях тижня: найбільші значення її – у п'ятницю (у суботу інтенсивність трохи знижується через менше використання вантажного транспорту).

Тому, при визначенні максимальних значень інтенсивності руху спостереження варто робити в літню пору року, день тижня – п'ятниця. У цей час інтенсивність руху, що спостерігається, досягає максимальних значень.

Для оцінки добових значень інтенсивності руху був обраний 15-хвилинний інтервал із запасом у порівнянні з необхідним рівнем вірогідності його визначення при будь-яких значеннях відносно середньоквадратичного відхилення числа автомобілів, що прибувають до створу спостереження, до середнього числа транспортних засобів, що прибували.

Формування інтенсивності руху за напрямками обумовило визначені відмінності розподілу її по годинах доби від аналогічного розподілу на приміських дорогах і міських вулицях, де спостерігаються, як правило, два «піки» інтенсивності руху – ранковий і вечірній. На кільцевих дорогах таких яскраво виражених «піків» інтенсивності руху не спостерігається. Тут скоріше варто казати про «піковий» період, що продовжується від 9 – 11 години до 17 – 19 год.

Наявність «пікового» періоду може бути пояснено неоднозначністю розташування різних ділянок доріг стосовно до різних регіонів країни та їх економічного розвитку, а також формуванням транспортних потоків по напрямках у різний час доби: у ранкові години трохи переважає рух особистих автомобілів (ділові поїздки), потім переважним стає вантажний рух; у другій половині дня (через далекість міст одне від одного) у транспортному потоці усе більше проявляється транзитний рух. У результаті такого перерозподілу протягом світлового дня й спостерігається період підвищеної інтенсивності руху («піковий» період). Інтенсивність руху падає наприкінці дня, коли обсяг вантажних перевезень зменшується, а більшість водіїв легкових автомобілів досягає місць проживання.

Вищенаведені факти надали підставу до вивчення розподілу інтенсивності руху не тільки по годинах доби, але і за напрямками у залежності від тяжіння транспортних потоків у визначені регіони країни або інші райони, куди вони рухаються транзитом.

Для визначення інтенсивностей руху за напрямками розроблена методика фіксації номерних знаків і марок транспортних засобів у створах з'їздів транспортних розв'язок, як найбільш «вузьких» місць автомобільних доріг. Ця інформація необхідна для оцінки існуючих умов руху, тому що вона дозволяє опосередковано судити про основні напрямки руху транспортних потоків і, таким чином, після одержання всього обсягу інформації, створити загальну картину роботи автомобільної дороги у приміській зоні.

У табл. 1 як приклад наведено дані спостережень за характеристиками транспортних потоків у районі транспортної розв'язки за типом повного «чотирилистника».

Порівняльний аналіз умов руху автомобільними дорогами приміських зон та вулично-дорожніми мережами міст

Для порівняльної оцінки умов руху необхідно визначити:

а) фактичні швидкості руху транспортних засобів, які рухаються автомобільними дорогами приміських зон та вулично-дорожніми мережами міст;

б) затримки часу, причини, що їх викликали, а також частку від загального часу в дорозі при русі автомобільними дорогами приміських зон та вулично-дорожніми мережами міст.

Дослідження проводилися за методом рухомого спостерігача [24-26]. Автомобіль проїздить експериментальні ділянки в обох напрямках. При цьому фіксується:

– кількість автомобілів, що рухаються назустріч дослідницькому автомобілю під час руху в прямому (n_p) і зворотному (n_z) напрямках;

– кількість автомобілів, що обганяють дослідницький автомобіль у прямому (P_p) і зворотному (P_z) напрямках;

– кількість автомобілів, що дослідницький автомобіль обганяє в прямому (Q_p) і зворотному (Q_z) напрямках.

Таблиця 1 – Формування інтенсивності за напрямками в залежності від мети руху автомобільною дорогою

Table 1 – Formation of intensity by direction depending on the purpose of traffic on the road

№ з'їзду, в'їзду	Регістрація транспортних засобів, %			Частка з'їзду, в'їзду	Максимальна інтенсивність руху, авт/г
	міська	позаміська	транзит		
1	2	3	4	5	6
I	72	24	4	30 – 55	400 – 580
II	60	28	12	25 – 35	180 – 330
III	56	33	11	40 – 45	500 – 700
IV	67	21	12	40 – 50	400 – 600
V	43	35	22	20 – 25	250 – 350
VI	40	39	21	25 – 35	200 – 350
VII	46	38	16	25 – 30	250 – 300
VIII	50	30	20	30 – 35	300 – 400

Інтенсивність руху визначається в такий спосіб:

– у прямому напрямку:
$$n_n = \frac{60 \cdot (n_z + Q_n - P_n)}{T_n + T_z}; \quad (1)$$

– у зворотному напрямку:
$$n_z = \frac{60 \cdot (n_n + Q_z - P_z)}{T_n + T_z}. \quad (2)$$

Середній час руху потоку:

– у прямому напрямку:
$$\bar{T}_n = T_n - \frac{60 \cdot (Q_n - P_n)}{n_n}; \quad (3)$$

– у зворотному напрямку:
$$\bar{T}_z = T_z - \frac{60 \cdot (Q_z - P_z)}{n_z}. \quad (4)$$

Кількість проїздів визначалося за формулою для випадкової повторної вибірки [106]:

$$n = \frac{t^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2}, \quad (5)$$

де t – функція довірчої імовірності, $t = 1,96$; σ – середнє квадратичне відхилення. При нормальному законі розподілу швидкостей руху різниця між максимальними і мінімальними швидкостями, що спостерігаються, характеризуються розкидом від 60 до 15 км/г. При розкиді $R=6\sigma$: $\sigma = 7,5$ км/г; Δ – величина допустимої помилки. У даному випадку швидкість визначається за спідометром і Δ складає ± 5 км/г. Таким чином:

$$n = \frac{1,96^2 \cdot 7,5^2}{5^2} \approx 9. \quad (6)$$

Було виконано по 9 заїздів по маршрутах вулично-дорожньої мережі і по маршрутах з використанням автомобільних доріг приміських зон. Кожен маршрут був поділений на ділянки у відповідності з умовами руху на них.

Дослідження проводилися вдень, коли місцева мережа автомобільних доріг найбільш завантажена. Хоча, на дивлячись на останнє, інтенсивність руху на деяких найнавантажених ділянках досягала ледве 900 авт/добу.

Затримки на зупинки в дорозі фіксувалися за допомогою двох секундомірів: на одному із секундомірів накопичувався сумарний час руху, на іншому – сумарний час зупинок.

Дослідження показали, що при русі місцевою мережею автомобільних доріг зупинки на перехрестях займали приблизно 5 – 6% часу руху тут. При цьому середньозважена швидкість руху приміськими автомобільними дорогами (*ПрАД*) склала 43,9 км/г (табл. 2).

При русі по маршрутах з використанням приміської дороги зупинки дослідницького автомобіля в районі транспортної розв'язки складали 1% від загального часу руху або їх взагалі не було. Середньозважена швидкість руху склала 70,4 км/г.

Таблиця 2 – Транспортно-експлуатаційні характеристики маршрутів руху
Table 2 – Transport and operational characteristics of traffic routes

Маршрути	Довжина, км	Кількість ТЗ			Час руху ТЗ, с	Час зупинок ТЗ, с	Час руху ТП, с	Інтенсивність руху, авт/г	Середня швидкість руху, км/г	Середня швидкість ТП, км/г
		тих, яких випередили	тих, які випередили	зустрічних						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>ВДМ_n</i>	8,2	11	6	167	680	42	721	438	43,4	40,9
<i>ВДМ_з</i>	8,5	10	8	175	718	62	734	450	42,7	41,9
<i>ПраД_n</i>	8,4	30	5	268	400	2	485	1063	75,6	62,4
<i>ПраД_з</i>	8,0	32	0	250	360	0	463	1115	80,0	62,2
<i>ВДМ_n</i>	8,0	9	4	139	600	11	636	502	48,0	45,3
<i>ВДМ_з</i>	8,6	13	3	185	690	20	790	360	44,7	39,2
<i>ПраД_n</i>	10,2	29	3	196	530	5	652	767	69,3	56,3
<i>ПраД_з</i>	10,4	31	4	254	540	3	647	905	69,3	57,9
<i>ВДМ_n</i>	8,6	10	3	231	780	33	820	626	39,7	37,8
<i>ВДМ_з</i>	8,8	14	2	285	820	30	903	515	38,9	35,3
<i>ПраД_n</i>	11,5	31	1	299	640	4	793	708	64,7	52,2
<i>ПраД_з</i>	11,7	27	2	287	665	7	780	756	63,3	54,0
<i>ВДМ_n</i>	10,3	40	14	343	764	60	889	751	48,5	41,7
<i>ВДМ_з</i>	10,4	31	13	411	793	69	866	890	47,2	43,2
<i>ПраД_n</i>	20,8	37	1	332	1296	25	1607	416	57,8	46,7
<i>ПраД_з</i>	21,0	43	3	357	1310	37	1562	443	57,7	48,4

Аналогічні дані, отримані для транспортного потоку, склали: при русі вулично-дорожньою мережею – 40,7 км/г, при русі з використанням приміської дороги – 53,1 км/ч. Отримані значення швидкості значно нижче, що ще раз підтверджує істотний вплив на швидкість руху транспортного потоку його складу й інтенсивності.

Порівнюючи між собою швидкості при русі окремо місцевою мережею автомобільних доріг та окремо при русі по маршруту з використанням приміської дороги бачимо, що тут відмінності також істотні:

– місцевою мережею автомобільних доріг максимальні значення швидкості на маршрутах складають: для дослідницького автомобіля – 48,5 км/г, для потоку – 45,3 км/г; те ж, мінімальні – відповідно – 36,9 і 35,3 км/г;

– по маршрутах з використанням приміської дороги: максимальні для дослідницького автомобіля – 80 км/г, для потоку – 62,4 км/г; те ж, мінімальні – відповідно – 57,7 і 46,6 км/г.

Великий розкид вищенаведених значень може бути пояснено різними умовами руху. Мінімальні значення швидкостей характерні для маршрутів, коли велика частина маршруту проходять місцевою мережею автомобільних доріг, а менша – з використанням приміської дороги. Таким чином, можна зробити висновок: отримані дані доводять доцільність обрання маршрутів з використанням приміської дороги у зоні тяжіння до неї, що дає можливість раціонального використання мережі автомобільних доріг.

Дослідження закономірностей руху транспортних потоків кільцевою дорогою

Натурні спостереження проводилися на приміських доріг та Великої окружної дороги м. Києва поза впливом розв'язок їх з іншими дорогами. Метою експерименту є визначення характеристик, дані яких мають бути використанні при імітаційному моделюванні:

1) інтенсивність, склад, і швидкість руху, інтервали і розподіл транспортних засобів по смугах руху в одному напрямку;

2) швидкості руху для кожного з типів транспортних засобів.

Інтенсивність і склад руху визначалися за 15-хвилинними спостереженнями. При цьому фіксувалися смуга руху і тип транспортного засобу. Загальна інтенсивність руху не перевищувала 1500 авт/г. Швидкість руху тяжіє до максимальних значень в 110 – 120 км/г.

Щонайперше, потрібно охарактеризувати досліджувані ділянки доріг як такі, що відповідають руху транспортних потоків поза впливом розв'язок їх з іншими дорогами. Величина таких зон впливу має імовірнісний характер. Для вільних умов руху така зона може бути визначена через зниження швидкості руху. У щільних умовах швидкості руху будуть визначатися не тільки геометричними характеристиками розв'язок, але й взаємодією окремих транспортних засобів в транспортних потоках.

Отже, чим більше інтенсивність і розкид швидкостей руху через різноманітність його складу та збільшення кількості змін смуг руху, тим більше буде величина впливу їх розв'язок. Тому були обрані ділянки доріг віддалені від транспортних розв'язок (більше 7 км), горизонтальні у подовжньому профілі та прямі у плані.

Було виявлено, що розподіл транспортних засобів по смугах руху залежить від складу потоку, його інтенсивності та існуючої організації дорожнього руху. Спостереження були згруповані за складом транспортного потоку по 4 групах (за % легкових транспортних засобів в потоці): до 20, 20 – 40, 40 – 60, 60 – 80. Спостереження за інтенсивністю транспортного потоку згруповані також по 4 групах (авт/г): до 600, 600 – 900, 900 – 1200, 1200 – 1500. Мінімальне значення інтенсивності було вибрано від 500 авт/г. Тобто від рівня, коли друга смуга руху починає використовуватися регулярно [107]. Отримано наступні характеристики розподілу транспортних засобів по ширині проїзної частини (табл. 3).

Таблиця 3 – Розподіл транспортних засобів по смугах руху

Table 3 – Distribution of vehicles by traffic lanes

Частка легкових ТЗ в потоці, %	Інтенсивність руху, авт/г	Зайнятість смуг руху, %	
		перша смуга	друга смуга
1	2	3	4
0 – 20	до 600	77	23
	600 – 900	69	31
	900 – 1200	60	40
	1200 – 1500	58	42
20 – 40	до 600	70	30
	600 – 900	62	38
	900 – 1200	52	48
	1200 – 1500	46	54
40 – 60	до 600	65	35
	600 – 900	56	44
	900 – 1200	51	49
	1200 – 1500	45	55
60 – 80	до 600	57	43
	600 – 900	52	48
	900 – 1200	50	50
	1200 – 1500	43	57

У процесі вивчення швидкостей руху поза впливом розв'язок ставились наступні задачі:

1) установити відповідність фактичного розподілу швидкостей руху в цілому та по окремих її смугам нормальному закону розподілу імовірностей;

2) визначити характерні швидкості руху для різних типів транспортних засобів, що рухаються різними смугами руху;

3) визначити характерні швидкості руху для різних смуг дороги.

Одночасно з виміром швидкостей руху, безперервно фіксувалися інтенсивність і склад потоку по кожній смузі руху.

За невеликих значень інтенсивності руху найчастіше фіксуються швидкості руху в 70 – 100 км/г. При цьому є характерною наявність гребінки. Зі збільшенням інтенсивності руху крива розподілу стає одновершинною. Вплив складу транспортного потоку за високих значень інтенсивності руху відображається в положенні кривої. Характеристики розподілів подані в табл. 4.

Грунтуючись на наведених даних можна зробити висновок про те, що прийняття гіпотези про нормальний розподіл швидкостей руху можна вважати достовірним. Розходження мають випадковий характер. Характеристики отримані при спостереженні можуть бути використані при імітаційному моделюванні.

Іншою найважливішою характеристикою взаємодії транспортних засобів у потоці є розподіл часових інтервалів між автомобілями, що послідовно проходять через переріз дороги – так називане прибуття автомобілів до створу, яке при імітаційному моделюванні використовується для визначення часової послідовності запуску транспортних засобів на смугу.

Таблиця 4 – Статистичні характеристики швидкостей руху кільцевою дорогою поза впливом розв'язок

Table 4 – Statistical characteristics of traffic speeds on a ring road outside the influence of interchanges

Швидкість руху ТЗ	Середня швидкість руху, км/г	Дисперсія, км ² /г ²	Середньо-квадратичне відхилення, км/г	Критерій χ^2 *	Об'єм вибірки
легкових І смугою	59,7	68,16	8,26	6,33	150
легкових ІІ смугою	64,32	104,27	10,21	12,92	233
легкових ІІ смугою (>40%)	71,05	121,28	11,01	14,82	231
вантажних І смугою	54,76	55,38	7,44	18,86	262
вантажних ІІ смугою	59,14	66,23	8,14	6,71	170
автобусів І смугою	54,02	67,40	8,21	3,91	83
автобусів ІІ смугою	63,63	36,63	6,05	4,16	131
автопотягів І смугою	55,87	38,10	6,17	3,12	246
автопотягів ІІ смугою	59,22	52,51	7,25	5,89	132
У цілому І смугою	56,11	62,87	7,93	13,86	741
У цілому ІІ смугою	62,02	79,46	8,91	10,74	897

* χ^2 має бути не менше 19,68 тому, що число інтервалів $k=14$, закон двопараметричний ($S=2$), кількість зв'язків $r=k-S-1=14-2-1=11$ – за таблицею визначення χ^2 в залежності від r та p (імовірності згоди [119]) – підпорядкування швидкості нормальному закону не відкидається.

Установлено, що збільшення інтенсивності руху приводить до зменшення середнього часового інтервалу, при цьому імовірність появи інтервалів великої довжини зменшується.

Кожна смуга руху характеризується своїм розподілом часових інтервалів, що пояснюється зміною складу потоку по смугах руху. Мінімальний з інтервалів дорівнює 1 с. Частіше він спостерігається на другій смузі руху.

За допомогою спеціально розробленої на кафедрі «Транспортні системи та БДР» Національного транспортного університету програми «ТІМЕ» були оброблені часові інтервали в діапазоні інтенсивності руху від 250 до 1000 авт/г. Результати обробки зведено в табл. 5. Тут проведено порівняльний аналіз підпорядкування фактичного розподілу часових інтервалів теоретичним розподілам: логарифмічно нормальному, Релея та гама-розподілу.

Фактичні розподіли часових інтервалів найкраще підпорядковуються гама-розподілу, що відповідає раніше отриманим даним [24 – 26]. Гама-розподіл зручний у використанні при імітаційному моделюванні тому, що він може бути застосований в широкому діапазоні зміни інтенсивності руху.

При обробці статистичні дані були поділені на 24 інтервали (від 1 до 24 с з кроком в 1 с). Кількість ступенів свободи і зв'язків підраховувалися за вищенаведеними залежностями. Таким чином підпорядкування інтервалів руху транспортних засобів поза впливом розв'язок гама-розподілу не відкидається.

Ділянки під'їзду до розв'язок піддані безпосередньому впливу їх з'їздів, тому що інтенсивність руху на них та її розподіл по смугах руху залежить від потоків, що рухаються із своїми цілями, які, у свою чергу, залежать від розташування розв'язки по відношенню до конкретного регіону або до визначеного магістрального транзитного напрямку руху (ввідної автомобільної магістралі).

Під час натурних спостережень визначалися такі величини: інтенсивності наскрізного, в'їзного та виїжджаючого потоків, а також розподіл їх швидкостей і часових інтервалів; частка загального потоку, що рухається на з'їзд з дороги; розрахунок уповільнення автомобілів, що рухаються на з'їзд з дороги.

У зоні впливу з'їзду з дороги розподіл автомобілів по ширині проїзної частини має, у порівнянні з ділянкою поза зоною впливу розв'язки, специфічний характер. Тут він залежить від інтенсивності та складу руху, а також від цілей водіїв автомобілів: чим більше транспортних засобів рухаються на з'їзд з дороги і чим менше легкових автомобілів у загальному транспортному потоці, тим більше транспортних засобів намагаються зайняти першу смугу руху.

Під час спостережень було виявлено, що на різні з'їзди з дороги направляються 10 – 65% загального транспортного потоку.

Таблиця 5 – Порівняльний аналіз розподілу часових інтервалів
Table 5 – Comparative analysis of the distribution of time intervals

Інтенсивність руху, авт/г	Дисперсія, σ^2	Математичне чекання	Гама-розподіл			Логнормальний розподіл			Розподіл Релея		Об'єм вибірки
			Параметр форми α	Параметр масштабу λ	Критерій χ^2	Параметр $\ln t_0$	Параметр $\sigma_{\ln t_0}$	Критерій χ^2	Параметр масштабу	Критерій χ^2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
238	69,39	15,10	0,768	11,60	7,187	2,598	0,071	44,98	12,051	48,13	370
314	52,03	11,48	0,440	4,057	3,115	2,274	0,493	19,25	9,162	64,02	331
390	38,56	10,52	0,303	3,190	3,360	2,203	0,547	21,76	8,396	81,91	223
457	30,80	7,88	0,303	2,388	4,440	1,862	0,639	20,76	6,289	94,24	184
476	22,00	7,56	0,355	2,680	3,200	1,860	0,570	19,78	6,034	123,31	218
638	16,65	5,64	0,280	1,590	5,090	1,520	0,649	31,46	4,501	173,49	210
650	13,40	5,54	0,256	1,419	7,140	1,531	0,602	44,12	4,420	224,07	156
985	11,42	3,67	0,346	1,264	3,091	0,987	0,785	19,11	2,921	297,56	96

Іншою найважливішою характеристикою цієї ділянки є наявність і вид перехідно-швидкісних смуг та їх геометричних характеристик (кут входження, ширина, число смуг руху і т.д.). Спостереження за фактичними швидкостями окремих типів транспортних засобів і потоку в цілому зведені в табл. 6.

Таблиця 6 – Статистичні характеристики швидкостей руху в зоні впливу розв'язок
Table 6 – Statistical characteristics of traffic speeds in the zone of influence of junctions

Швидкість руху ТЗ	Середня швидкість руху, км/г	Дисперсія, км ² /г ²	Середнє квадратичне відхилення, км/г	Критерій χ^2 *	Об'єм вибірки
легкових – на правоповоротний з'їзд	42,12	51,39	7,17	1,105	512
вантажних – на правоповоротний з'їзд	46,09	51,39	7,17	1,105	512
автопотягів – на правоповоротний з'їзд	41,70	47,16	6,87	1,674	109
автобусів – на правоповоротний з'їзд	44,10	48,24	6,94	1,923	61
загальна – на правоповоротний з'їзд	43,16	45,80	6,76	1,821	917
легкових – на лівоповоротний з'їзд	43,12	57,23	7,56	1,559	323
вантажних – на лівоповоротний з'їзд	39,30	20,16	4,49	0,321	59
автопотягів – на лівоповоротний з'їзд	35,50	44,49	6,67	0,873	52
автобусів – на лівоповоротний з'їзд	37,61	33,99	5,83	1,128	41
загальна – на лівоповоротний з'їзд	42,15	52,63	7,25	1,956	475
наскрізного потоку – на правоповоротний з'їзд	52,94	40,83	6,39	5,513	343
наскрізного потоку – на лівоповоротний з'їзд	49,92	31,00	5,57	3,640	271

Через близькі значення швидкості руху окремих транспортних засобів для статистичної обробки був обраний інтервал у 3 км/г; при цьому число інтервалів дорівнює $k=12$. Тоді кількість зв'язків дорівнює:

$$r = k - S - 1 = 12 - 2 - 1 = 9.$$

Використовуючи значення критерію χ^2 і числа зв'язків за таблицею [27-28] знаходимо, що імовірність згоди знаходиться в межах 0,99 – 0,95, що вище прийнятого рівня у 5%.

Аналізуючи значення, наведені в табл. 6, потрібно звернути увагу на близькі значення середніх значень швидкостей руху для різних типів транспортних засобів між собою та до середньою швидкістю потоку, що направляєється на з'їзд з дороги. Геометрія лівоповоротного з'їзду змушує транспортний потік рухатися по ньому з меншою швидкістю, ніж по правоповоротному з'їзду.

Отримані дані натурних спостережень не повністю задовольняють вимоги щодо вирішення завдань, установлених відповідно до мети дослідження. Тому виникає необхідність у додаткових роботах, під час яких інші характеристики руху транспортних потоків, необхідні для досягнення мети дослідження, можна отримати за допомогою імітаційного моделювання.

За допомогою експериментів отримані наступні закономірності руху транспортних потоків приміськими автомобільними дорогами:

– середньої швидкості транспортного потоку $\bar{V}$ від загальної інтенсивності руху (за умов різних часток руху легкових транспортних засобів, позначених індексами при значенні середньої швидкості транспортного потоку):

$$\bar{V}_{0,8} = 106,209 - 0,051 \cdot N; \quad (6)$$

$$\bar{V}_{0,6} = 99,945 - 0,047 \cdot N; \quad (7)$$

$$\bar{V}_{0,4} = 92,245 - 0,042 \cdot N; \quad (8)$$

$$\bar{V}_{0,2} = 88,15 - 0,0395 \cdot N; \quad (9)$$

– швидкості руху на першій смузі дороги V_1 і швидкості руху на другій смузі дороги V_2 від середньої швидкості руху транспортного потоку $\bar{V}$:

$$V_1 = 2,45 + 0,71 \cdot \bar{V}; \quad (10)$$

$$V_2 = 3,581 + 1,1 \cdot \bar{V}; \quad (11)$$

– швидкості руху транспортного потоку $\bar{V}$ від інтенсивності руху з урахуванням впливу транспортної розв'язки (при різних частках потоку, що рухаються на з'їзди транспортної розв'язки і позначених індексами при значенні середньої швидкості транспортного потоку):

$$\bar{V}_{0,2} = 106,024 - 0,069 \cdot N + 1,05 \cdot 10^{-5} \cdot N^2; \quad (12)$$

$$\bar{V}_{0,4} = 95,24 - 0,065 \cdot N + 1,04 \cdot 10^{-5} \cdot N^2; \quad (13)$$

$$\bar{V}_{0,6} = 88,045 - 0,063 \cdot N + 1,03 \cdot 10^{-5} \cdot N^2; \quad (14)$$

$$\bar{V}_{0,8} = 84,27 - 0,061 \cdot N + 1,01 \cdot 10^{-5} \cdot N^2; \quad (15)$$

– швидкості руху транспортного потоку $\bar{V}$ від інтенсивності руху з урахуванням впливу довжини ділянки автомобільної дороги поміж розв'язками (позначена індексами при значенні середньої швидкості транспортного потоку):

$$\bar{V}_{>25} = 106,209 - 0,051 \cdot N; \quad (16)$$

$$\bar{V}_{15-25} = 100,11 - 0,056 \cdot N; \quad (17)$$

$$\bar{V}_{10-15} = 98,19 - 0,058 \cdot N; \quad (18)$$

$$\bar{V}_{5-10} = 97,87 - 0,061 \cdot N; \quad (19)$$

$$\bar{V}_{<5} = 94,32 - 0,062 \cdot N; \quad (20)$$

– втрат часу U транспортного засобу від середньої швидкості руху за різних значень величини потрібної зони організації дорожнього руху (залежить від зони впливу розв'язки на рух транспортних потоків), що позначено індексами при U (у метрах):

$$U_{8000} = 77,62 - \frac{\bar{V}}{1,22}; \quad (21)$$

$$U_{6000} = 78,23 - \frac{\bar{V}}{1,18}; \quad (22)$$

$$U_{3000} = 79,76 - \frac{\bar{V}}{1,15}; \quad (23)$$

$$U_{1000} = 72,96 - \frac{\bar{V}}{1,37}; \quad (24)$$

– втрат часу U транспортного засобу від середньої швидкості руху за різних значень довжини перегону між послідовними розв'язками, що позначено індексами при U (у кілометрах):

$$U_{15-25} = 90,29 - \frac{\bar{V}}{0,8}; \quad (25)$$

$$U_{10-15} = 91,93 - \frac{\bar{V}}{0,81}; \quad (26)$$

$$U_{5-10} = 93,29 - \frac{\bar{V}}{0,82}; \quad (27)$$

$$U_{<5} = 62,96 - \frac{\bar{V}}{0,87}. \quad (28)$$

Висновки. Отже, виходячи з поставлених завдань дослідження та на підставі отриманих кореляційних залежностей, розроблені підходи щодо прийняття рішень по раціональній організації руху транспортних потоків, а також удосконаленню інженерно-планувальних рішень для поліпшення умов руху транспортних потоків автомобільними дорогами у приміських зонах міст України.

Ці підходи дозволяють оцінювати процес функціонування основних смуг руху автомобільних доріг у зоні впливу транспортної розв'язки, показнику ефективності функціонування транспортної системи, її надійності, стійкості та перешкодозахищеності як резерву раціональної інтенсивності руху транспортних потоків.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сливак И.М. Автомобильные дороги и транспортное обслуживание пригородных зон. Киев, Будивельник, 1974 г., 184 с.
2. Сигаев А.В. Грузовые магистрали города. – М., Стройиздат, 1962. 181 с.
3. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. М., Транспорт, 1977, 303 с.
4. Старовойда В.П. Вводные и кольцевые магистрали. Киев, Будивельник, 1980 г., 144 с.
5. Старовойда В.П. Исследование трасс и определение габаритных размеров автомобильных магистралей на подходах к городам. Автореферат ... канд. техн. наук, Киев, 1968 г., 23 с.
6. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. М., Транспорт, 1972, 424 с.
7. Хомяк А.В. Проектирование полос движения для скоростного движения на автомобильных магистралях – подъездах к крупным аэропортам. Автореферат...канд. техн. наук, МАДИ, 1983 г., 18 с.
8. Шевяков А.П. Организация движения на автомобильных магистралях. М., Транспорт, 1985, 96 с.
9. Бабков В.Ф. и др. Дорожные условия и организация движения. М. Транспорт, 1974, 240 с.
10. Красников А.Н. Скорости движения потоков автомобилей на автомагистралях с шестью полосами движения. М., Труды МАДИ, 1974, вып. 72, с. 71-75.
11. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. Перевод с англ. М., Мир, 1966, 286 с.
12. Кисляков В.М., Филиппов В.В., Школяренко И.А. Математическое моделирование и оценка условий движения автомобилей и пешеходов. М., Транспорт, 1979, 200 с.
13. Сильянов В.В. Теоретические основы повышения пропускной способности автомобильных дорог. Дисс ... докт. техн. наук, М., МАДИ, 1978, 447 с.
14. Красников А.Н. Исследование закономерностей движения транспортных потоков на многополосных автомобильных магистралях. Дисс ... канд. техн. наук, М., МАДИ, 1976, 286 с.
15. Заворицкий В.И., Старовойда В.П., Белятинский А.А., Забышный А.С. Распределение интенсивности движения в течение суток. В сб.: Автомобильные дороги и дорожное строительство, К.: 1972, вып. 10, с. 19-30.
16. Красников А.Н. Закономерности движения на многополосных автомобильных дорогах. М., Транспорт, 1988, 111 с.
17. Шевяков А.П. Влияние транспортных развязок в разных уровнях на режимы движения автомобилей. Дисс ... канд. техн. наук, М., МАДИ, 1968, 196 с.

18. Шевяков А.П. Использование полос движения на автомагистралях. М., Труды Госдорпроектинститута, 1976, № 19, с. 6-21.
19. Белятинский А.А. К вопросу ограничения скоростей на автомагистралях. В сб.: Автомобильные дороги и дорожное строительство, К.: 1976, вып. 18.
20. Богаченко В.Н. Усовершенствование методов организации движения автомобилей на развязках автомобильных дорог. Дисс ... канд. техн. наук, К., КАДИ, 1988, 243 с.
21. Полищук В.П. Исследование движения транспортных потоков на развязках автомобильных дорог. Дисс. ... канд. техн. наук. Киев, КАДИ, 1968.
22. Пальчик А.Н. Усовершенствование методов оценки условий движения на основе учета состава транспортного потока. Дисс. ... канд. техн. наук. Киев, КАДИ, 1987, 174 с.
23. Сильянов В.В., Ситников Ю.М., Сапегин Л.Н. Расчеты скоростей движения на автомобильных дорогах. М., МАДИ, 1978, 114 с.
24. РТМ 44-62. Методика статистической обработки экспериментальных данных. М., Комитет стандартов. 1966, 100 с.
25. Гранков В.П. Выборочное наблюдение. М., Госиздат, 1963, 153 с.
26. Кильдишев Г.С., Овсиенко В.Е., Рабинович М.П. Общая теория статистики. М., Статистика, 1980, 423 с.
27. Химмельбау Д. Анализ процессов статистическими методами. М. Мир. 957 с.
28. Леонтьев Н.Л. Техника статистических вычислений. М., Лесная промышленность, 1966, 250 с.

REFERENCES

1. Slivak I.M. Avtomobilnie dorogi i transportnoe obsluzhivanie prigorodnikh zon. Kiev, Budivelnik, 1974 g., 184 s.
2. Sigaev A.V. Gruzovie magistrali goroda. – М., Stroizdat, 1962. 181 s.
3. Silyanov V.V. Teoriya transportnikh potokov v proektirovanii dorog i organizatsii dvizheniya. М., Transport, 1977, 303 s.
4. Starovoida V.P. Vvodnie i koltsevie magistrali. Kiev, Budivelnik, 1980 g., 144 s.
5. Starovoida V.P. Issledovanie trass i opredelenie gabaritnikh razmerov avtomobilnikh magistralei na podkhodakh k gorodam. Avtoreferat ... kand. tekhn. nauk, Kiev, 1968 g., 23 s.
6. Dryu D. Teoriya transportnikh potokov i upravlenie imi. М., Transport, 1972, 424 s.
7. Khomyak A.V. Proektirovanie polos dvizheniya dlya skorostnogo dvizheniya na avtomobilnikh magistralyakh – podezdakh k krupnim aeroportam. Avtoreferat...kand. tekhn. nauk, MADI, 1983 g., 18 s.
8. Shevyakov A.P. Organizatsiya dvizheniya na avtomobilnikh magistralyakh. М., Transport, 1985, 96 s.
9. Babkov V.F. i dr. Dorozhnie usloviya i organizatsiya dvizheniya. М. Transport, 1974, 240 s.
10. Krasnikov A.N. Skorosti dvizheniya potokov avtomobiley na avtomagistralyakh s shestyuu polosami dvizheniya. М., Trudi MADI, 1974, vip. 72, s. 71-75.
11. Kheit F. Matematicheskaya teoriya transportnikh potokov. Perevod s angl. М., Mir, 1966, 286 s.
12. Kislyakov V.M., Filippov V.V., Shkolyarenko I.A. Matematicheskoe modelirovanie i otsenka uslovii dvizheniya avtomobiley i peshekhodov. М., Transport, 1979, 200 s.
13. Silyanov V.V. Teoreticheskie osnovi povisheniya propusknnoi sposobnosti avtomobilnikh dorog. Diss ... dokt. tekhn. nauk, М., MADI, 1978, 447 s.
14. Krasnikov A.N. Issledovanie zakonornostei dvizheniya transportnikh potokov na mnogopolosnikh avtomobilnikh magistralyakh. Diss ... kand. tekhn. nauk, М., MADI, 1976, 286 s.
15. Zavoritskii V.I., Starovoida V.P., Belyatinskii A.A., Zabishnii A.S. Raspredelenie intensivnosti dvizheniya v techenie sutok. V sb.: Avtomobilnie dorogi i dorozhnoe stroitelstvo, К.: 1972, vip. 10, s. 19-30.
16. Krasnikov A.N. Zakonornosti dvizheniya na mnogopolosnikh avtomobilnikh dorogakh. М., Transport, 1988, 111 s.
17. Shevyakov A.P. Vliyanie transportnikh razvyazok v raznikh urovnyakh na rezhimi dvizheniya avtomobiley. Diss ... kand. tekhn. nauk, М., MADI, 1968, 196 s.
18. Shevyakov A.P. Ispolzovanie polos dvizheniya na avtomagistralyakh. М., Trudi GosdorproektiziskNII, 1976, № 19, s. 6-21.
19. Belyatinskii A.A. K voprosu ogranicheniya skorostei na avtomagistralyakh. V sb.: Avtomobilnie dorogi i dorozhnoe stroitelstvo, К.: 1976, vip. 18.
20. Bogachenko V.N. Usovershenstvovanie metodov organizatsii dvizheniya avtomobiley na razvyazkakh avtomobilnikh dorog. Diss ... kand. tekhn. nauk, К., KADI, 1988, 243 s.
21. Polishchuk V.P. Issledovanie dvizheniya transportnikh potokov na razvyazkakh avtomobilnikh dorog. Diss. ... kand. tekhn. nauk. Kiev, KADI, 1968.

22. Palchik A.N. Usovershenstvovanie metodov otsenki uslovii dvizheniya na osnove ucheta sostava transportnogo potoka. Diss. ... kand. tekhn. nauk. Kiev, KADI, 1987, 174 s.
23. Silyanov V.V., Sitnikov Yu.M., Sapegin L.N. Rascheti skorostei dvizheniya na avtomobilnikh dorogakh. M., MADI, 1978, 114 s.
24. RTM 44-62. Metodika statisticheskoi obrabotki eksperimentalnikh dannyakh. M., Komitet standartov. 1966, 100 s.
25. Grankov V.P. Viborochnoe nablyudenie. M., Gosizdat, 1963, 153 s.
26. Kildishev G.S., Ovsienko V.E., Rabinovich M.P. Obshchaya teoriya statistiki. M., Statistika, 1980, 423 s.
27. Khimmelbau D. Analiz protsessov statisticheskimi metodami. M. Mir. 957 s.
28. Leontev N.L. Tekhnika statisticheskikh vychislenii. M., Lesnaya promishlennost, 1966, 250 s.

РЕФЕРАТ

Лановий О.Т. Експериментальні дослідження характеристик транспортних потоків на автомобільних дорогах приміських зон міст України / О.Т.Лановий, В.Б.Кисельов, О.М. Кошарний, Т.М. Ліплява // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

Складність спільного руху місцевих та транзитних транспортних потоків приміськими дорогами, а також можливість руху окремих транспортних засобів рухатися різними маршрутами для досягнення своєї мети поїздки, вимагає розгляду декількох окремих задач. Для рішення кожної з них необхідним є самостійний підхід, а також розробка окремих методик експериментальних досліджень.

Ефективність устрою зручних високошвидкісних вхідних і кільцевих доріг у приміських зонах багато в чому визначається зменшенням часу і підвищенням зручності руху, що, у свою чергу, залежить від розташування дороги для можливого маршруту поїздки з використанням місцевої мережі автомобільних доріг і ступеня задоволення вимог транспортних потоків у частині організації їх руху автомобільними дорогами приміських зон міст України.

Разом з тим, для повної характеристики вибору водіями маршрутів руху з використанням автомобільних доріг, розташованих у приміських зонах міст України, та перевірки раніше висловлених припущень, уявляється доцільним розширити рамки експерименту.

Метою статті є публікація отриманих характеристик транспортних потоків на автомобільних дорогах приміських зон міст України.

Виходячи з поставлених завдань дослідження та на підставі отриманих кореляційних залежностей, розроблені підходи щодо прийняття рішень по раціональній організації руху транспортних потоків, а також удосконаленню інженерно-планувальних рішень для поліпшення умов руху транспортних потоків автомобільними дорогами у приміських зонах міст України.

Ці підходи дозволяють оцінювати процес функціонування основних смуг руху автомобільних доріг у зоні впливу транспортної розв'язки, показники ефективності функціонування транспортної системи, її надійності, стійкості та перешкодозахищеності як резерву раціональної інтенсивності руху транспортних потоків.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ ПРИМІСЬКИХ ЗОН МІСТ УКРАЇНИ, ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ ПРИМІСЬКИХ ЗОН МІСТ УКРАЇНИ, ВХІДНІ І КІЛЬЦЕВІ ДОРОГИ У ПРИМІСЬКИХ ЗОНАХ МІСТ УКРАЇНИ, ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПО РАЦІОНАЛЬНІЙ ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ.

ABSTRACT

Lanovy O.T., Kiselov V.B., Kosharny O.M., Liplyava T.M. Experimental studies of the characteristics of traffic flows on the highways of the suburban areas of Ukrainian cities. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The complexity of the joint movement of local and transit traffic flows on suburban roads, as well as the possibility of the movement of individual vehicles to move along different routes to achieve the purpose of the trip, requires the consideration of several separate tasks. To solve each of them, an independent approach is necessary, as well as the development of separate methods of experimental research.

The effectiveness of the arrangement of convenient high-speed entrance and ring roads in suburban areas is largely determined by reducing time and increasing the convenience of movement, which, in turn, depends on the location of the road for a possible trip route using the local highway network and the degree

of satisfaction of the requirements of traffic flows in terms of organization of their traffic on the highways of suburban areas of Ukrainian cities.

At the same time, in order to fully characterize the choice of driving routes by drivers using highways located in the suburban areas of Ukrainian cities, and to verify the previously expressed assumptions, it seems appropriate to expand the scope of the experiment.

The purpose of the article is to publish the obtained characteristics of traffic flows on the highways of the suburban zones of the cities of Ukraine.

Based on the research objectives and on the basis of the obtained correlational dependencies, approaches have been developed for decision-making on the rational organization of traffic flows, as well as the improvement of engineering and planning solutions to improve the conditions of traffic flows on highways in the suburban areas of Ukrainian cities.

These approaches make it possible to evaluate the process of functioning of the main traffic lanes of highways in the zone of influence of the transport interchange, indicators of the efficiency of the functioning of the transport system, its reliability, stability and interference protection as a reserve for the rational intensity of traffic flows.

KEYWORDS: HIGHWAYS OF SUBURBAN AREAS OF CITIES OF UKRAINE, CHARACTERISTICS OF TRANSPORT FLOWS ON THE HIGHWAYS OF SUBURBAN AREAS OF CITIES OF UKRAINE, ENTRANCE AND ANNULAR ROADS IN SUBURBAN AREAS OF CITIES OF UKRAINE, DECISION MAKING ON RATIONAL ORGANIZATION OF TRAFFIC FLOW.

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 Олександр Миколайович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, o.kosharnyi@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5969-4858>

Ліплява Тетяна Михайлівна, студентка, Національний транспортний університет, Київ, Україна, tanyaliplava.99@gmail.com, +38(063)165-58-95, <https://orcid.org/0009-0002-5103-4932>

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>

Liplyava Tetyana Mykhailivna, student, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: tanyaliplava.99@gmail.com, +38(063)165-58-95, <https://orcid.org/0009-0002-5103-4932>

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Домніч В.І. кандидат технічних наук, професор, Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, професор кафедри загальноінженерних дисциплін та теплоенергетики, Київ, Україна

Прокудін Г.С. доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, 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

Prokudin G.S. Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of International Transport and Customs Control, Kyiv, Ukraine.

РОЗРОБКА МІЖНАРОДНОЇ СТРАТЕГІЇ ПРОСУВАННЯ ТОВАРУ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇЇ ПЛАНУВАННЯ В РІЗНИХ ФОРМАХ МІЖНАРОДНОГО БІЗНЕСУ

Левчук Н.М., кандидат економічних наук, Національний транспортний університет. м. Київ, Україна, natalya.levchuk03@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1296-7182

Марач Я.М., Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, yaroslavmarach368@gmail.com, orcid.org/0009-0008-4485-4397

DEVELOPMENT OF AN INTERNATIONAL PRODUCT PROMOTION STRATEGY AND FEATURES OF ITS PLANNING IN VARIOUS FORMS OF INTERNATIONAL BUSINESS

Levchuk N.M., Candidate of Economic Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, natalya.levchuk03@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1296-7182

Marach Y.M., National Transport University, Kyiv, Ukraine, yaroslavmarach368@gmail.com, orcid.org/0009-0008-4485-4397

Актуальність проблеми. Розробка міжнародної стратегії просування товару є важливим аспектом успішного ведення міжнародної торгівлі в сучасному світі. З розвитком глобалізації та зростанням міжнародної конкуренції, підприємства мають потребу в розробці ефективних стратегій просування своїх товарів на зовнішніх ринках. Розробки міжнародної стратегії просування товару полягає в адаптації товарів до вимог різних ринків та культур. Різні країни мають різні культурні, економічні, правові та соціальні особливості, що можуть впливати на сприйняття товарів споживачами. Тому планування міжнародної стратегії просування товару повинно враховувати ці різниці та використовувати належні методи адаптації товару до місцевого ринку. Також актуальним питанням є вибір оптимальних каналів та засобів просування товару на зовнішніх ринках. Різні країни мають різні канали та засоби розповсюдження товарів, такі як ритейлери, дистриб'ютори, агенти, електронна комерція та інші. Вибір оптимальних каналів та засобів просування товару має враховувати такі фактори, як характеристики товару, цінова політика, конкуренція на ринку, логістика та інші аспекти.

Постановка проблеми. Вирішення проблеми виходу компаній на міжнародний ринок передбачає, як правило, з'ясування двох основних питань: мотивів підприємств до виходу на зовнішні ринки і чинників, які визначають вибір форми виходу підприємств на зовнішні ринки. При цьому слід зазначити, що процеси глобалізації у світовій економіці підсилюють тенденцію до необхідності прискорення виходу компаній на вищезазначені ринки.

Аналіз основних досліджень і публікацій. Дослідження розробки міжнародних стратегій просування товару є популярною темою серед вчених і експертів в галузі міжнародного маркетингу та бізнесу. Вчені які досліджували або сприяли дослідженню: Ч. Хоффманн, Л. Воронова, М. Леві, М.Портер, С. Пінчук, Ш. Ядав, Ф. Котлер, Г. Армстронг, В. Дідківський, А. Островський, О. Хитра, І. Ансофф, Р.Паскаль та інші.

Постановка задачі. Визначити міжнародні стратегії просування товару та особливості їх планування в різних формах міжнародного бізнесу.

Виклад основного матеріалу. Сьогодні потреба підприємств у виході на міжнародний ринок дуже велика. Наслідком ефективної роботи відділу із зовнішньоекономічних зв'язків підприємств є активне співробітництво з країнами ближнього і далекого зарубіжжя. Вивчення ринків збуту, визначення номенклатури виробів, що випускаються, встановлення цін та інші питання маркетингових досліджень мають своєю метою формування оптимальних умов реалізації товарної продукції із застосуванням міжнародних стратегій. Просування товару на вітчизняні та міжнародні ринки є невід'ємною частиною маркетингу підприємств. В Україні існує необхідність підвищення ефективності просування товарів на внутрішні та міжнародні ринки з урахуванням особливостей

розвитку останніх. Ефективне просування вимагає ретельного планування і бюджетування, врахування тенденцій розвитку стратегій просування продукції в Україні зокрема та в світі загалом. Для підвищення ефективності просування необхідні чітка стратегія та комплексне використання усіх елементів системи, що впливають на результат. [1]

Механізм просування товару на ринку передбачає використання цілого комплексу різних інструментів. Разом взяті вони формують так званий комплекс *promotion-mix*, він включає рекламу, стимулювання збуту, прямий маркетинг, особистий продаж PR та *publicity* тощо. Інструменти комплексу просування виконують різні функції. Їх можна назвати своєрідним голосом торгової марки та засобом налагодження діалогу і відносин зі споживачами. З їх допомогою можна розповісти або показати для кого і для чого призначений товар та як, де й коли його можна використовувати. Інструменти комплексу просування дають змогу виробникам асоціювати їхні товари з відомими людьми, місцями, подіями, брендами, враженнями тощо. З-поміж основних інструментів комплексу просування існують ще й синтетичні, до них належать виставки, ярмарки, спонсорство, брендинг та інтегровані маркетингові комунікації в місцях продажу тощо.

Стратегія просування продукту включає в себе просування товару по каналах дистриб'юторів до кінцевих споживачів. Маркетингова діяльність виробника (персональний продаж та стимулювання торгівельних посередників) направлена на посередників для стимулювання їх зусиль щодо просування товару до кінцевих споживачів.

Вдосконалювати процес просування товарів харчовими підприємствами на ринки збуту можливо при використанні нижченаведених маркетингових технологій:

1. Прямий збут (директ-маркетинг), за допомогою якого здійснюється персональна взаємодія виробника й кінцевого споживача для харчових підприємств, прийнятний при взаємодії з ринками підприємств, посередників, торговельних фірм.

2. Ефективна рекламна подача необхідна при скороченні попиту й при проведенні протекціоністської політики.

3. Стимулювання збуту прийнятно на фоні падіння попиту й при необхідності розширення асортиментів і диверсифікованості виробництва.

4. Паблік рілейшнз (встановлення суспільних зв'язків з місцевим населенням, інвесторами, державними установами, ЗМІ) необхідний для формування іміджу продукції харчового підприємства.

Для ефективного управління просуванням варто дотримуватися таких основних рекомендацій:

- аналіз можливих засобів просування (реклама, стимулювання збуту тощо);
 - інвестування у системи управління клієнтами. Необхідно в онлайні відслідковувати специфіку попиту та купівельну поведінку й, відповідно, орієнтуватися на неї;
 - генерування творчих ідей для просування;
 - проведення фінансового аналізу для кожного типу просування (необхідно передбачати ризики під час просування, обсяги продажів, точку беззбитковості та потенційну віддачу від інвестицій тощо);
 - чітке визначення клієнтам термінів початку та закінчення кампанії з просування;
 - встановлення конкретних маркетингових цілей підприємства;
 - розроблення маркетингової стратегії, основне призначення якої – взаємоузгодження маркетингових цілей фірми з її можливостями, вимогами споживачів, використання слабких позицій конкурентів та власних конкурентних переваг. Стратегія дає змогу: змінити реактивну поведінку фірми на проактивну; координувати основні сфери діяльності, націлюючи їх на задоволення потреб споживачів за максимізації прибутку; надання чіткого кількісного та якісного характеру діяльності фірми та можливості зосередитися на найперспективніших напрямках розвитку;
 - конкретизація повідомлення у просуванні. Потрібно сформувати чіткий і міцний зв'язок між ключовими повідомленнями та товаром. Велике значення мають оптимальне використання трьох елементів брендингу (назва товару, візуальне оформлення та позиціонування), високоякісні послуги фахівців із просування та попереднє тестування;
 - системне залучення всіх працівників до процесу просування;
 - накопичення й постійне аналізування інформації про клієнтів.
- Стратегія просування повинна включати п'ять основних елементів [2]:

1) цільову аудиторію. Необхідним є пошук осіб, які з потенційних споживачів перетворюються на постійних. Для цього потрібно аналізувати поведінку вже існуючих споживачів, що під час виявлення проблем, які вирішує товар, дасть можливість надалі зосередитися на найімовірніших потенційних клієнтах;

2) досяжні конкретні цілі. Підприємці, які описали досяжні вимірні цілі, досягають їх у десять разів швидше, ніж ті, хто ставив нечіткі, захмарні цілі;

3) значення, цінність. Товар чи послуга повинні нести значну цінність для клієнтів, а маркетологи – переконати споживачів у необхідності товару;

4) обмежений доступ. Психологи довели, що чим менша кількість товару є досяжною, тим більша кількість споживачів виявляють бажання купити його;

5) всеохоплююче просування.

Під час формування стратегії просування варто орієнтуватися на ключові світові тренди щодо маркетингових комунікацій, серед яких Д. Ньюман виділяє:

1. Слідування моделі поведінки покупця. Маркетологи повинні координувати діджитал- та офлайн- маркетинг, вести покупця від вибору товару до замовлення, оплати, доставки й подальшої комунікації.

2. Максимальна адресність рекламних звернень за допомогою використання онлайн-інструментів. Використання програм блокування реклами актуалізує оголошення, що органічно інтегруються з пошуковою системою чи контентом, цікавим для потенційного клієнта. Залучення завдяки соціальним проектам та інсайти покупців – дієвий спосіб просування великих брендів.

3. Використання 3D-відео для презентації та просування продукту внаслідок зростання популярності відеоконтенту. Особистий досвід, критичний для остаточного рішення про покупку, може бути отриманий не лише в офлайн магазині, а й в Інтернеті через тривимірне відео. Віртуальна реальність переходить із геймінгу до Інтернет-торгівлі.

4. Перетворення соцмереж на важливий канал просування.

5. Багатоканальний маркетинг. Як ритейлери, так і B2B-продавці повинні інтегрувати персональний кошик онлайн-покупця на сайті з різноманітними Інтернет-ресурсами і способами купівлі.

6. Масиви даних (Big Data) – велике джерело статистичних даних для маркетологів під час прийняття рішень.

7. Мобільний контент і його просування, додатки – неодмінна умова успіху ритейлерів уже зараз, а в майбутньому стане необхідним і для решти збутовиків.

8. Активний розвиток відеоконтенту усіх типів. Стрімінг у режимі реального часу – наступний етап у розвитку маркетингу.

9. Як і раніше, провідною є роль контенту, допоміжною – контексту. Усе більше гравців ринку шукають якісний органічний трафік, що актуалізує сторітеллінг, природний і релевантний контент.

10. Вирішальне значення збирання даних і аналізування результатів на всіх рівнях організації для оцінки повернення інвестицій і планування подальших дій.

Основні світові тренди у стимулюванні збуту такі [3]:

– дешеві промоційні продукти відходять у минуле (виробники намагаються поширювати корисні, високоякісні й, відповідно, найдорожчі промодпродукти як уособлення якості їхніх основних товарів);

– споживачам подобаються «дружні до навколишнього середовища» промодпродукти (так, 90% опитаних стверджують, що роблять усе можливе, щоб вести «дружній до середовища стиль життя», 42% склали набагато сприятливішу думку про рекламодавця, якщо промодпродукт (записники, ручки, сумки тощо) був у екостилі);

– упакування та презентування далі актуалізуються внаслідок активізації збуту через Інтернет (компанії й надалі прагнутимуть креативності у представленні товарів);

– технологічні промодпродукти мають значний вплив (так, 87% опитаних, отримавши промодпортативний акумулятор, виявили бажання користуватися ним через його корисність, а 60% виявили бажання співпрацювати з рекламодавцем, що надав його);

– промодпродукти стають важливим, добре продуманим елементом маркетингової стратегії.

За прогнозами дослідницької компанії Zenithmedia, глобальний ринок реклами в найближчі три роки буде рости в середньому на 4% на рік. Ріст рекламних витрат буде традиційно сконцентрований у мегаполісах: експерти вважають, що десять міст світу принесуть 11% зростання витрат (Нью-Йорк, Лондон, Лос-Анджелес, Джакарта, Токіо, Шанхай, Маніла, Пекін, Даллас і Х'юстон). Рекламні витрати у цих містах за підсумками 2019 р. зростуть до 69 млрд дол.

Розробкою стратегії просування продукції на зовнішні ринки займаються підприємства промисловості, оптової та роздрібної торгівлі, фірми, що спеціалізуються на побутовому обслуговуванні населення, туристичні та транспортні компанії, наукові установи та творчі організації, а також організації некомерційного характеру [4]. Виходячи на ринок, підприємство має потребу у ясного розумінні механізмів поведінки покупців та посередників, дій конкурентів, тому що завдяки такому розумінню народжується здатність до адаптації на зарубіжних ринках — застава подальшої ефективної діяльності на них. Основою для проведення підприємством таких заходів є спеціально розроблений комплекс міжнародного маркетингу.

Особливості стратегічного планування в різних формах міжнародного бізнесу. Виділяють чотири головні стратегії конкуренції на міжнародному ринку: міжнародна стратегія, мультиринкова стратегія, глобальна стратегія і транснаціональна стратегія. Доцільність використання кожної з них залежить від міри необхідності зменшувати витрати та реагувати на попит на місцевому ринку.

Міжнародна стратегія. Фірми, що дотримуються міжнародної стратегії, прагнуть створити цінність, переносячи на іноземні ринки свої цінні навички та продукти, яких місцеві конкуренти не мають. Більшість міжнародних фірм при створенні цінності на нових зарубіжних ринках використовували товарні пропозиції, розроблені вдома. Фірми прагнуть централізувати функції розробки продукту на базовому підприємстві. Вони також, як правило, пристосовують свої виробничі та маркетингові стратегії до місцевих умов, проте центральний офіс зберігає суворий контроль за маркетинговими стратегіями (компанії «McDonald's», «IBM», «Kellogg», «Procter&Gamble», «Microsoft»).

Міжнародна стратегія має сенс тоді, коли фірма володіє цінними базовими знаннями, яких бракує місцевим конкурентам на зарубіжних ринках, і коли фірма стикається з незначною потребою реагувати на умови місцевого ринку та зменшувати витрати. За деяких обставин міжнародна стратегія може давати значні прибутки. Через збільшення виробничих потужностей фірми, що дотримуються міжнародної стратегії, як правило, мають значні операційні витрати.

Мультиринкова стратегія. Фірми, які дотримуються мультиринкової стратегії, орієнтуються на максимальне пристосування до місцевих потреб: адаптують маркетингову стратегію до національних умов ринку, переносять виробництво та науково-дослідницьку діяльність на той національний ринок, де здійснюють бізнес. Відповідно, діяльність багатьох мультиринкових фірм високозатратна. Мультиринкова стратегія найбільше виправдовує себе за необхідності реагувати на місцеві особливості та незначної потреби у зменшенні витрат.

Глобальна стратегія фірми, що дотримуються глобальної стратегії, зосереджуються на нарощуванні прибутковості завдяки зменшенню витрат, яке дає ефект кривої досвіду. Вони дотримуються стратегії низьких затрат. Функції виробництва, маркетингу та науково-дослідницької діяльності фірм зосереджуються в кількох зручних місцях. Глобальні фірми не пристосовують своєї маркетингової стратегії до місцевих умов, використовують агресивний метод ціноутворення на світових ринках. Ця стратегія найдоцільніша за умови нагальної необхідності зменшення витрат за мінімальної потреби адаптування місцевого попиту, наприклад, у галузях товарів промислового призначення (використовують фірми «Intel», «Texas Instruments», «Motorola»).

Транснаціональна стратегія. Стратегія фірм, які прагнуть одночасно зменшення витрат та реагувати на особливості місцевого попиту — транснаціональна стратегія. Фірми, що дотримуються транснаціональної стратегії, намагаються одночасно зменшити витрати й домогтися диференціації продукту. На практиці такої стратегії дотримуватися важко, оскільки реагування на місцеві умови та зменшення витрат — взаємно протилежні дії. Реагування на місцеві особливості попиту збільшує витрати, а отже, суперечить необхідності їх скорочення. Транснаціональну стратегію використовують на ринках споживчих товарів (автомобілі, електронні вироби).

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики міжнародних стратегій в різних компаніях
Table 1 – Comparative characteristics of international strategies in different companies

Назва стратегії, приклад	Характерні ознаки	Позитивні риси	Негативні риси
Міжнародна стратегія («Мак-Дональдс», «Майкрософт», «Ай-Бі-Ем», «Проктер енд Гембл»)	Тиражування однієї і тієї ж продукції в різних країнах. Концентрація виробництва в країні походження. Розміщення виробництва і маркетингу в інших країнах	Відносно низькі витрати на виробництво завдяки передачі основних умінь і продуктів, що використовуються в країні	Відсутність адаптації до місцевих умов. Обмежені вигоди від масштабів виробництва і місцевих умов
Мультиринкова стратегія («Дженерал Моторс» та інші автомобільні компанії, аудиторські фірми)	Індивідуалізація продукції для різних ринків. Розміщення виробництва, маркетингу в багатьох різних країнах	Адаптація до місцевих умов	Обмежена передача знань і продуктів між країнами. Обмежені вигоди від масштабів виробництва і розташування
Глобальна стратегія («Інтел», «Моторола», «Тексас Інструмент»)	Централізоване виробництво і маркетинг розташовані у країнах з найменшими виробничими витратами	Вигоди від відповідної локалізації основних процесів. Результати від економії на масштабах	Відсутність адаптації до місцевих умов
Транснаціональна стратегія («Катерпілар Трактор», «Юнілевер»)	Одночасна економія на масштабах та передачі знань і продуктів між країнами	Вигоди від ефекту масштабів та адаптації до місцевих умов	Небезпека відсутності концентрації на витратах і місцевих ринках та прийняття міжнародної стратегії

Тож, існує безліч причин для розробки організацією міжнародного варіанту стратегічного розвитку. Виділено дві групи факторів, які визначають, чи буде для компанії привабливим міжнародний варіант розвитку бізнесу.

Чинники виштовхування. Вони породжуються недоліком можливостей для розвитку бізнесу на місцевому ринку у зв'язку з низькими цінами на продукцію або обмеженнями з боку уряду (наприклад, антимонопольне законодавство). Часто це є причиною звернення компанії до вивчення можливостей діяльності на міжнародних ринках.

Фактори втягування. Вони виникають при існуванні за кордоном кращих умов для розвитку бізнесу. Р. Луффман та інші проводять розмежування між первинним і вторинним мотивами, що викликають інтерес до міжнародної діяльності.

Первинні мотиви включають в себе орієнтовані на зарубіжний ринок вкладення, що ведуть до зниження витрат, а також вертикальні закордонні вкладення, спрямовані на зниження витрат на сировину або інші основні ресурси на вході. Рішення по іноземним інвестиціям рідко приймаються з однією метою – більш ймовірно це можуть бути змішані мотиви.

Вторинні мотиви можуть включати наступне: ситуацію з можливостями інвестування у своїй компанії, реакцію фірми на зовнішні умови середовища, такі як труднощі постачання ринку іншими способами.

При плануванні міжнародної діяльності на перших етапах компанія буде дуже уважно ставитися до ризику, пов'язаному з іноземними інвестиціями, а що стосується невеликих компаній, то для них потрібні серйозні стимули навіть для того, щоб лише почати розглядати можливість інтернаціоналізації власного бізнесу. Ці стимули можуть бути як внутрішніми, так і зовнішніми і зазвичай викликають дії, що включають заходи по збору інформації в іншій країні, ретельний облік усіх міжнародних чинників перед прийняттям рішення і чіткого визначення цілей діяльності. Таким чином, для розробки і реалізації міжнародної стратегії компанія повинна бути готова до зіткнення з труднощами і мати достатню кількість ресурсів, у тому числі й адміністративних, щоб їх подолати. Типовими труднощами міжнародних стратегій є наступні:

- можуть існувати проблеми у вирішенні того, якими і наскільки різними повинні бути продукти (послуги), щоб бути привабливими для різних закордонних ринків;
- завжди існує значна складність в управлінні переказом валюти та курсами обміну валют;
- можуть існувати в тій чи іншій мірі проблеми, пов'язані з прогнозом витрат і прибутковості, так як вони повинні ґрунтуватися на прогнозуванні руху курсів валют, а неправильне прогнозування може коштувати дуже дорого;
- компанія може піддаватися впливу різних культур, що може створити значні управлінські проблеми, особливо у випадках, якщо існує практика переходу керуючих з країни в країну;
- зазвичай є і структурні проблеми; при виборі міжнародних стратегій часто виникає питання, яку структуру краще взяти організації, що діє в міжнародній економічній середовищі;
- можливо, будуть виникати питання з ціноутворенням при внутрішньофірмовому обмін напівфабрикатами та іншими продуктами, виробленими в різних країнах, а також в таких областях, як вимірювання прибутковості або збитковості різних підрозділів;
- ймовірно, будуть існувати проблеми з податками: компанія буде шукати можливості вирішення проблем, пов'язаних з перекладними процедурами, щоб зменшити податки і показати максимальний прибуток там, де податки найнижчі;
- повинен також враховуватися аспект політичного ризику: політичний ризик пов'язаний з імовірністю того, що зарубіжні вклади підприємства будуть скуті політикою уряду країни-господаря.

Висновки. Отже, розробка міжнародної стратегії просування товару є важливим аспектом успішного ведення міжнародної торгівлі в сучасному світі. Механізм просування товару на ринку передбачає використання цілого комплексу різних інструментів. Разом взяті вони формують так званий комплекс *promotion-mix*, він включає рекламу, стимулювання збуту, прямий маркетинг, особистий продаж PR та *publicity* тощо.

Розробкою стратегії просування продукції на зовнішні ринки займаються підприємства промисловості, оптової та роздрібної торгівлі, фірми, що спеціалізуються на побутовому обслуговуванні населення, туристичні та транспортні компанії, наукові установи та творчі організації, а також організації некомерційного характеру.

Стратегія просування продукту включає в себе просування товару по каналах дистриб'юторів до кінцевих споживачів. Маркетингова діяльність виробника направлена на посередників для стимулювання їх зусиль щодо просування товару до кінцевих споживачів.

Виділяють чотири головні стратегії конкуренції на міжнародному ринку: міжнародна стратегія, мультиринкова стратегія, глобальна стратегія і транснаціональна стратегія. Доцільність використання кожної з них залежить від міри необхідності зменшувати витрати та реагувати на попит на місцевому ринку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. РОЗВИТОК СТРАТЕГІЇ ПРОСУВАННЯ ТОВАРІВ НА ЗОВНІШНІЙ РИНОК. І. М. Болотіна, М. В. Семенець. Національний університет харчових технологій. Видання "Ефективна економіка" – 2022.
2. Leung S. Five key elements for running a successful sales promotion. Sales, Sales Cloud, Marketing, Featured. URL: <http://surl.li/gixzm>
3. Houston C. 2016 Promotional Product Trends to Inspire Your Marketing. Available. URL: <http://surl.li/gixzr>

4. Армстронг Г., Котлер Ф. Маркетинг: заг. курс. 5-е вид. Харків: Вільямс, 2001. 712 с.
5. Дідківський М.І. Зовнішньоекономічна діяльність підприємства: Навч. Пос/ М.І. Дідківський – К.: Знання, 2006. – 462 с.

REFERENCES

1. ROZVYTOK STRATEGII PROSUVANNYA TOVARIV NA ZOZNISHNIJ RYNOK. I. M. Bolotina, M. V. Semenets. National University of Food Technologies. Publication: "Efektivna ekonomika" – 2022.
2. Leung S. Five key elements for running a successful sales promotion. Sales, Sales Cloud, Marketing, Featured. URL: <http://surl.li/gixzm>
3. Houston C. 2016 Promotional Product Trends to Inspire Your Marketing. Available. URL: <http://surl.li/gixzr>
4. Armstrong, G., Kotler, P. Marketing: zagalnyy kurs, 5-e vydannya . Kharkiv: Viliams, 2001. 712 pages.
5. Didkovsky M.I. Zovnishnyoeconomichna diyalnist pidpryyemstva : Textbook / M.I. Didkovsky – K: Znannia, 2006. – 462 pages.

РЕФЕРАТ

Левчук Н.М. Розробка міжнародної стратегії просування товару та особливості її планування в різних формах міжнародного бізнесу / Н.М. Левчук, Я.М. Марач // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

В статті розглянуті важливість та необхідність розробки міжнародної стратегії просування товару, її форми та види.

Об'єкт дослідження – стратегії просування товару.

Мета роботи – визначити міжнародні стратегії просування товару та особливості її планування у формах міжнародного бізнесу.

Методи дослідження – аналітичний та статистичний методи.

Завдання просування товару у всіх важливих для підприємства процесах і видах діяльності є неодмінною умовою його ефективного функціонування, визначальна роль в якому

належить саме розробці стратегії просування, тобто тій частині стратегії підприємства яка створює системність дій для реалізації продукції. Проаналізовані позитивні та негативні риси міжнародних стратегій. Налічені основні маркетингові технології. Визначені можливі труднощі реалізації стратегії. На основі більш поглибленого дослідження базисних науково-теоретичних засад запропоновано ряд заходів з підбору стратегії просування товару в сучасних економічних умовах в контексті максимального врахування можливих факторів і пов'язаних з ними ризиків щодо впливу внутрішнього і особливо зовнішнього середовища.

Результати статті можуть бути використані вітчизняними підприємствами, не залежно від галузі, до якої вони відносяться.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СТАРТЕГІЯ, МІЖНАРОДНА СТРАТЕГІЯ, ПРОСУВАННЯ ТОВАРУ, МАРКЕТИНГОВІ ТЕХНОЛОГІЇ, ФОРМУВАННЯ СТРАТЕГІЇ, ПЛАНУВАННЯ, ВИБІР СТРАТЕГІЇ, МЕХАНІЗМ ПРОСУВАННЯ ТОВАРУ, ОСОБЛИВОСТІ ПЛАНУВАННЯ.

ABSTRACT

Levchuk N.M., Marach Y.M. Development of an international product promotion strategy and features of its planning in various forms of international business. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The article discusses the importance and necessity of developing an international product promotion strategy, its forms and types.

The object of research is product promotion strategies.

The goal of the work is to determine international strategies for product promotion and the peculiarities of its planning in the forms of international business.

The research methods used are analytical and statistical methods.

The tasks of product promotion in all important processes and types of activities for the enterprise are an essential condition for its effective functioning, with a defining role in the development of the promotion strategy, i.e. the part of the enterprise's strategy that creates a systematic approach to product implementation. Positive and negative features of international strategies are analyzed, and the main marketing technologies are identified. Possible difficulties in implementing the strategy are determined. Based on a more in-depth study of the fundamental scientific and theoretical foundations, a series of measures for selecting a product promotion strategy in modern economic conditions are proposed, taking into account possible factors and associated risks related to the internal and external environment.

The results of the article can be used by domestic enterprises, regardless of the industry to which they belong.

KEYWORDS: STRATEGY, INTERNATIONAL STRATEGY, PRODUCT PROMOTION, MARKETING TECHNOLOGIES, STRATEGY FORMULATION, PLANNING, STRATEGY SELECTION, PRODUCT PROMOTION MECHANISM, PLANNING FEATURES.

АВТОРИ:

Левчук Наталія Миколаївна, кандидат економічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри економіки, e-mail: natalya.levchuk03@gmail.com, тел. +380507300101, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 313. orcid.org/0000-0003-1296-7182

Марач Ярослав Миколайович, Національний транспортний університет, магістр економіки, e-mail: yaroslavmarach368@gmail.com, тел. +380678694058, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1. orcid.org/0009-0008-4485-4397.

AUTHORS:

Levchuk Natalya M., Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of Economic, e-mail: natalya.levchuk03@gmail.com, tel. +380507300101, Ukraine, 01010, Kyiv, str. Omelyanovich-Pavlenka, 1, room 313, orcid.org/0000-0003-1296-7182

Marach Yaroslav M., National Transport University, Master of Economy, e-mail: yaroslavmarach368@gmail.com, tel. +380678694058, Ukraine, 01010, Kyiv, str. Omelyanovich-Pavlenka, 1. orcid.org/0009-0008-4485-4397.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

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

Гречан А.П., доктор економічних наук, професор НТУ.

REVIEWER:

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

Grechan A.P., Ph.D., Economics (Dr.), Professor NTU.

ВЗАЄМОЗАЛЕЖНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ДВОХ ГАЗОВИХ ПАЛИВ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ НОМІНАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Лісовал А.А., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, li-dvz@bigmir.net, orcid.org/0000-0001-6168-4010

INTERDEPENDENT REGULATION OF TWO GAS FUELS TO MAINTAIN THE NOMINAL POWER PLANT

Lisoval A.A., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, li-dvz@bigmir.net, orcid.org/0000-0001-6168-4010

Постановка проблеми

В економіках країн з усталеними темпами розвитку відповідно ступеню екологічного впливу на довкілля є місце таким видам 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» (Green Deal) маркування атомних і газових теплових електростанцій (ТЕС) у порівнянні з вимушеним тимчасовим дозволом на поновлення роботи в Євросоюзі (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).

Внесок малих електростанцій у виробництво електричної і теплової енергії поступово зростає [1]. Поширенням джерелом для вироблення енергії в таких когенераційних установках є дизель, а зараз конкуренцію йому складають газові двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ). В сучасних когенераційних установках на основі поршневих двигунів коефіцієнт використання теплоти від згорання палива може досягати 85...90 %, а економія палива може досягати 40 % у порівнянні з роздільним виробництвом аналогічної кількості електроенергії і теплової енергії [2].

Актуальним питанням для України є застосування мобільних енергетичних установок з генерацією електричної, теплової енергії, а влітку і холоду. Споживачами таких енергоустановок є агропромислові і житлово-комунальні комплекси, державна служба з надзвичайних ситуацій, оборонні підприємства/структури, індивідуальні господарства/бізнеси та інші. На установках з потужністю 3...300 кВт найбільш часто у якості приводу електрогенератора застосовують автотракторні ДВЗ, які за необхідності конвертують для роботи на газових паливах, обладнують когенераційним контуром і електрогенератором, або ще абсорбційним термічним трансформатором при полігенерації [3].

В когенераційних установках можна використовувати альтернативні газові палива. До їх числа в Україні відносять біогаз і шахтний газ. В газових двигунах можливо застосовувати суміші природного газу (метану) і біогазу. Використання біогазу як моторного палива відомо давно. Виробництво біогазу здійснюється в результаті процесу метанового бродіння відходів сільського господарства, біологічної діяльності людини, тварин в спеціальних хімічних реакторах або в результаті розкладання органічних відходів на смітєвих полігонах. Залежно від природи сировини склад біогазу різний і відповідно калорійність палива буде теж різною. Прийнято вважати, що біогаз складається з таких основних компонентів: метану (50...80 %), вуглекислого газу (25...50 %), водню (1...5 %) і азоту (0,3...3 %) [4].

Застосування біогазу у якості моторного палива, безумовно, розширює асортимент газових палив, однак, використання низькокалорійних газових палив можливо тільки при певній концентрації в ньому горючої (метанової) складової або примусовому збільшенні кількості горючих компонентів. Забезпечувати останні умови повинна автоматична система регулювання подачі газового палива.

Аналіз попередніх публікацій, визначення мети і завдання дослідження

На кафедрі двигунів і теплотехніки НТУ було розроблено методику розрахунку когенераційного обладнання на основі теорії теплового балансу поршневого ДВЗ [5]. Розрахунок

теплого балансу приводного поршневого 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 %. У співпраці з Інститутом газу НАН України (ІГ НАНУ) накопичено досвід зі створення когенераційних установок і газових двигунів, систем автоматики для їх роботи.

У лабораторії ХНАДУ автотракторний дизель 6Ч13/14 був конвертований в газовий двигун. Для роботи на природному газі ступінь стискання зменшено до 11,8 одиниць, розроблена система запалювання з більш інтенсивним іскроутворенням. Стендові випробування підтвердили стійку роботу газового ДВЗ на збіднених сумішах при $\alpha = 1,4 \dots 1,6$. Запропоновано систему подачі газу з електронним управлінням, апробовано методику визначення витрати газового палива [6].

В НТУ «ХПІ» проведені комплексні теоретичні та експериментальні дослідження із застосування низькокалорійного шахтного газу в газових ДВЗ, конвертованих з транспортних дизелів моделі Д100. Автори робіт розглядали можливість використання таких конвертованих двигунів у якості приводу електростанцій потужністю 1100...2500 кВт [7]. Основною особливістю конвертації є застосування форкамерно-факельного процесу згорання газового палива. Для забезпечення номінальної потужності авторами були запропоновані конструктивні заходи, які збільшують циклову подачу низькокалорійного палива.

Найбільш близькими до тематики досліджень є результати випробувань добавки синтез-газу до бензину і етанолу, проведені в НУК ім. Макарова [8, 9]. Теоретичні та експериментальні дослідження проведені для широкого діапазону складу суміші $\alpha = 1,0 \dots 2,2$ при різних кількісних добавках синтез-газу. Проведено дослідження робочого процесу, токсичності викидів відпрацьованих газів. Стендові випробування були виконані на двигунах 2Ч7,2/6 і 4Ч10,16/9,1 з іскровим запалюванням. Авторами встановлено, що до основного палива можна додавати до 65 % синтез-газу, властивості якого ближчі до нафтового газу (пропан-бутану).

У ППМаш ім. А.М. Підгорного НАНУ провели теоретичні дослідження із застосування біогазу як добавки до природного газу в поршневих ДВЗ [10]. Автори роботи за дослідженнями робочого процесу газового ДВЗ прогнозують не тільки енергетичні, паливно-економічні показники, але і токсичність за компонентам відпрацьованих газів транспортного дизеля конвертованого в газовий ДВЗ при різному процентному співвідношенні метан-біогаз.

Дослідники в роботі [1] моделювали біогаз змішуючи природний газ і вуглекислий газ. При збільшенні негорючої частки CO_2 в модельному газі зменшуються концентрації викидів NO_x у відпрацьованих газах. При збільшенні частки CO_2 в модельному газі до 30 % і далі, збільшуються концентрації викидів CO . Подальше зростання CO_2 в модельному газі до 40 % призводить до збільшення викидів вуглеводнів у відпрацьованих газах ДВЗ.

Мета роботи – узагальнити результати проведених досліджень із застосуванням модельного газу в газовому ДВЗ, що працює на привід електростанції, і розробити алгоритм системи взаємозалежного регулювання подачею суміші біогазу і природного газу в ДВЗ без втрат номінальної потужності електростанції.

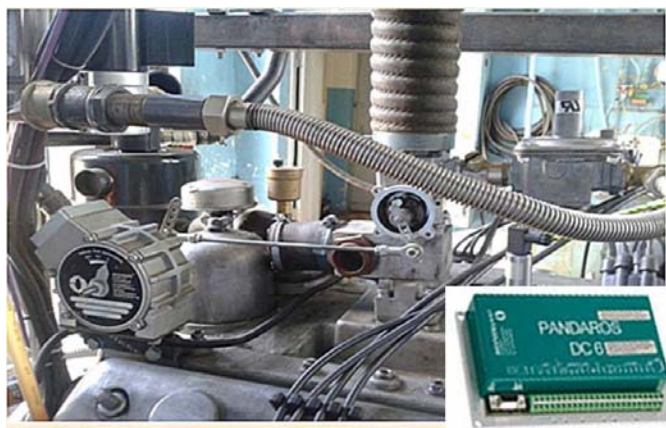
Система дозування газового палива та методика експериментальних досліджень

Для вирішення поставлених завдань в лабораторії ІГ НАНУ були проведені спільні дослідження на газоелектричній установці з номінальною потужністю 30 кВт. Базовий бензиновий двигун 8Ч10/8,8 був конвертований в суто газовий двигун (ступінь стискання $\epsilon = 8,5$).

Загальний вид розробленої системи дозування газового палива показано на рис. 1.

Регулювання і дозування газоповітряної суміші здійснюється в спеціальному газовому змішувачі за допомогою дросельної заслінки. Привід дросельної заслінки газового змішувача забезпечує електронний виконавчий орган StG 2010-SV (крайній лівий вузол на рис.1) з мікропроцесорним управлінням від блоку Pandaros фірми HEINZMANN.

У газовий змішувач надходить після очищення атмосферне повітря і газове паливо з редуктора (клапана) нульового тиску (крайній правий вузол на рис.1, б). Редуктор нульового тиску стабілізує тиск газового палива на вході в газовий змішувач. Після деякого доопрацювання конструкції в камері нульового редуктора відбувалося змішування природного і вуглекислого газів, тобто формування модельного газу.



a)



б)

Рисунок 1 – Фото системи подачі газового палива:

а) загальний вид системи дозування з мікропроцесорним блоком управління;

б) привід дросельної заслінки газового змішувача

Figure 1 – Photo of the gas fuel supply system:

a) general view of the dosing system with a microprocessor control unit;

b) throttle drive of the gas mixer

Особливістю мікропроцесорного блоку Pandaros є послідовна дія пропорційного регулятора частоти обертання колінчастого вала газового ДВЗ і ПД-регулятора виконавчого органу, кінематично зв'язаного з дросельною заслінкою. Виконавчий орган обладнаний зворотним зв'язком за положенням вихідного поворотного вала, який з'єднаний з дросельною заслінкою. Крім того, виконавчий орган має обмеження за величиною максимального струму управління.

Пропорційна складова регулятора була налаштована на підтримку частоти обертання колінчастого вала (приводу електрогенератора) 1500 хв^{-1} зі ступенем нерівномірності 0,3 %. Переміщення органа керування паливоподачі від холостого ходу до номінального положення при «миттєвому» накиданні 100 % зовнішнього навантаження відбувалось за 1 с. Налаштування параметрів ПД-регулятора здійснювали на метані в режимі холостого ходу з подальшою перевіркою в динаміці при «миттєвому» скиданні-накиданні 100 % навантаження. Навантаження задавалось реостатами. Критеріями налаштування були стійкість роботи ДВЗ, мінімальна тривалість перехідного процесу з дотриманням умови – не більше одного перерегулювання. При роботі на модельному газі налаштування регулятора не змінювалися.

Для фізичного моделювання добавок біогазу до природного газу в модельному газі збільшували об'ємну частку вуглекислого газу до 30 % і більше в залежності від зовнішнього навантаження. Розрахунковим шляхом визначили аналогічне співвідношення стисненого природного газу (СПГ) і добавки біогазу. Для розрахунку прийняли, що в СПГ міститься 90...95 % метану, а в біогазі 60 % метану і 40 % вуглекислого газу.

Результати досліджень

Розроблена мікропроцесорна система дозування газового палива забезпечує регулювання частоти обертання колінчастого вала і відповідно вала електрогенератора із заданим ступенем нерівномірності. За роботи на природному газі склад газоповітряної суміші може підтримуватися в межах 1,0...1,55 коефіцієнта надміру повітря. За роботи на модельному газі розроблена система автоматично підтримувала коефіцієнт надміру повітря газоповітряної суміші в межах 1,0...1,33. Мікропроцесорне дозування кількості газоповітряної суміші здійснюється автоматично дросельною заслінкою, яка встановлена у газовому змішувачі. Система дозування відноситься, за автомобільною класифікацією, до третього покоління систем живлення газових ДВЗ.

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.

У табл. 1 наведено результати стендових випробувань застосування модельного газу на газовому двигуні 8Ч10/8,8, що працює на привід електрогенератора. Розрахункові величини в табл. 1 можна розглядати як рекомендації щодо можливих добавок біогазу до СПГ в газовому поршневому ДВЗ електростанції малої потужності.

Таблиця 1 – Рекомендації щодо добавки біогазу в газовий ДВЗ

Table 1 – Recommendations for adding biogas to a gas internal combustion engine

Зовнішнє навантаження, %	Співвідношення СПГ / Біогаз	Вміст метану в суміші, %
0...10	15 / 85	63...66
10...40	25 / 75	66...72
40...70	40 / 60	72...78
70...90	65 / 35	78...83
90...100	80 / 20	83...90
100...110	100 / 0	90...95

Результати досліджень є основою для створення алгоритму взаємозалежного регулювання подачею суміші біогазу і природного газу в залежності від зміни навантаження.

Було проведено газовий аналіз відпрацьованих газів за різних навантажень. Газовий аналіз проводили при заборі проб відпрацьованих газів до каталітичного нейтралізатора і після нього. Такі дослідження виконані і при роботі газового ДВЗ на СПГ, і при роботі на модельному газі. Концентрації шкідливих речовин визначалися на японському комплексному газоаналізаторі МЕХА. Попередньо проби відпрацьованих газів були відібрані з спеціальні термічні мішки.

Для підтвердження правильності настройки газового обладнання вибрано три експлуатаційних режиму електростанції: холостий хід, 50 % навантаження, номінальний режим.

Значення концентрацій СО у відпрацьованих газах були дуже маленькі, а значення СО₂ змінювалися при налаштуванні на незначну величину. Встановлено, що найбільш інформативними і доступними для застосування в умовах експлуатації є значення концентрацій вуглеводнів та залишкового кисню у відпрацьованих газах, визначені до каталітичного нейтралізатора.

Рекомендовані значення концентрацій вуглеводнів і О₂ для перевірки налаштувань газової апаратури за роботи на добавках біогазу до СПГ наведено в табл. 2 і 3.

Таблиця 2 – Вуглеводнів у відпрацьованих газах ДВЗ за роботи на суміші біогазу та СПГ

Table 2 – Hydrocarbons in exhaust gases of internal combustion engines for biogas and LNG mixtures

Режим роботи електростанції	Вуглеводні, млн ⁻¹	
	за гексаном	за метаном
холостий хід	до 2400	до 1500
50 % навантаження	до 1800	до 1400
номінальний режим	до 2400	до 2000

Наведені в табл. 3 значення викидів NO_x теж можна використовувати для контролю настройки газової апаратури, але для цього буде потрібно відповідний газоаналізатор для визначення концентрацій NO_x. Наведені значення NO_x підтверджують висновок авторів роботи [1], що зі збільшенням добавки СО₂ в модельному газі концентрація NO_x у відпрацьованих газах зменшується.

Висновки

Стенові дослідження газового двигуна на модельному газі підтвердили можливість застосування в поршневих ДВЗ з іскровим запалюванням біогазу з вмістом 60 % метану як добавки до природного газу. Зі зменшенням навантаження частка біогазу може збільшуватися і заміщати до 85 % природного газу.

Таблиця 3 – Концентрації O₂ і NO_x у відпрацьованих газах ДВЗ за роботи на суміші біогазу та СПГ

Table 3 – Concentrations of O₂ and NO_x in the exhaust gases of internal combustion engines when running on a mixture of biogas and LNG

Режим роботи електростанції	O ₂ , %	NO _x , млн ⁻¹
холостий хід	до 4,5	до 15
50 % навантаження	до 3,5	до 450
номінальний режим	до 3,0	до 1000

За роботи на суміші біогазу та СПГ визначено значення концентрацій вуглеводнів та залишкового кисню у відпрацьованих газах для контролю налаштувань газового обладнання ДВЗ в умовах експлуатації. Для електростанцій вибрано три режими перевірки: холостий хід, 50 % навантаження, номінальний режим. Відповідно алгоритм взаємозалежного регулювання повинен мати мінімум три лінійні ділянки.

Узагальнені результати дослідження застосування модельного газу в ДВЗ дозволяють продовжити роботи з удосконалення автоматичної системи подачі сумішевого газового палива. 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. Клименко В.Н., Мазур А.И., Сабашук П.П. Когенерационные системы с тепловыми двигателями. Справочное пособие. Часть 1. Общие вопросы когенерационных технологий – К.: ИПЦ АЛКОН НАН Украины. – 2008. – 559 с.
2. Разуваев А. В. Целесообразность применения систем утилизации тепла ДВС // Турбины и дизели. – 2010. – №. 1. – С. 48-50.
3. Вербовський В.С., Грицук І.В., Адров Д.С., Краснокутська З.І. Особливості предпускового прогріву стаціонарного газового двигуна з використанням теплового акумулятора з фазовим переходом // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2014. – №2. – С. 85 – 90.
4. Девянин С.Н., Чумаков В.Л., Марков В.А. Биогаз – альтернативное топливо для дизелей // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 2(26). – С. 68 – 73.
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. Врублевский А.Н., Дзюбенко А.А., Липинский, Кузьменко А.П., Подляшук С.О. Определение цикловой подачи газового топлива с электронным управлением топливоподачи // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2014. – №2. – С. 33 – 37.
7. Марченко А.П., Осетров О.О., Кравченко С.С. Забезпечення номінальної потужності стаціонарного газового двигуна при використанні низькокалорійних газових палив // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2015. – №1. – С. 15 – 33.
8. Тимошевский Б.Г., Ткач М.Р., Познанский А.С., Митрофанов А.С., Проскурин А.Ю. Характеристики процесса сгорания двигателя 2Ч7,2/6 с добавками до 65 % синтез-газа к бензину // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2015. – №1. – С. 33 – 37.
9. Ткач М.Р., Тимошевський Б.Г., Митрофанов О.С., Познанський А.С., Проскурін А.Ю. Підвищення ефективності ДВЗ малотоннажних суден застосуванням добавок синтез-газу // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2018. – №2. – С. 3 – 6. DOI: 10.20998/0419-8719.2018.2.01.
10. Бганцев В.М., Левтеров А.М., Гладкова Н.Ю. Розрахункове визначення впливу складу біогазу на характеристики транспортного двигуна // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2018. – №1. – С. 7 – 14. DOI: 10.20998/0419-8719.2018.1.02.

REFERENCES

1. Klimenko V.N., Mazur A.I., Sabashuk P.P. (2008), "Kogeneratsionnyye sistemy s teplovymi dvigatelyami. Spravochnoye posobiye. Chast' 1. Obshchiye voprosy kogeneratsionnykh tekhnologiy", "IPTS ALKON NAN Ukrainy", Kiev, 559 p. [in Russian]
2. Razuvaev A.V. (2010), "Tselesoobraznost' primeneniya sistem utilizatsii tepla DVS", Turbines and diesel engines. No.1, pp.48-50. [in Russian]
3. Verbovskiy V.S., Gritsuk I.V., Adrov D.S., Krasnokutskaya Z.I. (2014), "Osoblyvosti predpuskovogo prohrivu statsionarnoho hazovoho dvyhuna z vykorystannyam teplovoho akumul'yatora z fazovym perekhodom", Internal combustion engines. No.2, pp.85-90. [in Ukrainian]
4. Devyanin S.N., Chumakov V.L., Markov V.A. (2012), "Biogaz – al'ternativnoye toplivo dlya dizeley", Transport on alternative fuel. No.2(26), pp.68-73. [in Russian]
5. Dolganov K.Ye., Lisoval A.A., Pyatnychko O.I., Mayfet Yu.P. (2002), "Systema zhyvlennya dlya pereobladnannya dyzelya v hazovyy dvyhun", Bulletin of NTU-TAU. Vol. 7, pp.295-299. [in Ukrainian]
6. Vrublevsky A.N., Dzyubenko A.A., Lipinsky M.S., Kuzmenko A.P., Podlyashchuk S.O. (2014), "Osoblyvosti predpuskovogo prohrivu statsionarnoho hazovoho dvyhuna z vykorystannyam teplovoho akumul'yatora z fazovym perekhodom", Internal combustion engines. No.2, pp.33-37. [in Ukrainian]
7. Marchenko A.P., Osetrov O.O., Kravchenko S.S. (2015), "Zabezpechennya nominal'noyi potuzhnosti statsionarnoho hazovoho dvyhuna pry vykorystanni nyz'kokaloriynykh hazovykh palyv", Internal combustion engines. No.1, pp.15-33. [in Ukrainian]
8. Timoshevsky B.G., Tkach M.R., Poznansky A.S., Mitrofanov A.S., Proskurin A.Yu. (2015), "Characteristics of the combustion process of a 2CH7.2/6 engine with additives up to 65 % synthesis gas to gasoline", ["Kharakteristiki protsessa sgoraniya dvigatelya 2CH7,2/6 s dobavkami do 65 % sintez-gaza k benzynu"], Internal combustion engines. No.1, pp.33-37. [in Russian]
9. Tkach M.R., Timoshevsky B.G., Mitrofanov A.S., Poznansky A.S., Proskurin A.Yu. (2018), "Pidvyshchennya efektyvnosti DVZ malotonnazhnykh suden zastosovannyam dobavok syntez-hazu", Internal combustion engines. No.2, pp.3-6. DOI: 10.20998/0419-87192018.2.01. [in Ukrainian]
10. Bgantsev V.M., Levterov A.M., Gladkova N.Yu. (2018), "Rozrakhunkove vyznachennya vplyvu skladu biohazu na kharakterystyky transportnoho dvyhuna", Internal combustion engines. No.1, pp.7-14. DOI: 10.20998/0419-87192018.1.02. [in Ukrainian]

РЕФЕРАТ

Лісовал А.А. Взаємозалежне регулювання двох газових палив для збереження номінальної потужності електростанції / А.А. Лісовал // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

Виконано аналіз наукових робіт у напрямі створення в Україні газових ДВЗ, які працюють на природному газі, біогазі або подібних низькокалорійних паливах. Мета роботи – узагальнити результати проведених досліджень із застосуванням модельного газу в газовому ДВЗ, що працює на привід електростанції, і розробити алгоритм системи взаємозалежного регулювання подачею суміші біогазу і природного газу в ДВЗ без втрат номінальної потужності електростанції. Експериментальні дослідження провели за допомогою модельного газу – суміш природного і вуглекислого газів. У статті наведені рекомендації з налаштування системи живлення і автоматичного регулювання газового двигуна, що працює на суміші природного газу (метану) і біогазу. Для вирішення поставлених завдань були проведені дослідження на газоелектричній установці з номінальною потужністю 30 кВт. Спочатку установка була оснащена 8-ми циліндровим бензиновим двигуном з іскровим запалюванням і електрогенератором. Базовий ДВЗ був конвертований в суто газовий зі ступенем стиснення 8,5. Для фізичного моделювання добавок біогазу до природного газу в модельному газі збільшували об'ємну частку вуглекислого газу до 30 % в залежності від зовнішнього навантаження. Розрахунковим шляхом визначили аналогічне співвідношення стисненого природного газу (СПГ) і добавки біогазу. Для розрахунку прийняли, що в СПГ міститься 90 ... 95 % метану, а в біогазі 60 % метану і 40 % вуглекислого газу. Підтверджено можливість застосування в поршневих ДВЗ з іскровим запалюванням біогазу з вмістом 60 % метану як добавки до природного газу. Встановлено, що зі зменшенням навантаження частка біогазу може збільшуватися і замінювати до 85 % природного газу. За роботи на добавках біогазу визначені значення концентрацій вуглеводнів та залишкового кисню у відпрацьованих газах для контролю настройки газового обладнання ДВЗ. В

умовах експлуатації для електростанції вибрано три режими перевірки: холостий хід, 50 % навантаження, номінальний режим. Для сумішевого палива розроблено алгоритм взаємозалежного регулювання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ, ГАЗОВИЙ ПОРШНЕВИЙ ДВИГУН, МЕТАН, БІОГАЗ, РЕГУЛЮВАННЯ СКЛАДУ ГАЗОВОГО ПАЛИВА.

ABSTRACT

Lisoval A.A. Interdependent regulation of two gas fuels to maintain the nominal power plant. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The article analyses the scientific works of recent years in the field of development of gas internal combustion engines in Ukraine, which run on natural gas, biogas or low-calorific fuels. The aim of the study is to summarise the results of research conducted using model gas in a gas internal combustion engine (ICE) used to drive a power plant and to develop an algorithm for an interdependent control system for the supply of biogas and natural gas to the ICE without losing the rated power of the power plant. Experimental studies were conducted using a model gas – a mixture of natural and carbon dioxide. The article provides recommendations on setting up the power system and automatic regulation of a gas engine running on a mixture of natural gas (methane) and biogas. To solve the tasks, a gas-electric installation with a rated power of 30 kW was tested. Initially, the installation was equipped with an 8-cylinder gasoline engine with spark ignition and an electric generator. The base ICE was converted to purely gas with a compression ratio of 8.5. In the physical modeling of biogas to natural gas additives in the model gas, the volume fraction of carbon dioxide increased to 30 % with a decrease in the load. By calculation, we determined a similar ratio of compressed natural gas and biogas additives. For the calculation, it assumed that natural gas contains 90...95 % methane, and biogas 60 % methane and 40% carbon dioxide. The possibility of using biogas with 60 % methane as an additive to natural gas in piston ICEs with spark ignition has been confirmed. It was found that with a decrease in load, the biogas fraction increase and replace up to 85 % of natural gas. When working on biogas additives, the values of the concentrations of hydrocarbons and residual oxygen in the exhaust gases were determined to control the setting of the gas equipment of the internal combustion engine. Under operating conditions, three test modes selected for the power plant: idle, 50 % load, rated mode. An interdependent control algorithm has been developed for mixed fuels.

KEY WORDS: INTERNAL COMBUSTION ENGINE, GAS PISTON ENGINE, METHANE, BIOGAS, GAS COMPOSITION REGULATION.

АВТОРИ:

Лісовал Анатолій Анатолійович, доктор техн. наук, професор, професор кафедри двигунів і теплотехніки, Національний транспортний університет, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. 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)

AUTHOR:

Lisoval Anatolii 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, M. Omeliyanovicha-Pavlenko St. 1, of. 303a, [https:// orcid.org /0000-0001-6168-4010](https://orcid.org/0000-0001-6168-4010)

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Клименко Олексій Андрійович, доктор технічних наук, заступник директора з наукової роботи, ДП «ДержтрансНДІпроект», Київ, Україна.

Сахно Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри автомобілів, Київ, Україна.

REVIEWER:

Klymenko Olexsiy A., Doctor of Technical Science, Deputy Director for scientific work, SE "DerzhtransNDIproekt, Kyiv, Ukraine.

Sakhno Volodymyr P., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Head of the Automobile department, Kyiv, Ukraine.

ФАЗОВІ ПЛАСТИНКИ – ЗАТРИМУВАЧІ ФАЗИ

Малиш М.І., кандидат фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, M_Malysh@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4532-0764

Куліш М.Р., доктор фізико-математичних наук, Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова, НАН України, Київ, Україна, n_kulish@yahoo.com, orcid.org/0000-0002-4365-8174

PHASE PLATES – RETAINING PHASES

Malysh M.I., PhD in Physical and Mathematical Science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, M_Malysh@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4532-0764

Kulish N.R., Doctor of Physics and Mathematics, V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, n_kulish@yahoo.com, orcid.org/0000-0002-4365-8174

Вступ. Фазова (хвильова) пластинка – оптичний елемент, що змінює поляризацію електромагнітної хвилі. Найбільшу популярність мають півхвильова пластинка, що змінює орієнтацію лінійної поляризації та чвертьхвильова пластинка, яка змінює лінійну поляризацію на кругову або навпаки. Точний контроль поляризації надзвичайно важливий у таких галузях як сонячна поляриметрия, оптичний зв'язок, візуалізація біомедичних зображень, ідентифікація військових мішеней, хімічний аналіз, фільтрація довжин хвиль [1]. Такий контроль можна здійснювати за допомогою чвертьхвильових та півхвильових фазових пластинок. Зазвичай фазові пластинки використовують для аналізу чи керування поляризацією світла у відносно вузькій спектральній області. Наприклад, чвертьхвильові фазові пластинки використовуються в оптичних ізоляторах, електрооптичних модуляторах, інтерферометрах, еліпсометрах, в системах обробки зображень [2]. Дуже тонкі фазові пластинки використовуються в системах оптичної телекомунікації для зчитування та запису інформації на цифрові відеодиски. Вони є ідеальними для використання як компоненти в системах мультиплексування по довжині хвилі, як змінні аттенюатори, циркулятори, аналізатори [2] та як компоненти контролерів поляризації [3].

Мета роботи. Виробники випускають велике розмаїття фазових пластин. Для полегшення вибору конкретного типу пристрою для керування поляризацією світла потрібно знати не лише теорію його роботи, а й експлуатаційні характеристики (ширину спектральної області роботи, робочу температуру, кут падіння світла, поле зору та інші) і їх залежність від вибору матеріалу та допусків при їх виготовленні. Нижче розглянуто принципи роботи фазових пластинок, виконано порівняння їх властивостей, коротко обговорено можливості їх використання в різних галузях науки та техніки.

Матеріали та методи. Фазові пластинки виготовляються з оптично досконалих полімерних плівок (3МРР2500TM поліестеру [4], поліетелентетрафталату [4], поліметилметакрилату [5]) та одновісних кристалів (найчастіше з кварцу, фториду магнію, сірчаного кадмію). Полімерні фазові пластинки рекомендується використовувати для керування поляризацією світла в діапазоні від 360 нм до 1400 нм [5,6]. Густина енергії імпульсів світла тривалістю 10 нс видимого діапазону повинна бути <300 мДж/см², а близького інфрачервоного діапазону менша за 500 мДж/см² [7]. Діаметр полімерних фазових пластинок може змінюватися від 5,0 мм до 380 мм [8]. З кристалічного кварцу виготовляються фазові пластинки на діапазон спектру (193-2500) нм; з фториду магнію (MgF₂) – на діапазон (400-6000) нм; з сірчаного кадмію – на діапазон (500-14000) нм. Технічно фазові пластинки виготовляють у вигляді одиночних пластин нульового та високого порядку та ахроматичних пластин.

Результати та обговорення. **Фазові пластинки.** Фазовою або хвильовою називається плоско паралельна пластинка, вирізана з одновісного кристала таким чином, щоб його оптична вісь лежала в площині її вхідної поверхні. Якщо на пластинку падає лінійно поляризований потік світла з напруженістю електричного поля E_o і якщо азимут поляризації (кут між вектором E_o та оптичною віссю кристала С) цього потоку світла $\varphi \neq m\pi/2$ ($m=1, 2, 3, \dots$), то в кристалі розповсюджуються дві взаємно перпендикулярні плоскополяризовані хвилі (звичайна та незвичайна). Напруженість ($E_{\perp}$, $E_{\parallel}$) електричного поля в цих компонентах така:

$$E_{\perp} = E_o \cdot \cos \varphi \cdot \sin(\omega \cdot t); \quad E_{\square} = E_o \cdot \sin \varphi \cdot \sin(\omega \cdot t - \delta), \quad (1)$$

де ω – циклічна частота, t – час. Різниця фаз δ між компонентами виникає із-за різної швидкості їх розповсюдження. Для фазової пластинки товщини d

$$\delta = \frac{2\pi(n_e - n_o)d}{\lambda}, \quad (2)$$

де λ – довжина хвилі, n_o , n_e – показники заломлення звичайного та незвичайного променів. Якщо при проходженні лінійно поляризованого світла крізь фазову пластинку $\delta = \pi/2$, то така пластинка називається чвертьхвильовою. Напруженість електричного поля в компонентах світла, що виходить з неї, така

$$E_{\perp} = E_o \cdot \cos \varphi \cdot \sin(\omega \cdot t); \quad E_{\square} = E_o \cdot \sin(\varphi) \cdot \cos(\omega \cdot t), \quad (3)$$

де ω – циклічна частота, t – час.

Формула (3) є рівнянням еліпса у параметричній формі. Згідно формули (3), ступінь еліптичності визначається лише азимутом поляризації φ . Його можна змінювати шляхом обертання чвертьхвильової пластинки. При цьому відбувається поступовий перехід світла від лінійно поляризованого до поляризованого по колу або навпаки (рис. 1).

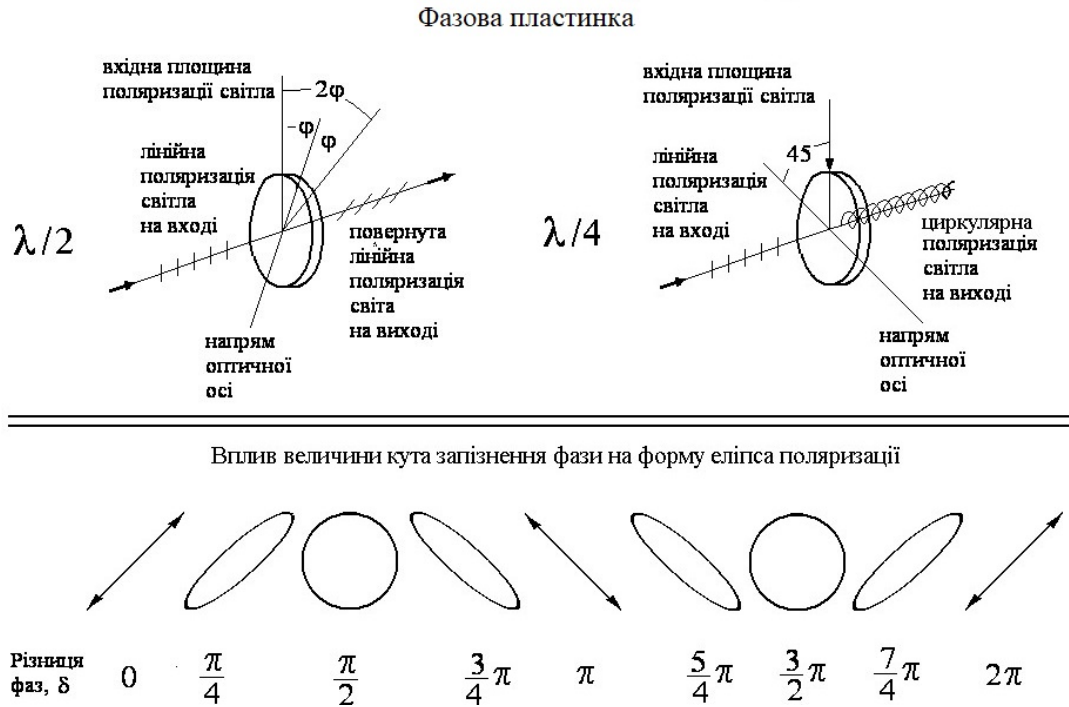


Рисунок 1 – Ілюстрація впливу фазових пластинок на стан поляризації світла
Figure 1 – Illustration of the influence of phase plates on the state of light polarization

Фазова пластинка, в якій реалізується значення $\delta = \pi$, називається півхвильовою пластинкою. Для неї напруженості компонент поблизу вихідної поверхні будуть рівними

$$E_{\perp} = E_o \cdot \cos \varphi \cdot \sin(\omega \cdot t); \quad E_{\square} = E_o \cdot \sin \varphi \cdot \sin(\omega \cdot t). \quad (4)$$

Згідно формули (4), півхвильова пластинка не змінює амплітуди світла. Якщо на її вході азимут поляризації рівний $-\varphi$, то на виході з неї вектор E повернеться на кут $+\varphi$. Отже, обертання півхвильової пластинки на кут φ приводить до повороту площини поляризації лінійно поляризованого світла на кут 2φ (рис. 1).

Фазові пластинки нульового порядку. Товщина d чверть- ($\delta = \pi/2$) та півхвильової ($\delta = \pi$) фазової пластинки нульового порядку відповідно дорівнює

$$d = \frac{\lambda}{4(n_e - n_o)}, \quad d = \frac{\lambda}{2(n_e - n_o)}. \quad (5)$$

Для $\lambda = 500$ нм товщина чверть- та півхвильової кварцової пластинки відповідно дорівнює $d = 13,7$ мкм та $d = 27,4$ мкм. Пластинки такої товщини надзвичайно крихкі і їх дуже важко виготовляти. Ці недоліки відсутні у фазових пластинках, в яких на скляну пластинку товщиною в кілька міліметрів наклеєна або посаджена на оптичний контакт пластинка з одновісного кристала, товщина якої розрахована за формулою (5). Ще одним типом фазових пластинок нульового порядку є набір з двох пластинок товщиною приблизно рівною 2 мм, вирізаних з одновісного кристалу. Вони збираються таким чином, щоб їх оптичні осі перехрещувалися. У результаті цього дія першої пластинки анулюється дією другої за винятком залишкової дії різниці товщини між ними. Ця різниця така, що дозволяє здійснити запізнення фази на $\pi/2$ або π . Розрізняють фазові пластинки, складові частини яких склеєні, посаджені на оптичний контакт або між ними існує повітряний прошарок. Склеєні фазові пластинки пошкоджуються світлом лазера неперервної дії, інтенсивність якого дорівнює 1 Вт/см^2 [9]. Пластинки з оптичним контактом між складовими частинами мають поріг пошкодження рівний $(100-200) \text{ МВт/см}^2$ [7, 9], а пластинки з повітряним прошарком – 500 МВт/см^2 [7] при опроміненні їх світлом лазера, що генерує імпульси тривалістю 20 нс. Технічні параметри фазових пластинок нульового порядку наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Типові параметри чверть- та півхвильових фазових пластинок
Table 1 – Typical parameters of quarter- and half-wave phase plates

Тип пластинки	Високого порядку	Нульового порядку	Ахроматична
Матеріал	Кристалічний кварц [9]	Кристалічний кварц мм [10]	Кристалічний кварц та MgF_2 [10]
Товщина	>1 мм [9]	0,2–0,5 мм [10]	>1 мм [9]
Допуск на розмір	+0,0; -0,25 мм [9]	+0,0; -0,25 мм [10]	+0,0; -0,2 мм [10]
Паралельність	<1 кутової секунди [9]	<1 кутової секунди [10]	до 10 кутових секунд [10]
Допуск на запізнення фази	$\lambda/600 - \lambda/200$ при 20°C	$\lambda/500$ (типова)	впритул до $\lambda/100$ на заданій довжині хвилі
Якість поверхні	20-10 подряпин та виолок [10]	20-10 подряпин та виолок [10]	20-10 подряпин та виолок [10]
Антивідбиваюче покриття	$R \leq 0,2\%$ на центральній довжині хвилі [10]	$R \leq 0,2\%$ на центральній довжині хвилі [10]	$R \leq 0,5\%$ по всій області довжин хвил [11]
Спектральний діапазон роботи	250-1550 нм [9]	240-2100 нм [10]	ВИД: 465nm-610nm*х БІЧ: 700nm~1000nm* ІЧ: 1200nm~1650nm*
Ширина смуги пропускання	<2nm на $\lambda = 632$ нм [7]	16 нм на $\lambda = 800$ нм [7]	300 нм на $\lambda = 850$ нм [10]
Хвильова дисторсія	$\lambda/8$ на $\lambda = 632,8$ нм [10]	$\lambda/8$ на $\lambda = 632,8$ нм [10]	$\lambda/4$ на $\lambda = 632,8$ нм [10]
Похибка визначення кута запізнення фази при 20°C	$\lambda/300$ [9]	$\lambda/600 \sim \lambda/200$ [10]	до $\lambda/300$ на визначеній довжині хвилі [10]
Поріг пошкодження	> 200 МВт/см ² [9]	10 Дж/см ² ; 20 нс; 20 Гц на 1064 нм [7]	> 200 МВт/см ² [9]

* ВИД, БІЧ, ІЧ – видимий, близький інфрачервоний, інфрачервоний діапазон спектру відповідно.

Фазові пластинки високого порядку. Пластинки, в яких різниця фази δ між звичайним та незвичайним променями дорівнює $(2N+1/2)\pi$ або $(2N+1)\pi$ ($N=1, 2, 3, \dots$) називаються відповідно чвертьхвильовими та півхвильовими фазовими пластинами високого порядку. Зокрема, товщина d чверть- та півхвильових пластинок оцінюється за формулами

$$d = \frac{(4N+1)\lambda}{4(n_e - n_o)}, \quad d = \frac{(2N+1)\lambda}{2(n_e - n_o)}. \quad (6)$$

Для $\lambda = 500$ нм товщина чвертьхвильової кварцевої пластинки двадцятого порядку дорівнює 1,1 мм. Поріг пошкодження таких пластинок перевищує 500 МВт/см² [7]. Їх технічні параметри наведені в таблиці 1.

Ахроматичні фазові пластинки. Ахроматичні фазові пластинки виготовляються з двох різних одновісних кристалів (наприклад, одна пластинка виготовляється з кристалічного кварцу, а інша – з фториду магнію). Дисперсія показників заломлення цих матеріалів різна. Це дозволяє зменшити чутливість кута запізнення фази до зміни довжини хвилі. Складові частини ахроматичних хвильових пластин склеюються, саджаються на оптичний контакт або між ними існує повітряний прошарок. Типові параметри ахроматичних фазових пластин наведені в таблиці 1.

Систематичні похибки фазових пластинок. При виборі конкретного типу фазових пластинок перевагу потрібно віддати тим, у яких сума випадкових та систематичних похибок визначення кута запізнення фази мінімальна. Величину випадкових похибок можна мінімізувати шляхом оптимального вибору конструкції тримачів фазових пластинок та відповідної системи реєстрації інтенсивності світла. Поява систематичних похибок викликана впливом зовнішніх факторів та умов розповсюдження світла у фазових пластинках на параметри (n_o , n_e , d , λ), що визначають значення кута запізнення фази (формула (1)). У кожному конкретному випадку систематичні похибки потрібно мінімувати, змінюючи умови проведення експерименту.

Довжина хвилі. Згідно формули (2), зміну кута запізнення фази, викликану зміною довжини хвилі, в одиночних фазових пластинках нульового порядку можна оцінити за допомогою формули [12]

$$\frac{d\delta}{d\lambda} = \delta \left(\frac{1}{(n_e - n_o)} \frac{d(n_e - n_o)}{d\lambda} - \frac{1}{\lambda} \right), \quad (7)$$

а складених (скло плюс одновісний кристал) пластинках та в ахроматичних – за допомогою формули [12]

$$\frac{d\delta}{d\lambda} = \delta_1 \left(\frac{1}{(n_{e1} - n_{o1})} \frac{d(n_{e1} - n_{o1})}{d\lambda} - \frac{1}{\lambda} \right) - \delta_2 \left(\frac{1}{(n_{e2} - n_{o2})} \frac{d(n_{e2} - n_{o2})}{d\lambda} - \frac{1}{\lambda} \right). \quad (8)$$

У формулі (8) індексом 1 позначені величина затримки фази та показник заломлення першої пластинки, а індексом 2 – величина затримки фази та показник заломлення другої пластинки.

Кут падіння. Існує дві причини відхилення напрямку розповсюдження світла від точної перпендикулярності до оптичної осі С, а саме: 1) оптична вісь не точно паралельна до робочих поверхонь фазової пластинки; 2) кут падіння світла на вхідну поверхню х фазової пластинки дещо відрізняється від 90°. В обох цих випадках вектор Е в звичайній компоненті залишається перпендикулярним до осі С і його показник заломлення дорівнює n_o . Однак, в незвичайній компоненті потік світла характеризується ефективним показником заломлення [12]

$$n_{\text{ef}} = \frac{n_e n_o}{\sqrt{n_e^2 \cos^2(\theta) + n_o^2 \sin^2(\theta)}}, \quad (9)$$

де θ – кут між оптичною віссю С та напрямком розповсюдження потоку світла в одновісному кристалі. Для оцінки величини кута запізнення фази у цьому випадку можна користуватись формулою (2,) якщо в неї замість n_e підставити ефективне значення показника заломлення, тобто n_{ef} .

Термічні ефекти. Значення параметрів n_e , n_o та d залежить від температури. Це означає, що величина кута запізнення фази (формула (2)) залежить від температури. Зокрема, при зміні температури чвертьхвильової кварцевої пластинки нульового порядку на один градус кут запізнення фази змінюється приблизно на 0,00011% [13], а для такої ж полімерної пластинки – на (0,02-0,03)%. Типова температурна залежність кута запізнення фази кварцевих фазових пластин високого по порядку величини дорівнює 0,0015λ°/С [13].

Інші ефекти. Наявність неоднорідностей показника заломлення в об'ємі матеріалу пластинок та скінчена гладкість поверхні викликають деяку деполяризацію світла та деформацію фронту хвилі, що виходить з фазової пластинки. Ці ефекти мінімізуються шляхом відбору оптично однорідного матеріалу та високою якістю полірування поверхонь пластинок. Фазова пластинка має дві паралельні поверхні, тобто є еталонем Фабрі-Перо. Вплив інтерференційних ефектів на кут запізнення фази в такому інтерферометрі мінімізується просвітленням робочих поверхонь фазових пластинок. Типові ахроматичні пластинки з повітряним прошарком і антивідбиваючими покриттями пропускають понад 98 % світла у видимому діапазоні спектра.

Висновки. Виконано аналіз роботи, технічних параметрів фазових пластинок. Здійснено порівняння їх характеристик. Фазові пластинки використовуються для аналізу чи керування поляризацією світла у відносно вузькій спектральній області. У системах, в яких основну роль грають малі габарити та вага, потрібно віддавати перевагу хвильовим пластинкам. До таких систем перш за все потрібно віднести оптичну телекомунікацію.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. S. Guimond, D. Elmore Polarizing views // OE magazine, May 2004.
2. E. Kubacki Waveplates offer precise control of polarization // OLE • March 2006 • optics.org/ole. Pp 27-29.
3. W. Rong, L. Dupont, Y. Defosse, P. Gautier Driving algorithms for an endless polarization controller using two wave-plates // Optics Communications, Volume 267, Issue 2, 15 November 2006, Pages 335-340.
4. I. Savukov, D. Budker Waveplate retarders based on overhead transparencies // arXiv:physics/0702225v2 [physics.optics] 28 Feb 2007.
5. A.V. Samoylov, V.S. Samoylov, A.P. Vidmachenko, A.V. Perekhod Achromatic and super-achromatic zero-order waveplates // Journal of Quantitative Spectroscopy&Radiative Transfer 88(2004) 319-325.
6. Astropribor 31, Akad. Zabolotnoho St., 02680, Kiev.
7. CVI Melles Griot Optics Group 55 Science Parkway Rochester, New York 14620.
8. High Plains Optics, Inc. Suite M, 105 South Sunset Street, Longmont, Co 80501.
9. ООО "ЭЛАН+" 190103 Санкт-Петербург, Девятский пер., д.3.
10. CASIX, Inc. P.O. Box 1103 Fuzhou, Fujian 350014, China.
11. ALTECHNA Co.Ltd. Konstitucijos ave. 23C-604, LT-08105, Vilnius, Lithuania, European Union.
12. Meadowlark Optics, Inc. 5964 Iris Parkway Frederick, CO 80530 optics.
13. Netport Corporation 150 Long Beach Blvd Stratford, CT 06615 USA.

REFERENCES

1. S. Guimond, D. Elmore Polarizing views // OE magazine, May 2004.
2. E. Kubacki Waveplates offer precise control of polarization // OLE • March 2006 • optics.org/ole. Pp 27-29.
3. W. Rong, L. Dupont, Y. Defosse, P. Gautier Driving algorithms for an endless polarization controller using two wave-plates // Optics Communications, Volume 267, Issue 2, 15 November 2006, Pages 335-340.
4. I. Savukov, D. Budker Waveplate retarders based on overhead transparencies // arXiv:physics/0702225v2 [physics.optics] 28 Feb 2007.
5. A.V. Samoylov, V.S. Samoylov, A.P. Vidmachenko, A.V. Perekhod Achromatic and super-achromatic zero-order waveplates // Journal of Quantitative Spectroscopy&Radiative Transfer 88(2004) 319-325.
6. Astropribor 31, Akad. Zabolotnoho St., 02680, Kiev.
7. CVI Melles Griot Optics Group 55 Science Parkway Rochester, New York 14620.
8. High Plains Optics, Inc. Suite M, 105 South Sunset Street, Longmont, Co 80501.
9. LLC "ELAN+" 190103 Sankt-Peterburg Derptsky, per., d.3.
10. CASIX, Inc. P.O. Box 1103 Fuzhou, Fujian 350014, China.
11. ALTECHNA Co. Ltd. Konstitucijos ave. 23C-604, LT-08105, Vilnius, Lithuania, European Union.
12. Meadowlark Optics, Inc. 5964 Iris Parkway Frederick, CO 80530 optics.
13. Netport Corporation 150 Long Beach Blvd Stratford, CT 06615 USA.

РЕФЕРАТ

Малиш М.І. Фазові пластинки – затримувачі фази / М. І. Малиш, М.Р. Куліш // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (51).

Розглянуто принципи роботи, технічні характеристики фазових пластинок. Здійснено порівняння їх властивостей. Обговорено основні області їх застосування.

Мета досліджень: проаналізувати принцип роботи фазових пластинок, порівняти їх технічні характеристики.

Метод дослідження – теоретичний.

Встановлено, що фазові пластинки використовуються для аналізу чи керування поляризацією світла у відносно вузькій спектральній області. У системах, в яких основну роль грають малі габарити та вага, наприклад в оптичній телекомунікації, потрібно віддавати перевагу фазовим пластинкам.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ФАЗОВА ПЛАСТИНКА, СПЕКТРАЛЬНА ОБЛАСТЬ, ПОЛЯРИЗАЦІЯ, ЗАТРИМУВАЧ ФАЗИ.

ABSTRACT

Malysh M.I., Kulish M.R. Phase plates – phase retarders. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The principles of operation, technical characteristics of phase plates are considered. A comparison of their properties was made. The main areas of their application are discussed.

The purpose of research: to analyze the principle of operation of phase plates, to compare their technical characteristics.

The research method is theoretical.

It has been established that phase plates are used to analyze or control the polarization of light in a relatively narrow spectral region. In systems in which small dimensions and weight play the main role, for example in optical telecommunications, phase plates should be preferred.

KEY WORDS: PHASE PLATE, SPECTRAL FIELD, POLARIZATION, PHASE RETAINER.

АВТОРИ:

Малиш Микола Іванович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: M_Malysh@ukr.net, тел. +380442846709, +380508257165, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 410, orcid.org/0000-0003-4532-0764.

Куліш Микола Радіонович, доктор фізико-математичних наук, Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарева НАН України, провідний науковий співробітник, e-mail: n_kulich@yahoo.com, tel. +380445256024, +380730422661, Україна, 03028, м. Київ, Велика Китаївська 10, к. 10, orcid.org/0000-0002-4365-8174.

AUTHORS:

Malysh Mykola. I., PhD in Physical and Mathematical Science associate professor, National Transport University, associate professor of the department of information analysis and information security, e-mail: M_Malysh@ukr.net, tel. +380442846709, +380508257165, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 410, orcid.org/0000-0003-4532-0764.

Kulich Nikolay R., doctor of physical-mathematical sciences, V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, Leading Researcher, e-mail: n_kulich@yahoo.com, tel. +380445256024, +380730422661, Ukraine, 03028, Kyiv, Bolshay Kitaevskay str. 10, of. 10, orcid.org/0000-0002-4365-8174.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Данчук В.Д., доктор фізико-математичних наук, професор, декан факультету Транспортних та інформаційних технологій, Київ, Україна.

Стрельчук В.В., доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач лабораторії, Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарева НАН України, Київ, Україна.

REVIEWER:

Danchuk V.D., doctor of sciences, professor, dean of the Faculty of Transport and Information Technologies, Kyiv, Ukraine.

Strelchuk V.V., doctor of sciences, professor, head department of general physics, V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

ЛОГІСТИЧНЕ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМОЮ НАДАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ НАСЕЛЕННЮ: АНТИКРИЗОВИЙ АСПЕКТ

Мельниченко О.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна, melnichenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0001-9694-9824

Ігнатенко О.С., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, ignatenco@gmail.com, orcid.org/0000-0003-0443-5469

Дмитриченко А.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, andrew_d@ukr.net, orcid.org/0000-0001-6144-7533

Дерегуз І.А., Національний транспортний університет, Київ, Україна, dereguz1998@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3119-3709

LOGISTICS MANAGEMENT OF THE SYSTEM FOR PROVIDING TRANSPORTATION SERVICES TO THE POPULATION: ANTI-CRISIS ASPECT

Melnichenko O., Candidate of Science in Engineering, National Transport University, Kyiv, Ukraine, melnichenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0001-9694-9824

Ignatenko O., Doctor of Engineering Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, ignatenco@gmail.com, 0000-0003-0443-5469

Dmytrychenko A., Candidate of Engineering Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, andrew_d@ukr.net, rcid.org/0000-0001-6144-7533

Dereguz I., National Transport University, Kyiv, Ukraine, dereguz1998@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3119-3709

Постановка проблеми в загальному вигляді. Ринкова ситуація в наданні транспортних послуг населенню пов'язана з низкою проблем, які викликані досить гострою конкурентною боротьбою між приватними і комунальними підприємствами, швидкою змінною умов їх функціонування. Підприємства транспортних послуг повинні не тільки концентрувати увагу на внутрішньому стані справ, але і виробляти довгострокову антикризову стратегію свого розвитку, яка дозволяла б їм встигати за змінами, що відбуваються в зовнішньому оточенні.

У минулому багато комунальних підприємств могли успішно функціонувати, звертаючи увагу в основному на щоденну роботу, на внутрішні проблеми, пов'язані з підвищенням ефективності використання ресурсів в поточній діяльності. Зараз же, хоча і не знімається завдання раціонального використання потенціалу поточної діяльності, виключно важливим стає здійснення антикризового синергетичного управління, яке забезпечує адаптацію комунальних підприємств до швидко змінних умов на ринку обслуговування.

Для того, щоб не втратити пріоритетні напрями сфери транспортного обслуговування, необхідні наукові обґрунтування, що враховують всі зміни зовнішніх і внутрішніх чинників, і що виявляють усі ті можливості, які за допомогою наявних засобів і з достатньою ефективністю можуть бути використані транспортними підприємствами. З позицій системного підходу досягнення успіху може забезпечуватись на основі синергетичної логістики [9, С.39], з врахуванням антикризових аспектів [1, С.12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, свідчить, що проблеми розвитку теоретико-методологічних основ управління господарським комплексом, зокрема його транспортною складовою, написано немало хороших і різних книг та статей. Зокрема, питанням загальної логістики, логістичному управлінню, транспортним технологіям в системах логістики, антикризовим аспектам управління приділяється значна увага в [1,4,13,17,18,20].

Але питанням особливостей синергетичного управління системою надання транспортних послуг для населення з позицій логістики та антикризового менеджменту не приділялась належна увага. Водночас, узагальнення літературних джерел свідчить про потенціал застосування саме такого підходу, який містить системно-синергетичну, логістичну та антикризову складові, спрямовує діяльність перевізників на досягнення високої ефективності транспортних послуг [6, С.156]. У такому разі слід враховувати, що процеси надання транспортних послуг населенню мінливі, підпадають під

множинні впливи випадкових чинників, перешкоди, а також погано керовані [5, С.68]. У зв'язку з цим зазначимо, що синергетика в антикризовому аспекті, як науковий напрям, важливий для обраної нами тематики досліджень, в частині вивчення зв'язків, які утворюються між структурними елементами логістичної системи надання послуг, як у зовнішньому середовищі, завдяки інтенсивному потоковому обміну послугами, фінансовим забезпеченням і інформацією, так і всередині системи [7, С. 112].

При цьому слід враховувати неурівноваженість умов забезпечення логістичного управління системою надання транспортних послуг населенню з позицій антикризового підходу [2, С. 87], так і синергетичної взаємодії [19, С. 23]

Мета статті – здійснити аналіз та узагальнення підходів до забезпечення ефективності логістичного управління системою надання транспортних послуг населенню з позицій антикризового підходу та синергетики при урахуванні того, що особливістю функціонування такої системи є тісний взаємозв'язок, взаємодія і взаємопроникнення організаційних і технологічних елементів, що може бути основою запобігання виникненню кризових явищ. Така взаємодія має створювати технологічну та ресурсну основу розвитку систем надання транспортних послуг населенню, які мають поточкову природу. За такого підходу з'являється можливість забезпечити такі системні якості, як спільність мети щодо якісного обслуговування населення, структурна пов'язаність і цілісність механізмів управління, взаємопроникнення алгоритмів функціонування, ієрархічність у формуванні та декомпозиції нагальних проблем.

Виклад основного матеріалу. Здійснені узагальнення свідчать, що транспортна підсистема, з її організацією, технологією, інфраструктурою, відноситься до соціально значущих і виділяється серед інших складових економіки держави, регіонів та міст. В першу чергу це пов'язане з характером логістичних потоків різнопланових послуг і умовами їх надання, в яких ці логістичні потоки утворюються й реалізуються. Об'єкти транспортної інфраструктури розосереджені територіально і мають чітко виражені межі функціонування за часом. Водночас, з точки зору системно-синергетичного та логістичного підходів ефективність управління системою надання транспортних послуг населенню в значній мірі залежить від правильності визначення місії кожного елементу та його впливу на запобігання виникненню кризових ситуацій. Відносно інфраструктури, яка використовується в суміжних видах надання транспортних послуг та видах сполучення це стосується конструктивних, архітектурних й об'ємно-планувальних рішень, від яких залежить ефективність функціонування транспортної системи в цілому та рівень обслуговування населення [5, С. 178-184].

З ефективністю управління досліджуваною системою, прямо чи опосередковано, пов'язані практично всі галузі економіки за різними рівнями адміністративно-територіального поділу. Зокрема, важко уявити собі належне функціонування транспортної системи міста без злагодженої системи житлово-комунального господарства. Адже як потреба, так і попит на транспортні послуги, який визначає пасажиропотоки та кореспонденції пасажирів, залежить від структурних характеристик та режимів здійснення усіх видів побутового й торговельного обслуговування, громадського харчування, організації освіти, охорони здоров'я, культури, фізкультури й спорту. Комплексність і багатогранність завдань за умови інтеграції системно-синергетичного й логістичного підходів до управління системою надання транспортних послуг з позицій антикризового підходу, які стоять перед суспільною сферою припускає наявність соціального управління, з одного боку, і можливостей саморегулювання, з іншого. Останнє положення стосується всіх елементів логістичного ланцюжка від замовника соціально значущих транспортних послуг і до споживача.

На підставі адаптації положень, наведених в [10, С. 67-69] слід зазначити, що функціонування системи надання транспортних послуг населенню націлене на досягнення належного рівня обслуговування при відповідному рівні витрат. При цьому умови інтеграції системно-синергетичного й логістичного підходів до управління системою надання транспортних послуг й протидії виникненню кризових ситуацій характеризуються багатопрофільністю, різноманітністю інфраструктурних складових, різними умовами надання послуг, наприклад обслуговування масовим громадським транспортом суттєво відрізняється від послуг легкового таксомоторного транспорту.

Водночас, результатом і метою надання транспортних послуг у всіх видах сполучення є обслуговування для набуття повної споживчої вартості. І саме в умовах інтеграції системно-синергетичного й логістичного підходів до управління системою надання транспортних послуг в межах інтегрованої таким чином концепції може досягатись високий рівень задоволення попиту споживачів у відповідності з їх вимогами, чи надання супутніх послуг — які задовольняють додаткові потреби, які є складовими певного комплексу, що повністю має відповідати потребам споживача.

Дослідження свідчать, що сферу обслуговування населення, її елементи (підсистеми) можна з упевненістю віднести до розряду великих (складних) кібернетичних відкритих систем [8, С. 107]. У такому разі кожен процес має розглядатись як керована багатofакторна динамічна модель з аналізом умов виникнення кризових ситуацій, наприклад, виклик таксі за телефоном. За цим прикладом мають співпрацювати як замовник послуг (майбутній пасажир), оператор, який приймає замовлення, так і потенційний водій таксі. За сучасними підходами функція оператора може бути автоматизована і передана пасажирові. Тобто, стосовно функціонування системи надання транспортних послуг це означає управління не тільки потоками послуг, а й інформаційними та ресурсними потоками. А тому в будь-якому виді послуг, в тих або інших співвідношеннях, та за напрямками транспортної діяльності завжди містяться потоки різної природи [16, С. 76].

Синергетична взаємодія у таких системах досягається узгодженістю поведінки підсистем, цілеспрямованим зниженням ентропії, зростання ступеня впорядкованості і самоорганізації [22, С. 30]. Зокрема, самоорганізація стосується внутрішнього середовища кожного з елементів логістичного ланцюжка. Так, замовник соціально значущих транспортних послуг для територіальної громади, тобто відповідний орган місцевого самоврядування, має забезпечувати синергетичну взаємодію структурних складових, зокрема виконавчого комітету, комунальних підприємств, профільної комісії ради та її сесії, через діяльність яких пролягає низка рішень від вивчення попиту на транспортні послуги до удосконалення транспортної системи та визначення режимів її функціонування за часом й на певній території. Водночас, має бути зважене відношення до негативних чинників та загроз, які можуть шкодити як ефективності функціонування системи надання послуг, так і їх якості [3, С. 77].

У основі запропонованої інтегрованої концепції управління системою надання транспортних послуг для населення, як наукового напрямку, лежить теорія випадкових процесів в неурівноважених транспортних системах [11, С. 128]. Відомо, що під випадковими (імовірнісними) процесами розуміють такі зміни стану або характеристик транспортної системи за часом, для яких визначена вірогідність того або іншого перебігу процесу. Переважна більшість процесів надання транспортних послуг відрізняються властивістю незалежності поведінки системи на заданому інтервалі часу від її поведінки в попередній період. Зокрема, відновлення регулярності руху транспортних засобів на автобусному маршруті у разі виникнення дорожньо-транспортної пригоди. Але оперативне вирішення питання відновлення руху в значній мірі залежить від злагодженості дій і водія, і перевізника, технічної служби і патрульної служби МВС України.

Організаційно-технологічні системи надання послуг набагато складніші систем технічних, їх стан в процесі функціонування менш передбачуваний, неякісне управління ними може стати причиною високого ризику збитків та виникнення кризових ситуацій [14, С. 85]. Тому ці системи особливо потребують ефективної інформаційної підтримки з позицій інтегрованої концепції управління, інформаційного ресурсу.

Для постановки і вирішення організаційно-технологічних завдань з позицій системно-синергетичного й логістичного підходів в аспекті антикризової діагностики необхідний достовірний опис складових процесів і якісне призначення критеріїв ефективності та сфер їх існування. При цьому, вирішальна роль відводиться порівнянню наданого і потрібного часу. Вирішення цього завдання достатньо детально описано в публікації [15, С. 45-52].

Постановка й вирішення конкретних завдань управління системою надання транспортних послуг пов'язані з вибором критеріїв, що відображають особливості логістичного та синергетичного підходів в антикризовому аспекті. Зокрема, управління фінансовими потоками має відображати з одного боку забезпеченість розвитку системи послуг, її інвестиційну привабливість, а з іншого — результативність функціонування відносно надходження коштів від оплати послуг в грошовому еквіваленті. Узагальнення досвіду логістичного управління виробничою сферою в інших галузях народного господарства свідчить, що метаспрямований вплив на фінансові потоки вимагає раціонального управління і гармонізації, яка відображає системну синергетику управлінських рішень і, водночас, створює базу для подальшої інтеграції зусиль на умовах державно-приватного партнерства, запровадження креативних підходів, щоб створити умови для творчої, новаторської діяльності з врахуванням антикризового аспекту [12, С. 33-35]. Запровадження інтегрованої концепції управління сприяє продукуванню принципово нових ідей, виявленню обдарованості кадрового персоналу в кожній ланці логістичного ланцюжка і реалізацію його потенціалу на подолання кризових ситуацій в організаційній структурі. Тобто, щоб не тільки висувалась ідея запровадження певної концепції, а така діяльність доводилась до конкретного практичного результату на подальших етапах антикризового функціонування системи надання транспортних послуг населенню.

Досягти позитивного результату на сьогоднішньому рівні знань можливо завдяки моделювання процесів інтегрованої концепції управління в системі надання транспортних послуг і її поведінки. Зокрема, останніми роками успішно розвивається науковий напрям, пов'язаний з описом процесів системними багаторівневими поточковими синергетичними макромоделями [8, С.33]. Підхід диктується необхідністю формування єдиного технологічного простору. Багаторівневі синергетичні моделі розглядаються як основа вирішення експертних завдань, класифікації, прогнозування і інших цілей на всіх стадіях дослідження [8, С. 56-61].

Аналіз свідчить, що однією з прийнятних можна вважати запропоновану в [7, С. 101] методологію переходу від управління окремими параметрами системи до використання спеціальної аналітико-синтезуючої процедури, призначеної для підтримки дій осіб, що ухвалюють рішення, шляхом відтворення на моделях процесів, управління комплексом подій і об'єктів, формалізації впливів, що відносяться до об'єкту.

При цьому з'являється можливість в процесі ухвалення рішень, спрямованих на управління потоками транспортних послуг для населення, інформаційними та фінансовими потоками, а також потоками супутніх послуг ефективно, з точки зору синергетики в антикризовому аспекті, здійснювати моделювання шляхом внесення стійких структур організованості до хаотично-невизначених умов початкової ситуації. Реалізується технологія синтезу альтернативних варіантів (гіпотез) в цілісні рішення, керування гармонією і динамікою ситуації в системі надання транспортних послуг. І таким чином, штучна людино-машинна система в своєму функціонуванні і розвитку проявляє властивості, притаманні живим системам. Це стає можливим, завдяки тому, що закони управління, які діють в штучній кібернетичній системі, відповідають законам самоорганізації живих соціотехнічних систем [8, С. 173].

У процесі інтеграції запропонованих підходів до управління сферою надання транспортних послуг з'являється можливість досягнення реального економічного ефекту від взаємної ув'язки технології, техніки й інфраструктури з процесом надання різнопланових послуг за рахунок використання резерву в обслуговуванні. Найяскравіше цей ефект виявляється при проведенні робіт у «вікно» [11, С. 217-218], під яким можна розуміти «тривалість періоду функціонування» не окремої ланки, а логістичної системи надання транспортних послуг у цілому.

Здійснені узагальнення свідчать, що існує декілька методів аналітичного визначення оптимальної «тривалості вікна» [11, С. 243]. Сутність їх полягає в тому, що всі види витрат на формування чи удосконалення системи надання транспортних послуг з позицій інтегрованої концепції управління і витрати, пов'язані із можливою затримкою у наданні транспортних послуг населенню з причин виникнення кризових ситуацій мають мінімізуватись.

На практиці застосування аналітичних методів в управлінні системою надання послуг населенню обмежене необхідністю великої кількості розрахунків, що не призводять до уточнення результату, і постійного корегування бази початкових даних у зв'язку із зміною тарифів і нормативів. Ефективнішим для практичного застосування при реалізації інтегрованої концепції управління системою надання транспортних послуг може бути графоаналітичний метод [11, С. 270].

Слід враховувати, що транспортні підприємства, які надають послуги населенню і здійснюють формування чи удосконалення системи своєї діяльності, можуть відноситися до різних форм власності. Їх цілі не завжди співпадають. У такому разі, функцію синергетичного узгодження інтересів за логістичним ланцюжком і координатора впровадження інтегрованої концепції управління системою надання транспортних послуг бере на себе замовник соціально значущих транспортних послуг, у ролі якого як правило, виступає відповідний місцевий орган публічної влади. Тому слід звертати увагу на необхідність чіткого визначення та суворого дотримання договірних зобов'язань в частині надання «вікон» та врахування антикризових аспектів в процесах надання послуг.

Можливості організації робіт у «вікно» щодо формування чи удосконалення системи надання транспортних послуг населенню з позицій інтегрованої концепції управління істотно відрізняються від можливостей організації роботи відособленими складовими тим, що одну із таких складових за рахунок використання резервів інших логістичних каналів надання послуг можна вивільнити на якийсь час, більший, ніж аналогічний час при роботі окремих складових, де таких можливостей у зв'язку з обмеженістю ресурсів та потужностей просто немає.

Таким чином, при комплексній ув'язці робіт, пов'язаних з формування чи удосконалення системи надання транспортних послуг з позицій інтегрованої концепції управління в антикризовому аспекті, з'являється реальна можливість використання «вікон», тривалість яких близька до умов реального масштабу часу або співрозмірна з тривалістю такого виміру. При цьому:

➤ Підвищується ефективність системи надання транспортних послуг. В умовах інтегрованої концепції управління збільшується рівень використання економічних і технічних ресурсів системи і скорочуються витрати часу на їх залучення.

➤ Узгоджений розподіл функцій за інтегрованою концепцією управління дозволяє обрати якнайкращий варіант зонування і етапності формування чи удосконалення системи надання транспортних послуг. Тобто, з'являється можливість реконструкції «за напрямками».

➤ Підвищується ефективність використання «вікон». У одне «вікно» можуть бути організовані роботи на різних ділянках формування чи удосконалення системи надання транспортних послуг і на її інфраструктурних складових. При цьому тривалість надання транспортних послуг і відповідні втрати, у порівнянні з умовами запровадження інших підходів, скорочуються.

Антикризова синергетика логістичного управління системою надання транспортних послуг закладається на передпроектній або проектній стадії шляхом соціально-економічного аналізу ефективності такої системи, загроз виникнення кризових ситуацій, за ініціативою місцевого органу публічної влади, до компетенції якого віднесено досліджуваний напрям діяльності.

За результатами такого соціально-економічного аналізу має визначатись доцільність запровадження інтегрованої концепції управління. До особливостей розрахунку ефективності і доцільності формування чи удосконалення системи надання транспортних послуг за пропонуваною методологією слід відносити перш за все, необхідність врахування співвідношення між передбачуваним ефектом від здійснення змін і витратами, пов'язаними із модернізацією системи послуг та її інфраструктури, яка містить складну мережеву характеристику діючих і нових об'єктів як прямого, так і опосередкованого відношення до надання послуг. Тобто, передбачається будівництво чи кардинальна перебудова об'єктів облаштування маршрутів, удосконалення технологічного оснащення, ліквідація застарілих об'єктів, модернізація існуючої супутньої інфраструктури, пристроїв енергопостачання, зв'язку, будівель і споруд різного призначення, систем запобігання забрудненню оточуючого середовища та інше.

При впровадженні інтегрованої концепції управління системою надання транспортних послуг необхідно враховувати обмеженість інвестиційних можливостей учасників логістичного ланцюжка. Тобто, слід раціонально розподіляти наявні ресурси й засоби так, щоб забезпечити безпечну і безперебійну роботу системи послуг при максимальній соціально-економічній ефективності використання вкладених коштів та запобігання кризовим ситуаціям. Таким чином, синергетика концепцій управління конкретною системою надання транспортних послуг населенню визначиться взаємною ув'язкою ресурсних потреб і можливостей проектування з потребами і можливостями функціонування процесу надання послуг транспортними підприємствами.

Раціональна послідовність формування інвестиційної програми розвитку системи надання транспортних послуг виглядає наступним чином [10, С. 215]:

➤ За кожною складовою логістичного ланцюжка визначається чистий дисконтований дохід від реформування чи удосконалення системи надання транспортних послуг. Водночас здійснюється порівняння варіантів побудови системи з метою надання відповіді на питання: що вигідніше — відразу здійснити значні капіталовкладення й забезпечити високу надійність системи із заощадженням обсягу подальших матеріально-технічних й технологічних витрат, зменшенням соціальної напруги в суспільстві чи вкласти мінімум коштів з поступовим формуванням чи удосконаленням системи надання транспортних послуг з розрахунку на додаткові поетапні витрати. В процесі таких розрахунків враховується необхідність проведення комплексу робіт перманентного впровадження.

➤ Має проводитись детальний аналіз показників соціально-економічної ефективності інвестицій в реформування чи удосконалення системи надання транспортних послуг з врахуванням антикризових аспектів.

➤ Особлива увага приділяється раціональному управлінню коштами, які мають спрямовуватись на проведення комплексу робіт із гарантування безпечності та безперебійності функціонування системи надання транспортних послуг. Слід зауважити, що ці роботи мають фінансуватись першочергово.

➤ За результатами соціально-економічного аналізу встановлюється доцільна послідовність робіт щодо формуванням чи удосконаленням системи надання транспортних послуг. При цьому можуть також вилучатись (на конкретному етапі) з подальшого розгляду роботи, за якими показники соціально-економічної ефективності капіталовкладень приймають значення нижче необхідних нормативних, директивних чи розрахункових.

➤ З переліку робіт щодо формування чи удосконалення системи надання транспортних послуг, які витримали такий відбір, місцевим органом публічної влади, який опікується питанням розвитку такої системи, спільно з суб'єктами господарювання, які входять до логістичного ланцюжка, формується місцева інвестиційна програма [15, С. 67]. При цьому мають дотримуватись умови, які передбачають врахування чистого дисконтованого доходу на кожен складову логістичного ланцюжка, а також показника соціально-економічної ефективності функціонування системи з врахуванням антикризових аспектів. Слід зауважити, що про цьому необхідно звертати увагу на нормативне значення кожного показника соціально-економічної ефективності (тобто, воно має бути не нижче за фактично досягнуте значення), розмір необхідних капітальних вкладень в кожний елемент логістичного ланцюжка і загальний розмір фактично наявних матеріально-технічних і фінансових ресурсів.

Перевагою в оцінюванні достовірності розрахунків за означеною методикою можна вважати можливість зіставлення їх варіантів. При цьому має дотримуватись умова, щоб горизонти розрахунків чистого дисконтованого доходу за кожним варіантом запропонованого інтегрованого підходу до управління системою надання транспортних послуг однаковими або співрозмірними. У такому разі можна скористатись можливістю адаптації до вирішення цього завдання відомого методу аналізу ієрархій в процедурах вибору рішень [8, С. 56-61].

Коротко зупинимось на положеннях цього методу, адаптованих за напрямом дослідження:

➤ в залежності від головної мети запропонованого інтегрованого підходу до управління, будується ієрархія критеріїв, за якими оцінюватимуться його варіанти;

➤ відносна значущість критеріїв оцінювання визначається за допомогою шкали відносної їх важливості (пріоритетності) шляхом попарного зіставлення між собою критеріїв у визначеній групі, яка підпорядкована одному критерію — пріоритетному критерію для «замовника транспортних послуг». За результати здійснення такої процедури можна отримати матрицю порівнянь;

➤ водночас вектор конкретних значень матриць попарних порівнянь дає вектор локальних пріоритетів критеріїв в матриці. В подальшому, використання лінійних моделей, що враховують структуру системи критеріїв, локальні пріоритети критеріїв і показники альтернативних варіантів запропонованого інтегрованого підходу до управління, надає можливості розрахувати інтегральні оцінювання пріоритету кожного варіанту.

Перевага надається фінансуванню з місцевого бюджету того варіанту запровадження запропонованої концепції управління, результати якого характеризуються позитивною залежністю від рівня договірних цін, обсягів транспортних послуг для населення і власних витрат учасників логістичного ланцюжка.

У такому разі основа майбутніх позитивних економічних результатів функціонування системи надання транспортних послуг в значній мірі закладається на стадії узгодження позицій учасників логістичного ланцюжка, тобто на переддоговірній стадії. Таким чином, синергетика досягається укладенням всіма учасниками логістичного ланцюжка всебічно обґрунтованих договорів (контрактів) на реалізацію своїх функцій щодо запровадження інтегрованої концепції управління.

Слід звернути особливу увагу на необхідність ефективного ведення будівельних робіт в частині забезпечення синергетики ресурсної взаємодії, ув'язку основних і супутніх процесів реформування системи надання транспортних послуг населенню за часом і у просторі. Частково це завдання вирішується на передпроектній та проектній стадіях шляхом виявлення потреб в ресурсах, зокрема — фінансових, на весь період проведення робіт. Як свідчить наявний досвід, в значній мірі резерви ефективності можна розширити за рахунок приватно-державного партнерства [7, С. 93].

Для ефективного використання інвестицій для запровадження інтегрованої концепції управління системою надання транспортних послуг населенню необхідно обґрунтувати черговість й етапність фінансування, а також врахувати можливі ризики [21, С. 235]. Зокрема, місцевим органам публічної влади чи органам місцевого самоврядування необхідно здійснити перегляд існуючої чи формування нової маршрутно-ї системи, яка слугуватиме опорною базою для подальших змін в наданні транспортних послуг населенню. Науково обґрунтована маршрутна система забезпечить ефективне використання всіх видів ресурсів, досягнення синергетичної раціональності управління всіма наявними потоковими процесами, інфраструктурними складовими, забезпечуючими й супутніми сервісними системами, що підлягають перевлаштуванню, без порушення балансу за попитом і пропозицією щодо транспортних послуг населенню і зменшення реальної потужності задіяних підприємств.

Водночас, на підставі вивчення мережі транспортних й сервісних підприємств, як об'єктів реформування, встановлюють їх типові ознаки і критерії, важливі для досягнення надійності надання

транспортних послуг, економічної й соціальної спрямованості, безпеки життєдіяльності в умовах запровадження запропонованої інтегрованої концепції управління. Саме ці ознаки визначають зміст і форму взаємоузгодженої діяльності, з точки зору синергетики та з врахування потокової й кризової природи практично всіх процесів управління. Ці положення, перш за все, відносяться до ресурсних зв'язків, тому що саме вони визначають результативність як управлінських рішень, так і організаційно-технологічних систем інтегрованого системно-синергетичного й логістичного управління.

Для відтворення системи надання транспортних послуг населенню за інтегрованою концепцією управління зручно користуватися синергетичними багаторівневими феноменологічними (логіко-інформаційними) макромоделями з подальшим (при необхідності) імітаційним математичним моделюванням. На моделях з'являється можливість дослідити можливості взаємодії за організаційними, технологічними, ресурсними та іншими можливостями формуванням чи удосконаленням системи надання транспортних послуг, реалізації її резервів [14, С. 59].

Опис запропонованої інтегрованої концепції управління системою надання транспортних послуг населенню системними макромоделями диктується необхідністю формування єдиного інформаційно простору конкретної системи послуг на стику техніки, технології, організації, інформатики, математики, кібернетики. Адже відомо, що багаторівневі феноменологічні моделі можуть слугувати для управляючої системи надання транспортних послуг населенню основою для вирішення експертних завдань, побудови класифікацій, здійснення прогнозування й іншим цілям на всіх стадіях інноваційно-інвестиційних циклів з врахуванням оцінки в антикризовому аспекті.

Здійснене моделювання організаційно-технологічної схеми запропонованого інтегрованого підходу до управління системою надання транспортних послуг населенню міста свідчить про можливість скорочення загального терміну удосконалення такої системи на 15-20%, тривалість адаптації зміненої маршрутної системи громадського транспорту міста може зменшитись на 25-30%, а трудомісткість виконання проектного комплексу функцій й робіт – на 20-30%.

Висновки і перспективи подальших розвідок у даному напрямі. Таким чином, при реформуванні системи надання транспортних послуг населенню ефективність проектних, організаційно-технологічних, будівельних робіт забезпечується через логістичну синергетику ресурсної взаємодії процесів управління і процесів надання транспортних послуг за часом і в просторі з оцінюванням в антикризовому аспекті. Синергетичне й антикризове управління призводить до реального економічного ефекту. Адже потоки транспортних послуг, фінансові й інформаційні потоки, як будь-які ресурсні потоки, потребують управління і гармонізації, яка відображає синергетику організаційно-технологічних рішень і створює базу для розвитку і вдосконалення цих рішень на подальших етапах функціонування системи громадського транспорту в містах, регіонах і країні в цілому.

Подальші дослідження можуть стосуватись вивчення особливостей побудови синергетичних багаторівневих логіко-інформаційних макромоделей модернізації конкретних систем надання транспортних послуг населенню.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Антикризове управління підприємством: теорія та практика: навч. посіб. 3-є вид., без змін. Чернівці: Чернівецький нац. ун-т. 2020. 248 с.
2. Антикризовий менеджмент [текст]: навч. посіб. / Л.І. Скібіцька, В.В. Матвєєв, В.І. Щелкунов, С.М. Подреза. – К.: Центр учбової літератури, 2014. 588с.
3. Гудзь О. Є., Стрельнікова С. Ю. Управління стратегічними змінами: навчальний посібник / О. Є. Гудзь, С. Ю. Стрельнікова. – Львів: СПОЛОМ, 2021. 200 с.
4. Дмитриченко М. Ф. Транспортні технології в системах логістики: Підручник / М. Ф. Дмитриченко, П. Р. Левковець, А. М. Ткаченко, О. С. Ігнатенко, Л. Г. Зайончик, І. М. Статник. – К.: ІНФОРМАВТОДОР. 2007. 676 с.
5. Ігнатенко О. С. Пасажирські перевезення [Текст]: підручник / О. С. Ігнатенко, В. С. Маруніч; Національний транспортний університет. Ч. 1. – Київ, 2017. 265 с.
6. Ігнатенко О. С. Пасажирські перевезення [Текст]: підручник / О. С. Ігнатенко, В. С. Маруніч; Національний транспортний університет. Ч. 1. – Київ, 2017. 283 с.
7. Інфраструктурне забезпечення розвитку транспортної системи регіону: колективна: монографія / І.В. Заблудська, І.Р. Бузько, О.О. Зеленко, І.О. Хорошилова. – Сєвєродонецьк: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016. 193 с.

8. Коляда Ю. В. Адаптивна парадигма моделювання економічної динаміки: монографія / Ю. В. Коляда. – 2-ге вид. перероб. і доп. К.: КНЕУ, 2019. 367 с.
9. Корчевська Л.О. Методологія синергетичного управління економічною безпекою підприємства: монографія / Л.О. Корчевська. – Херсон: Вид-во ПП Вишемирський В.С. 2016. 468 с.
- 10.Криворучко О.М. Менеджмент якості на підприємствах автомобільного транспорту: теорія, методологія і практика: [монографія] / О.М. Криворучко. – Харків: ХНАДУ, 2020. 404 с.
- 11.Кривіцун Л. А. Структурні зрушення в нерівноважних економічних системах: [монографія] / Л. А. Кривіцун – Харків: НТУ «ХПІ», 2020. 428 с
- 12.Лутай В. С. Основне питання сучасної філософії. Синергетичне питання / В. С. Лутай. – К.: Видавець ПАРАПАН, 2004. 156 с.
- 13.Марченко, В. М. Логістика : підручник / В. М. Марченко, В. В. Шутюк. – 2-ге вид., доповн. – Київ : НУХТ, 2022. 334 с.
- 14.Методи і моделі кваліметрії синергетичного ефекту: [монографія] / О. М. Рева, В. В. Камишин, С. В. Радецька, А. В. Малиношевська, Є. А. Бурдельна, Л. М. Липчанська; за наук. ред. О. М. Реви, В. В. Камишина. – Київ: НАПН України, 2021. 226 с.
- 15.Організаційно-економічні аспекти розвитку підприємницьких структур в Україні та світі : моногр. / за заг. ред. д-ра екон. наук, проф. Т. Гринько. – Дніпро : Видавець Біла К. О., 2022. 400 с.
- 16.Організація та проектування логістичних систем [Текст] : підручник / за ред. М. П. Денисенка, П. Р. Левковця, Л. І. Михайлової. – Київ : Центр навчальної літератури, 2018. 333 с.
- 17.Смирнов І.Г. Транспортна логістика: навчальний посібник для вузів / Смирнов І.Г., Косарева Т.В. – Київ : Центр учбової літератури, 2019. 224 с.
- 18.Тюріна Н.М. Логістика: [навч. посіб.] / Н.М. Тюріна, І.В. Гой, І.В. Бабій. – К. : Центр учбової літератури, 2015. 392 с.
- 19.Шевцова Г.З. Синергетичний менеджмент підприємств: [монографія] / Г.З. Шевцова; НАН України, Інститут економіки промисловості. – Київ, 2016. 454 с.
- 20.Юринець В. Є. Основи логістики: Навч. пос. / В. Є. Юринець. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2021. 211 с.
- 21.Fuchs H., Wohinz J. W. Risk management in logistics systems. Advances in Production Engineering & Management. 2009. Vol. 4. No 4. P. 233–242.
- 22.Martin Christopher. Logistics and supply chain management: creating valueadding networks. 4th ed. 2011. 288 p.

REFERENCES

1. Anti-crisis management of the enterprise: theory and practice: training. manual 3rd ed., unchanged. Chernivtsi: Chernivtsi National University. Univ. 2020. 248 p.
2. Anti-crisis management [text]: training. manual / L.I. Skibytska, V.V. Matveev, V.I. Shchelkunov, S.M. Podryeza. – K.: Center of Educational Literature, 2014. 588p.
3. Hudz O.E., Strelnikova S.Yu. Management of strategic changes: study guide / O.E. Hudz, S.Yu. Strelnikova. – Lviv: SPOLOM, 2021. 200 p.
4. M. F. Dmytrychenko Transport technologies in logistics systems: Textbook / M. F. Dmytrychenko, P. R. Levkovets, A. M. Tkachenko, O. S. Ignatenko, L. G. Zayonchuk, I. M. Statnyk . – K.: INFORMA VTODOR. 2007. 676 p.
5. O. S. Ignatenko Passenger transportation [Text]: textbook / O. S. Ignatenko, V. S. Marunych; National Transport University. Part 1. – Kyiv, 2017. 265 p.
6. O. S. Ignatenko Passenger transportation [Text]: textbook / O. S. Ignatenko, V. S. Marunych; National Transport University. Part 1. – Kyiv, 2017. 283 p.
7. Infrastructural support for the development of the transport system of the region: collective: monograph / I.V. Zablodska, I.R. Buzko, O.O. Zelenko, I.O. Khoroshilova – Severodonetsk: Publishing house of SNU named after V. Dala, 2016. 193 p.
8. Yu. V. Kolyada Adaptive paradigm of economic dynamics modeling: monograph / Yu. V. Kolyada. – 2nd edition. processing and additional K.: KNEU, 2019. 367 p.
9. Korchevska L.O. Methodology of synergistic management of economic security of the enterprise: monograph / L.O. Korchevska. – Kherson: Vyshemyrskyi V.S. 2016. 468 p.
10. Kryvoruchko O.M. Quality management at road transport enterprises: theory, methodology and practice: [monograph] / O.M. Kryvoruchko – Kharkiv: Khnadu, 2020. 404 p.
11. Krivtsun L. A. Structural shifts in non-equilibrium economic systems: [monograph] / L. A. Krivtsun – Kharkiv: NTU «KhPI», 2020. 428 p.

12. Lutai V. S. The main question of modern philosophy. Synergetic question / V. S. Lutai. – K.: PARAPAN Publisher, 2004. 156 p.
13. Marchenko, V. M. Logistics: a textbook / V. M. Marchenko, V. V. Shutuk. – 2nd ed., supplement. – Kyiv: NUHT, 2022. 334 p.
14. Methods and models of synergistic effect qualimetry: [monograph / O. M. Reva, V. V. Kamyshyn, C. V. Radetska, A. V. Malynoshenska, E. A. Burdelna, L. M. Lypchanska; for sciences ed. O. M. Reva, V. V. Kamishyna. – Kyiv: National Academy of Sciences of Ukraine, 2021. 226 p.
15. Organizational and economic aspects of the development of business structures in Ukraine and the world: monogr. / for general ed. Dr. Econ. Sciences, Prof. T. Hryenko. – Dnipro: Bila K. O. Publisher, 2022. 400 p.
16. Organization and design of logistics systems [Text]: textbook / edited by M. P. Denysenko, P. R. Levkovets, L. I. Mykhailova. – Kyiv: Center for Educational Literature, 2018. 333 p.
17. Smirnov I.G. Transport logistics: a study guide for universities / Smirnov I.G., Kosareva T.V. – Kyiv: Center for Educational Literature, 2019. 224 p.
18. Tyurina N.M. Logistics: [study manual] / N.M. Tyurina, I.V. Goi, I.V. Womazer. – K.: Center of Educational Literature, 2015. 392 p.
19. Shevtsova G.Z. Synergetic management of enterprises: [monograph] / G.Z. Shevtsova; NAS of Ukraine, Institute of Industrial Economics. – Kyiv, 2016. 454 p.
20. Yurynets V.E. Basics of logistics: Education. village / V. E. Yurynets. – Lviv: Ivan Franko LNU Publishing Center, 2021. 211 p.
21. Fuchs H., Wohinz J.W. Risk management in logistics systems. Advances in Production Engineering & Management. 2009. Vol. 4. No. 4. P. 233–242.
22. Martin Christopher. Logistics and supply chain management: creating value-adding networks. 4th ed. 2011. 288

РЕФЕРАТ

Мельниченко О.І. Логістичне управління системою надання транспортних послуг населенню: антикризовий аспект/ О.І. Мельниченко, О.С. Ігнатенко, А.М. Дмитриченко, І.А. Дерезуз// Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

В статті досліджуються механізми формування засад логістичного управління системою надання транспортних послуг населенню з позицій синергетики й антикризового підходу. Систематизовано можливості досягнення ефективності системи надання послуг, її спрямованості на забезпечення належного рівня обслуговування. Показано, що синергетична взаємодія в логістичних ланцюжках системи досягається узгодженістю поведінки підсистем, цілеспрямованим зниженням ентропії, зростанням ступеня впорядкованості і самоорганізації, що є запорукою антикризового розвитку.

Об'єкт дослідження – відносини, пов'язані з логістичним антикризовим управлінням системою надання транспортних послуг населенню в Україні з позицій синергетики.

Мета роботи – здійснити аналіз та узагальнення підходів до забезпечення ефективності логістичного антикризового управління системою надання транспортних послуг населенню з позицій синергетики з урахуванням того, що особливістю функціонування такої системи є тісний взаємозв'язок, взаємодія і взаємопроникнення організаційних і технологічних елементів.

Методи дослідження – аналіз, синтез, моделювання, узагальнення, індукція, дедукція.

Сучасний розвиток системи надання транспортних послуг населенню пов'язаний з низкою проблем, які викликані досить гострою конкурентною боротьбою між приватними і комунальними підприємствами, швидкою змінною умов функціонування системи, необхідністю перманентного реформування. Як основа удосконалення управління системою надання транспортних послуг розглядається інтегрована концепція управління з використанням системно-синергетичного й логістичного підходів з врахуванням антикризових аспектів, як наукового напряму подальшого розвитку теорії випадкових процесів в не урівноважених транспортних системах. Для постановки і вирішення конкретних завдань управління системою надання транспортних послуг мають використовуватись критерії, що відображають особливості інтегрованої концепції управління. Зокрема, логістичне управління фінансовими потоками може відображати з одного боку забезпеченість розвитку системи послуг, її інвестиційну привабливість, а з іншого — результативність функціонування. Доведено, що досягнення позитивного результату в управлінні системою надання транспортних послуг можливе завдяки моделюванню синергетичного ефекту в

системі послуг і управлінні її поведінкою. Зокрема, це стосується опису процесів розвитку сфери споживання послуг транспорту населенням системними багаторівневими потоковими макромоделями, завдяки чому створюються умови формування єдиного технологічного простору. Це дозволить не тільки підвищити якість обслуговування населення, а й скоротити загальний термін удосконалення системи надання послуг, тривалість адаптації зміненої маршрутної системи громадського транспорту міста, а також трудомісткість виконання комплексу функцій й робіт й запобігти виникненню кризових ситуацій.

Результати досліджень можуть бути рекомендовані до впровадження транспортним підприємствам й організаціям, місцевими органам публічної влади для покращення управління системою надання транспортних послуг населенню України.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЛОГІСТИЧНЕ УПРАВЛІННЯ, СИСТЕМА ОБСЛУГОВУВАННЯ, НАСЕЛЕННЯ, ТРАНСПОРТНА ПОСЛУГА, ТЕХНОЛОГІЧНА СИСТЕМА, СИНЕРГЕТИЧНЕ УПРАВЛІННЯ, ІНТЕГРАЦІЙНИЙ ПІДХІД, АНТИКРИЗОВІ АСПЕКТИ, ЗАМОВНИК ПОСЛУГ.

ABSTRACT

Melnychenko O.I., Ignatenko O.S., Dmytrychenko A.M., Dereguz I.A. The Logistics management of the system for providing transportation services to the population: anti-crisis aspect . Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The article examines the mechanisms of forming the principles of logistics management of the system of providing transport services to the population from the standpoint of synergy and an anti-crisis approach. The possibilities of achieving the efficiency of the service delivery system, its focus on ensuring the proper level of service, have been systematized. It is shown that the synergistic interaction in the logistic chains of the system is achieved by the coherence of the behavior of the subsystems, the purposeful reduction of entropy, the increase in the degree of orderliness and self-organization, which is the key to anti-crisis development.

The object of the research is the relations related to the logistics anti-crisis management of the system of providing transport services to the population in Ukraine from the point of view of synergy.

The purpose of the work is to analyze and generalize approaches to ensuring the effectiveness of logistics anti-crisis management of the system of providing transport services to the population from the standpoint of synergy, taking into account the fact that the peculiarity of the functioning of such a system is the close relationship, interaction and interpenetration of organizational and technological elements.

Research methods – analysis, synthesis, modeling, generalization, induction, deduction.

The modern development of the system of providing transport services to the population is associated with a number of problems caused by a rather sharp competitive struggle between private and communal enterprises, the rapidly changing conditions of the system's functioning, and the need for permanent reform. The integrated concept of management using system-synergistic and logistic approaches, taking into account anti-crisis aspects, as a scientific direction of further development of the theory of random processes in unbalanced transport systems is considered as the basis for improving the management of the system of providing transport services. Criteria reflecting the features of the integrated management concept should be used to set and solve specific management tasks of the transport service provision system. In particular, the logistical management of financial flows can reflect, on the one hand, the security of the development of the service system, its investment attractiveness, and on the other hand, the effectiveness of its functioning. It is proven that achieving a positive result in the management of the system of providing transport services is possible thanks to the modeling of the synergistic effect in the service system and the management of its behavior. In particular, this refers to the description of the processes of development of the sphere of consumption of transport services by the population using systemic multi-level flow macro models, thanks to which the conditions for the formation of a single technological space are created. This will allow not only to improve the quality of public service, but also to shorten the overall period of improvement of the service delivery system, the duration of adaptation of the changed route system of the city's public transport, as well as the laboriousness of performing a complex of functions and works and prevent the emergence of crisis situations.

Research results can be recommended for implementation by transport enterprises and organizations, local public authorities to improve the management of the system of providing transport services to the population of Ukraine.

KEY WORDS: LOGISTICS MANAGEMENT, SERVICE SYSTEM, POPULATION, TRANSPORT SERVICE, TECHNOLOGICAL SYSTEM, SYNERGETIC MANAGEMENT, INTEGRATED APPROACH, ANTI-CRISIS ASPECTS, CUSTOMER OF SERVICES.

АВТОРИ:

Мельниченко Олександр Іванович, кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, e-mail: melnichenko@ntu.edu.ua, тел. +380506562446, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омелянович-Павленко 1, orcid.org/0000-0001-9694-9824

Ігнатенко Олександр Семенович, доктор технічних наук, Національний транспортний університет, професор, професор кафедри транспортних технологій, Київ, Україна, ignatenco@gmail.com, +38679059744, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омелянович-Павленко 1, orcid.org/0000-0003-0443-5469

Дмитриченко Андрій Миколайович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент, доцент кафедри транспортного права та логістики, e-mail: andrew_d@ukr.net, +380502816006, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омелянович-Павленко 1, orcid.org/0000-0001-6144-7533.

Дерегуз Ігор Андрійович, аспірант, Національний транспортний університет, аспірант кафедри транспортного права та логістики, e-mail: dereguz1998@ukr.net, +380677029831, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омелянович-Павленко 1, orcid.org/0000-0003-3119-3709.

AUTHOR:

Melnichenko Oleksandr, candidate of science in engineering, professor, National Transport University, the head of the department Manufacturing, Repair and Materials Engineering, e-mail: melnichenko@ntu.edu.ua, tel. +38(050)6562446, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka str. 1, orcid.org/0000-0001-9694-9824

Ignatenko Oleksandr, doctor of Technical Sciences, National Transport University, Professor, Professor of the Department of Transport Technologies, Kyiv, Ukraine, ignatenco@gmail.com, +38679059744, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka str. 1, orcid.org/0000-0003-0443-5469

Dmytrychenko Andrij, candidate of Engineering Sciences, National Transport University, Associate Professor, associate professor of department transport law and logistic, e-mail: andrew_d@ukr.net, +380502816006, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka str. 1 orcid.org/0000-0001-6144-7533.

Dereguz Igor, aspirant of department transport law and logistic, National Transport University, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka str. 1, dereguz1998@ukr.net, +380677029831, orcid.org/0000-0003-3119-3709.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Прокудін Г.С. доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Міжнародних перевезень та митного контролю» Національного транспортного університету, Київ, Україна.

Данченко О. Б., доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних наук та системного аналізу Черкаського державного технологічного університету, Черкаси, 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.

Danchenko O.B., Ph.D., Technical (Dr.), Professor, Professor of Computer Science and Systems Analysis of Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine.

ФОРМУВАННЯ УМОВ РУХУ НА МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ З ДІЛЯНКАМИ ЗМЕНШЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ

Поліщук В.П., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, polivol2013@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3145-7225

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

FORMATION OF TRAFFIC CONDITIONS ON THE MOTOR ROAD NETWORK WITH SECTIONS OF REDUCED CAPACITY

Polishchuk V.P., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, polivol2013@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3145-7225

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

Постановка проблеми. Рівень автомобілізації України з кожним роком зростає, мережа зазнає руйнувань в наслідок повномасштабного вторгнення РФ, несвоєчасних ремонтів та стихійних лих і призводить до збільшення об'ємів транспортних потоків на мережі автомобільних доріг через зниження пропускної здатності окремих ділянок мережі. З метою підтримання існуючих умов руху на мережі необхідно вирішувати питання проведення такого розподілу транспортних потоків на мережі, який би забезпечував економічні потреби суспільства.

Аналіз останніх публікацій. Дослідженням умов руху та пропускної здатності на мережі автомобільних доріг займалися вчені: Поліщук В.П., Дзюба О.П., Нагребельна Л.П., Лановий О.Т., Вознюк А.Б.

У роботі [1] увага авторів приділяється підвищенню рівня безпеки руху за рахунок відсутності ділянок, на яких може виникнути різка зміна умов руху транспортного потоку. В [2] розглянуто понятійний апарат теорії транспортного потоку через основні характеристики та аналітичні моделі транспортного потоку. Метою роботи [3] є аналіз та дослідження впливу інтелектуальних систем на управління транспортними потоками в залежності від умов їх формування. В роботі [4] увага авторів приділяється виникненню і природі формуванні заторів з різних причин, що призводить до збільшення часу руху транспортних засобів, зниження безпеки та ефективності руху. У [5] приведено визначення поняття пропускної здатності автомобільної дороги як просторова-часова імовірнісна характеристика. В [6] удосконалено технічні засоби організації дорожнього руху для управління транспортними потоками на проїзній частині. Стаття [7] присвячена аналізу режимів руху транспортних засобів на мережі автомобільних доріг загального значення на підставі даних Системи WIM.

Мета: Розробка критерію безпечних та безперешкодних умов руху.

Основна частина. Для обґрунтування критерію безпечних та безперешкодних умов руху необхідно враховувати процес формування руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг загального користування під впливом різного роду перешкод. При обґрунтуванні критерію безпечних та безперешкодних умов руху необхідно виходити, що кінцевою метою досліджень і запропонованих заходів має бути забезпечена ефективність перевезень мережею на певному рівні.

Найбільш ефективними способами досягнення мінімуму витрат для забезпечення певного обсягу перевезень є зменшення тривалості пробігу і вжиття заходів щодо поліпшення транспортно-експлуатаційних показників мережі автомобільних доріг загального користування.

Перешкоди, що виникають на мережі автомобільних доріг загального користування, навпаки, призводять до збільшення пробігу через об'їзд закритих або перекритих ділянок мережі, а також зменшення транспортно-експлуатаційних показників. Виникнення тієї чи іншої перешкоди можна

вважати «неминучим» явищем – будь то надзвичайні ситуації або заплановані дорожні роботи, що «так чи інакше» потрібно проводити.

Критерії, за якими буде здійснюватися оцінка транспортно-експлуатаційних показників в результаті загального впливу перешкод руху. Практично перешкоди впливають на всі транспортні та експлуатаційні показники: час руху, швидкість руху, збільшення шляху руху в результаті через об'їзд, збільшення транспортних витрат. Тому для оцінки впливу перешкод руху мережею автомобільних доріг загального користування необхідно використовувати критерії, що є вирішальними по відношенню до інших.:

– величина інтенсивності руху на будь-якій з ділянок маршруту, де відбувається об'їзд «перешкоди», не повинна перевищувати величину пропускної здатності ділянки:

$$0 \leq N_z \leq N_{\max,z} \quad (1)$$

де $N_{\max,z} = P_z$

N_z – інтенсивність руху на z -му перегоні;

P_z – пропускної здатності на z -му перегоні.

При цьому:

$$0 \leq N_{ij} \leq N_{\max ij}, \quad (2)$$

Де N_{ij} – пропускна здатність i -го перехрестя

$N_{\max ij}$ – величина пропускної здатності i -го перехрестя в j -му напрямку;

– збільшення загального часу, витраченого на проїзд мережі автомобільних доріг загального користування за рахунок збільшення пробігу при об'їзді перешкод, що сталися, або за рахунок зменшення пропускної здатності ділянок мережі автомобільних доріг, де виникла перешкода, у зв'язку зі збільшенням інтенсивності руху на об'їзних маршрутах. Мінімальним сумарним часом проїзду мережі є критерій оптимального розподілу транспортних потоків при об'їзді місць перешкод руху.

Допустима межа для збільшення загального часу руху транспортних потоків в результаті перешкод у русі i , як наслідок, перерозподілу транспортних потоків, необхідно оцінити сукупність характеристики системи «Дорожні умови – транспортні потоки» і вплив «критичних ділянок», що знижують ефективність функціонування мережі. Тому, необхідно мати інформацію про обсяги і величини швидкості руху перегонами, величини витрат часу, щільність потоку та інтенсивності руху.

Таку інформацію необхідно отримати в період найбільшої інтенсивності руху протягом дня. У цьому випадку вплив кожного критичного розділу можна кількісно оцінити величиною часу затримки, що виникає внаслідок збільшення інтенсивності руху, щільності потоку.

Для аналізу умов дорожнього руху необхідно розділити мережу на окремі ділянки за певними ознаками однорідності. Така однорідність визначається або величиною інтенсивності руху, або геометричними елементами дороги.

Таким чином, на кожній ділянці розрізняють «вхід» і «вихід» та визначають місця істотної зміни умов руху. Для зручності обробки та аналізу отриманих матеріалів шифруються всі мережеві магістралі, кодуються окремі секції. Дані про щільність потоку, швидкість руху, час у дорозі, а також інтенсивність руху повинні бути об'єднані таким чином, щоб одержати кількісну оцінку затримок, що відбуваються на «критичних ділянках».

Загальні втрати в будь-якій області i за j -го період часу визначаються за формулою:

$$B_{ij} = \frac{N_{ij} \cdot L_i}{V_{ij}}, \quad (3)$$

де N_{ij} – інтенсивність руху на ділянці i в період часу j ;

L_i – довжина i -ої ділянки, км;

$\bar{V}_{ij}$ – середня швидкість руху по всіх смугах ділянки за час j , км/год.

Загальні втрати на мережі автомобільних доріг загального користування за певний період часу:

$$B = \sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^m \frac{N_{ij} \cdot L_i}{\bar{V}_{ij}}, \quad (4)$$

де n – кількість періодів часу;

m – кількість ділянок на мережі автомобільних доріг.

Кількість автомобілів на мережі автомобільних доріг за період t :

$$N(t)_i = L_i k_i \bar{\lambda}(t)_i, \quad (5)$$

де k_i – кількість смуг руху на ділянці i

$\bar{\lambda}(t)_i$ – середня щільність на ділянці i за період часу t .

Загальна кількість автомобілів на мережі автомобільних доріг в період що розглядається:

$$N(t) = \sum_{i=1}^n L_i k_i \bar{\lambda}(t)_i, \quad (6)$$

Загальні втрати часу на даній мережі автомобільних доріг за час між t_o і t_n :

$$B = \int_{t_o}^{t_n} N(t) dt. \quad (7)$$

За результатами попередніх досліджень втрати часу та швидкість руху є нормальною, оскільки вони пов'язані з проходженням мережею автомобільних доріг від початку до кінця і можуть бути різними в залежності від часу доби. Затримки – збільшення втрат часу на проїзд мережею автомобільних доріг вище нормальних втрат. Така ситуація виникає, коли умови руху не дозволяють зберегти величину втрату часу на одному рівні, для визначення критичного значення швидкості руху, нижче якого умови руху слід вважати «нетиповими».

Затримка одного автомобіля на ділянці i :

$$t_{\text{затр},i} = \frac{L_i}{V_i} - \frac{L_i}{V_{kp}} = L_i \left(\frac{1}{V_i} - \frac{1}{V_{kp}} \right), \quad (8)$$

де V_i – швидкість руху автомобіля в нормальних умовах, км/год;

V_{kp} – критична швидкість, нижче якої відбуваються затримки руху, км/год.

Загальна затримка всіх автомобілів на ділянці i протягом часу j :

$$t_{\text{затр},ij} = \begin{cases} L_i N_{ij} \left(\frac{1}{\bar{V}_{ij}} - \frac{1}{V_{kp}} \right) & \text{при } \bar{V}_{ij} < V_{kp} \\ 0 & \text{при } \bar{V}_{ij} > V_{kp} \end{cases}; \quad (9)$$

Враховуючи, що

$$N_{ij} = \overline{V_{ij}} k_i \overline{\lambda}(t_j)_i,$$

можна визначити затримки на мережі автомобільних доріг:

$$t_{\text{затр}} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \left(L_i k_i \overline{\lambda}(t_j)_i - \frac{\overline{V_{ij}} \overline{\lambda}(t_j)_i}{V_{kp}} \right), \quad (10)$$

де $\overline{\lambda}(t_j)_i$ – середня щільність потоку для смуги руху на дорожній мережі за час t (t – кінець часового інтервалу j).

Для вирішення виразу (2.10), де $\overline{\lambda}(t_j)_i$, V_{ij} а також V_{kp} , тобто існує критична щільність потоку λ_{kp} , що відповідає критичній швидкості руху «критичної ділянки»:

$$\lambda_{kp} = \frac{\overline{V_{ij}} \overline{\lambda}(t_j)_i}{V_{kp}}. \quad (11)$$

Затримки на мережі автомобільних доріг i для часу j можна визначити за формулою:

$$t_{\text{затр},ij} = \begin{cases} L_i (\overline{\lambda}(t_j)_i - \lambda_{kp}) & \text{при } \overline{\lambda}(t_j)_i > \lambda_{kp}; \\ 0 & \text{при } \overline{\lambda}(t_j)_i < \lambda_{kp}. \end{cases} \quad (12)$$

що дає можливість визначити вплив «критичних ділянок» на іншій мережі автомобільних доріг, в той час як загальні затримки на «критичних ділянках»:

$$t_{\text{затр}} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m t_{\text{затр},ij}, \quad (13)$$

де m – кількість об'єктів, де виникла критична ситуація;

n – кількість часових періодів, протягом яких існує критична ситуація.

Процес утворення «критичної ділянки» відбувається у вигляді накопичення автомобілів у зв'язку зі збільшенням інтенсивності руху за період t :

$$S(t_j) = \begin{cases} \sum_{i=1}^m (L_i k_i (\overline{\lambda}(t_j)_i - \lambda_{kp})) & \text{при } \overline{\lambda}(t_j)_i > \lambda_{kp}; \\ 0 & \text{при } \overline{\lambda}(t_j)_i \leq \lambda_{kp}. \end{cases} \quad (14)$$

Рівняння (14) може бути модифіковане з урахуванням накопичення, через надходження автомобілів на дану ділянку:

$$S(t_j) = \begin{cases} \sum_{i=1}^m (L_i k_i (\overline{\lambda}(t_j)_i - \lambda_{kp})) + S_{\text{п}ij} & \text{при } \overline{\lambda}(t_j)_i > \lambda_{kp}; \\ 0 & \text{при } \overline{\lambda}(t_j)_i \leq \lambda_{kp}. \end{cases} \quad (15)$$

За наявності з'їзду в зоні ділянки (а саме на початку) частина скупчення автомобілів може використовувати його для вибору іншого маршруту руху, за умови:

$$d_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_{(i-1)j}} < 1,$$

де $N_{(i-1)j}$ – інтенсивність руху на попередній ділянці автомобільних доріг.

Тоді скупчення автомобілів на «критичній ділянці»:

$$S(t_j) = \begin{cases} \sum_{i=1}^m (d_{ij}(L_i k_i (\bar{\lambda}(t_j)_i - \lambda_{кр})) + S_{п ij} & \text{при } \bar{\lambda}(t_j)_i > \lambda_{кр}; \\ 0 & \text{при } \bar{\lambda}(t_j)_i \leq \lambda_{кр}. \end{cases} \quad (16)$$

Критеріальна функція може бути описана:

$$T_p \leq Z \cdot T, \quad (17)$$

де T – сумарний час проїзду транспортних засобів мережею автомобільних доріг без впливу перешкод;

T_p – сумарний час проїзду транспортних засобів мережею автомобільних доріг під впливом перешкод.

Z – коефіцієнт допустимого збільшення сумарного часу проїзду, розрахований для конкретної мережі.

При цьому

$$T = \sum_{i=1}^{Na} t(a, i), \quad (18)$$

де $t(a, i)$ – час проїзду i -им транспортним засобом дорожньою мережею;

N_a – загальна кількість транспортних засобів на мережі автомобільних доріг;

В результаті руху на перегонах та перехрестях мережею автомобільних доріг формуються транспортні потоки певної інтенсивності. Сумарний час руху транспорту мережею автомобільних доріг можна представити в наступному вигляді:

$$T = \sum_{z=1}^{m_n} N_z t_z(N_z) + \sum_{i=1}^{m_y} \sum_{j=1}^{n_i} t_{i,j}(N_{i,j}), \quad (19)$$

де N_z – інтенсивність руху по z -му перегону;

$t_z(N_z)$ – час проїзду z -го перегону;

m_n – кількість перегонів на мережі ;

$N_{i,j}$ – інтенсивність руху в j -му напрямку руху i -го перехрестя;

$t_{i,j}(N_{i,j})$ – час проїзду i -го перехрестя в j -ому напрямку руху;

n_i – загальна кількість напрямків руху на i -му перехресті мережі;

m_y – загальна кількість перехресть на мережі.

Оскільки ефективне функціонування мережі автомобільних доріг може здійснюватися за умови, що інтенсивність руху на перегонах та перехрестях не повинна перевищувати їх пропускну здатність, тому умови (1) та (2) є обмеженнями на критеріальну функцію (19).

Загалом, порядок вирішення задачі оптимізації планування виконання робіт на мережі автомобільних доріг загального користування за допомогою критеріальної функції буде наступний:

- задається певна мережа автомобільних доріг;
- обчислюється мінімальний сумарний час руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг;
- моделюються оптимальне розподілення транспортних потоків за напрямками руху;
- вводиться перешкода руху на даний перегін;
- моделюється оптимальний розподіл транспортних потоків за напрямками руху з урахуванням впливу даної перешкоди;
- на перехрестях та перегонах маршрутів об'їзду аналізується пропускна здатність.

Висновок:

Задача оптимізації, полягає в розподілі запланованих перешкод в часі і в просторі таким чином, щоб уникнути різкого падіння транспортно-експлуатаційних показників через комбінованого впливу перешкод на будь-якій ділянці мережі автомобільних доріг загального користування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Поліщук В. П. До питання управління безпекою руху на автомобільних дорогах загального користування / В. П. Поліщук, Т. В. Бондар // Вісник Національного транспортного університету. – 2007. № 15. – С. 109–113.
2. Поліщук В.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху : навч. посіб. / В.П. Поліщук, О.П. Дзюба. – К.: Знання, 2008. – 170с.
3. Нагребельна Л.П. Інноваційні методи організації дорожнього руху при управлінні транспортними потоками. / Нагребельна Л.П., Корчевська А.А., Виговська І.А., Шелест В.В. // Тези доповіді: Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні транспортні системи: екологія, безпека, якість, комфорт». (м. Київ, 29 – 30 листопада 2022 року). – Київ – Національний транспортний університет, 2022 С.185-190. URL: ITS ESQC – Матеріали конференції (google.com)
4. Han, L., Zhang, L., Guo, W. Optimal Differential Variable Speed Limit Control in a Connected and Autonomous Vehicle Environment for Freeway Off-Ramp Bottlenecks [Retrieved from]. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/JTEPBS.TEENG-7456>
5. Гаврилов Е.В. Організація дорожнього руху / Е.В. Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В.К. Доля, О.Т. Лановий, І.Е. Линник, В.П. Поліщук // Системологія на транспорті: Підручник; за заг. ред. М.Ф. Дмитриченка. – К.: Знання України, 2005-Кн.1: / -452 с.
6. Нагребельна Л.П. Удосконалення управління дорожнім рухом на магістральній вулично-дорожній мережі: дис. доктора філософії: 275/ Нагребельна Людмила Павлівна. – Київ, НТУ, – 2021. 192с.
7. Вознюк А.Б. Дослідження даних системи зважування в русі з метою актуалізації коефіцієнтів зміни інтенсивності руху/ Вознюк А.Б., Райковський В.Ф., Каськів В.І., Загорняк О.В. // Дороги і мости. Київ, 2022. Вип. 26. С. 228–238. – Режим доступу: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.26.228>

REFERENCES

1. Polishchuk, V.P., & Bondar T.V. (2007). Do pytannia upravlinnia bezpekoiu rukhu na avtomobilnykh dorohakh zahalnoho korystuvannia [The issue of traffic safety management on highways is overused] Visnik Natsionalnoho transportnoho universitetu – Bulletin of the National Transport University, 15, pp113-121. [in Ukrainian].
2. Polishchuk, V.P., & Dzyuba, O.P.(2008). *Teoriya transportnogo potoku: metodi ta modeli organizacii dorozhn'ogo ruhu* [Theory of traffic flow: methods and models of traffic management]. Kiev: Znannia. [in Ukrainian].
3. Nagrebelna, L.P., Korchevska, A.A., Vygovska, I.A., & Shelest, V.V. (2022). Innovatsiini metody orhanizatsii dorozhnoho rukhu pry upravlinni transportnyh potokamy. [Innovative methods of traffic organization in the management of traffic flows.] Proceedings from *Mizhnarodna naukova konferentsiia «Intelektualni transportni systemy: ekolohiia, bezpeka, yakist, komfort»*. – International

scientific conference «Intelligent transport systems: ecology, safety, quality, comfort». (pp. 185-190). Kiev:NTU. [in Ukrainian].

4. Han, L., Zhang, L., & Guo, W.(2023). Optimal Differential Variable Speed Limit Control in a Connected and Autonomous Vehicle Environment for Freeway Off-Ramp Bottlenecks. Retrieved from <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/JTEPBS.TEENG-7456> [in China].

5. Gavrilov, E.V., Dmytrychenko, M.F., Fate, V.K., Lanovy, O.T., Linnyk, I.E., & Polishchuk, V.P. (2005) Orhanizatsiia dorozhnoho rukhu [Organization of traffic]. *Systemolohiia na transporti – Systemology in transport* (Vol. 5) Kiev: Znannia. [in Ukrainian].

6. Nagrebelna, L.P. (2021). Udoskonalennia upravlinnia dorozhnim rukhom na mahistralnii vulychno-dorozhnii merezhi [Improvement of traffic management on the trunk road network].*Doctor Phd*. Kiev:NTU. [in Ukrainian].

7. Vozniuk, A., Raikovskiy, V., Kaskiv, V., & Zahornya, O. (2022). Study of weigh in motion data for traffic volume coefficients updating. *Dorogi i mosti [Roads and bridges]*. Iss. 26. pp. 228–238 [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Поліщук В.П. Формування умов руху на мережі автомобільних доріг з ділянками зменшення величини пропускної здатності / В.П. Поліщук, І.А. Виговська // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

Стаття присвячена актуальному напрямку досліджень щодо формування умов руху на мережі автомобільних доріг з ділянками зменшення пропускної здатності, що зазнає руйнувань в наслідок повномасштабного вторгнення РФ, несвоєчасних ремонтів та стихійних лих.

Внаслідок військових дій формується в часі схема організації дорожнього руху яка послідовно змінюється в разі виконання дорожньо-будівельних робіт і зміни мережі автомобільних доріг загального користування як по протяжності так і по якісних показниках дорожнього одягу, штучних споруд, схеми руху і організації дорожнього руху.

Рівень автомобілізації України з кожним роком зростає і призводить до збільшення об'ємів транспортних потоків на мережі автомобільних доріг через зниження пропускної здатності окремих ділянок мережі. З метою підтримання існуючих умов руху на мережі необхідно вирішувати питання проведення такого розподілу транспортних потоків на мережі, який би забезпечував економічні потреби суспільства.

Об'єкт дослідження – рух транспортних потоків.

Мета роботи – розробка критерію безпечних та безперешкодних умов руху.

Основний обсяг перевезень вантажів та пасажирів припадає на автомобільний транспорт, що сильно впливає на завантаження мережі.

У статті запропоновано порядок вирішення задачі оптимізації планування виконання робіт на мережі автомобільних доріг загального користування за допомогою критеріальної функції.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОМОБІЛЬНА ДОРОГА, ТРАНСПОРТНИЙ ПОТІК, ІНТЕНСИВНІСТЬ РУХУ, ПРОПАСКНА ЗДАТНІСТЬ.

ABSTRACT

Polishchuk V.P, Vyhovska I.A. Formation of traffic conditions on the motor road network with sections of reduced capacity. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The article is devoted to the current direction of research on the formation of traffic conditions on the highway network with areas of reduced capacity, which is subject to destruction as a result of the full-scale invasion of the Russian Federation, untimely repairs and natural disasters.

As a result of military operations, a road traffic organization scheme is formed over time, which is constantly changing in the event of road construction works and changes in the network of public roads, both in terms of length and quality indicators of road clothing, artificial structures, traffic patterns and traffic organization.

The level of motorization in Ukraine is increasing every year and leads to an increase in the volume of traffic flows on the highway network due to a decrease in the carrying capacity of certain sections of the network. In order to maintain the existing traffic conditions on the network, it is necessary to resolve the issue of carrying out such a distribution of traffic flows on the network that would ensure the economic needs of society.

The object of research is the movement of traffic flows.

The purpose of the work is to develop a criterion for safe and unhindered traffic conditions.

The main volume of cargo and passenger transportation is accounted for by road transport, which strongly affects network loading.

The article proposes a procedure for solving the task of optimizing the planning of works on the network of public highways using a criterion function.

KEY WORDS: MOTOR ROAD, TRAFFIC FLOW, TRAFFIC INTENSITY, PASSING CAPACITY.

АВТОР:

Поліщук Володимир Петрович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри транспортних систем і безпеки дорожнього руху, e-mail: tsbdr@ukr.net. Тел 0442804885, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 432а, orcid.org/0000-0003-3145-7225.

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. Омеляновича-Павленка 1, к.435. orcid.org/0000-0003-1426-9863.

AUTHOR:

Polishchuk Volodymyr, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, the Head of the Department of Transport System and Traffic Safety, e-mail: tsbdr@ukr.net. Tel 0442804885, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovicha-Pavlenko str. 1, of. 432a, orcid.org/0000-0003-3145-7225.

Vyhovska Inna., National Transport University head of laboratory Transport Systems and Traffic Safety, e-mail: i.vyhovska2609@gmail.com, tel. +380442804885, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovicha-Pavlenko str. 1, of. 435 orcid.org /0000-0003-1426-9863.

РЕЦЕЗЕНТИ:

Форнальчик Євген Юліанович, доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», завідувач кафедри транспортних технологій. Львів, Україна.

Прокудін Георгій Семенович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю. Київ, Україна.

REVIEWERS:

Fornalchuk Yevhen Yulianovych, Doctor of Engineering, Professor, Lviv Polytechnic National University, head of Department Head «Transport Technologies» Lviv, Ukraine.

Prokudin Geogriy Semenovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University head of Department Head «International Transportation and Customs Control» Kyiv, Ukraine.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РОБОТИ РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛЯ ПРИ ДОЛАННІ ДОРОЖНЬОЇ НЕРІВНОСТІ НА БЕЗПЕКУ РУХУ

Поляков В. М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, poljakov_2006@ukr.net, orcid.org/0000-0001-7042-3066

Разбойников О. О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, razboyn1k@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3024-0999

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE STEERING OPERATION OF THE VEHICLE WHEN OVERCOMING ROAD BUMPS ON TRAFFIC SAFETY

Poliakov V. M., Candidate of Engineering Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, poljakov_2006@ukr.net, orcid.org/0000-0001-7042-3066

Razboynikov O. O., Candidate of Engineering Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, razboyn1k@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3024-0999

Постановка проблеми.

Безперечно рух автомобіля по рівній дорозі з високою якістю покриття є найбільш раціональним з точки зору впливу на будь-яку його експлуатаційну властивість, у тому числі на ту, що відповідає за безпеку руху автомобіля (керуваність, стійкість тощо). Проте, в реальних умовах дорожнє покриття з часом руйнується, а на деяких ділянках воно взагалі відсутнє. Разом з тим рух автомобіля по нерівній дорозі супроводжується динамічними навантаженнями, що діють в контактні автомобільного колеса з нерівною поверхнею дороги. При цьому еластична шина деформується в різних напрямках, що супроводжується силами і моментами, які через обід, диск та маточину передаються на систему рульового керування автомобіля та його підвіску. Зазначені процеси можуть призвести не тільки до коливань підресореної та невідресорених мас автомобіля (вплив на плавність ходу, паливну економічність тощо), а й до зміни напрямку руху та виходу його габаритів за межі коридору безпеки (втрата курсової стійкості) [1]. Відповідно дорожні нерівності впливають негативно не тільки на комфортабельність руху автомобіля, а й на його безпеку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Особливості долаття дорожньої нерівності автомобілем розглядалося в багатьох роботах. Зокрема, в роботі [2] розглянуто вплив геометричних параметрів дорожньої нерівності гармонічного профілю на реакції в контактні шини з опорною поверхнею. Параметри роботи підвіски автомобіля при його русі по нерівній опорній поверхні визначено в роботі [3]. Вплив швидкості руху автомобіля по нерівній дорозі на зміну сил, що діють в його ходовій частині, досліджувалося в роботі [4]. Підвищенню точності оцінки стійкості автомобілів і тракторів при наїзді на збурення присвячена робота [5]. Теоретичне дослідження руху автомобіля по дорозі, що має нерівність на шляху коліс обох бортів автомобіля, проведено в роботі [6]. Теоретичне дослідження руху автомобіля з вільним рульовим колесом по дорозі, що має нерівність на шляху коліс лівого борта автомобіля, проведено в роботі [7]. В роботі [8] наведено результати експериментального та теоретичного досліджень курсової стійкості руху фізичної моделі автомобіля з пасивною та активною підвісками його коліс по нерівній дорозі. В роботі [9] наведено результати теоретичних досліджень руху автомобіля, що долає дорожню нерівність на різних швидкостях, як з вільним рульовим колесом так і з зафіксованим, проте, не наведено аналізу впливу роботи рульового керування автомобіля на безпеку його руху. Зазначене, викликає інтерес у проведенні дослідження щодо впливу роботи рульового керування автомобіля при долаття дорожньої нерівності на безпеку його руху.

Мета роботи полягає у виявленні впливу роботи рульового керування автомобіля при долаття дорожньої нерівності на безпеку руху шляхом теоретичних досліджень курсової стійкості руху автомобіля по нерівній дорозі з вільним та зафіксованим рульовим колесом.

Основна частина.

З точки зору безпеки руху автомобіля останній має рухатись в межах так званого «коридору безпеки», під яким розуміється уявний простір, в регламентованих межах якого автомобіль не є причиною небезпеки для руху [1].

Ширина коридору безпеки B_k визначається з урахуванням особливостей зовнішнього дизайну сучасних автомобілів (рис. 1) [10] і тенденції до зменшення ширини смуги руху B_c в містах України (згідно ДБН В.2.3-5:2018 «Вулиці і дороги населених пунктів» [11] на місцевих житлових вулицях і дорогах усіх населених пунктів ширина смуги руху складає 2,75 м), а також з урахуванням того, що автомобіль до початку дії збурення може рухатись в смузі руху з поперечним зміщенням. При цьому ширина коридору безпеки B_k не може бути більшою за ширину смуги руху B_c [1]

$$B_k = \begin{cases} (B + B_{\text{ш}}) \cdot 1,1 + 0,25 \text{ м} & , \text{ якщо } (B + B_{\text{ш}}) \cdot 1,1 + 0,25 \text{ м} < B_c \\ B_c & - \text{ в інших випадках} \end{cases} \quad (1)$$

де B – колія автомобіля, м;
 $B_{\text{ш}}$ – ширина поперечного профілю шини, м.

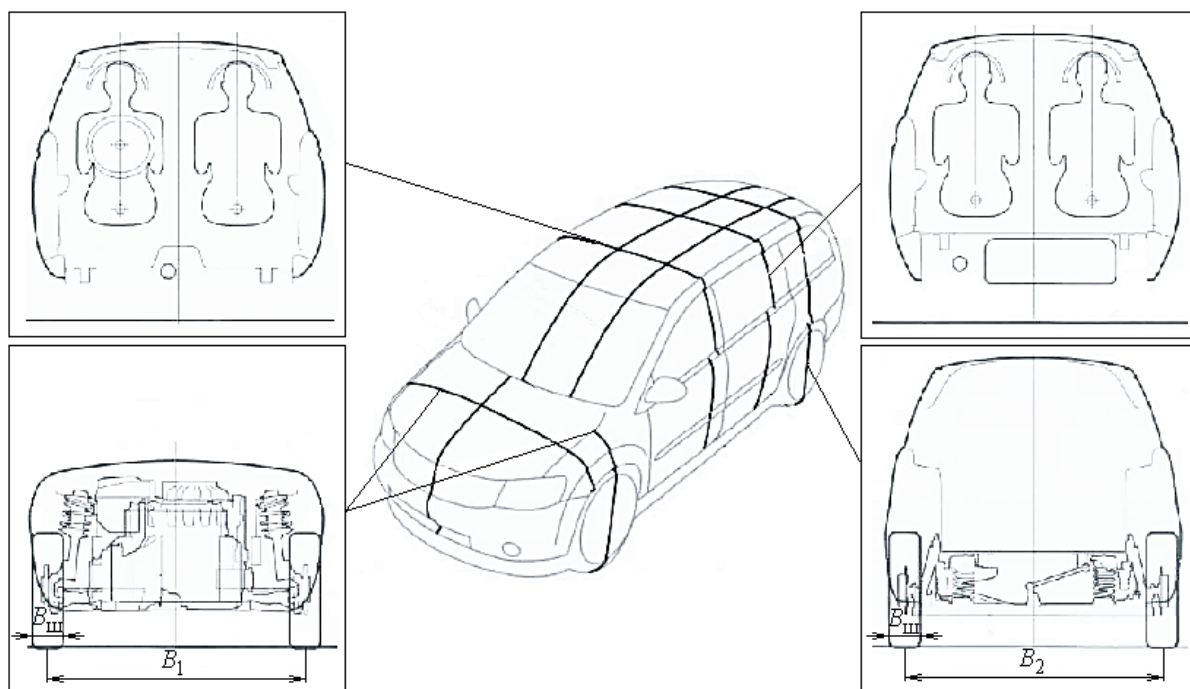


Рисунок 1 – Особливості зовнішньої форми сучасного автомобіля [1]
 Figure 1 – Features of the external form of a modern car [1]

Варто зазначити, що в ДСТУ 3310-96 «Стійкість. Методи визначення основних параметрів випробуваннями» [12] визначається швидкість (критична), при якій відбувається порушення курсової стійкості під час виконання маневру «переставка». Разом з тим в ДСТУ ISO 8855-2014 «Колісні транспортні засоби. Динаміка та курсова стійкість. Словник термінів» [13] зазначається, що нижче цієї (критичної) швидкості автомобіль з надлишковою поворотністю стійкий, в протилежному випадку стійкість втрачається. При цьому, як зазначається в наведеному вище стандарті, для транспортних засобів з недостатньою та нейтральною поворотністю критичної швидкості не існує [1]. Крім того, в роботі [9] виявлено неоднозначний вплив швидкості автомобіля на параметри його руху, що відповідають за його безпеку. Тому в якості оцінювання безпеки руху автомобіля обрано час від початку дії збурення на автомобіль до виходу його габаритів за межі коридору безпеки. За додаткові критерії оцінювання прийнято курсовий кут автомобіля та поперечне відхилення центру його мас через 1,5 с після початку дії збурення [1].

Теоретичне дослідження курсової стійкості руху автомобіля по нерівній дорозі з вільним та зафіксованим рульовими колесами проведено на основі математичної моделі, що запропонована в роботі [1], де загальне рівняння моментів сил, що діють в рульовому керуванні автомобіля, записано у вигляді

$$J_{\theta}^{\text{пр}} \cdot \ddot{\theta} = M_{\tau} + M_y + M_n + M_{\text{ст}} + M_{\omega} + M_{\text{гпр}} + M_v + M_{\tau} + M_d, \quad (2)$$

де $J_{\theta}^{\text{пр}}$ – сумарний момент інерції приведений до осей повороту керованих коліс, кг/м²;
 θ – кут повороту керованих коліс, град;
 M_t, M_y, M_n – відповідно моменти від дії тангенційних, бічних, та нормальних реакцій опорної поверхні на керовані колеса автомобіля, Н·м;
 $M_{\text{ст}}$ та M_{ω} – відповідно стабілізуючий момент шин та опору їх повороту під час кочення, Н·м;
 $M_{\text{гір}}$ – гіроскопічний момент, Н·м;
 M_v – момент від дії вертикальних сил інерції на керовані колеса автомобіля, Н·м;
 M_t та M_d – відповідно моменти сухого та в'язкого тертя в рульовому керуванні, Н·м.

Проте, в зазначеній роботі [1] не розглядався рух автомобіля із зафіксованим рульовим колесом, тому не враховувалась жорсткість рульового керування. Разом з тим, Чайковський І. П. зазначає, що жорсткість (або піддатливість) рульового керування, визначає точність керування, чутливість до керуючого впливу, пружні повороти керованих коліс під дією бічних сил, схильність до коливань під дією зовнішніх збурень, демпфування поштовхів та ударів від нерівностей дороги. При цьому, Литвинов А. С. наголошує, що внаслідок цього явища, при незмінному положенні рульового колеса випадкові сили, що діють на керовані колеса, змінюють їх положення, а отже, і параметри руху автомобіля, що погіршує його керованість [1].

В роботі [14] наведено характеристику (рис. 2), отриману в результаті вимірювання жорсткості системи рульового керування в легковому автомобілі з рейковим рульовим механізмом, що відображає «складову кута повороту рульового колеса внаслідок пружності» згідно стандарту DIN 70 000. Під час вимірювання керовані колеса були заблоковані. Максимальне значення крутного моменту на рульовому колесі сягало 70 Н·м, що відповідає силі 184 Н, прикладеній до рульового колеса діаметром 380 мм (що відповідає зусиллю однієї руки). Зазначене дає можливість зробити висновки щодо жорсткості системи рульового керування, а також залишкового кута повороту рульового колеса в наслідок гістерезисних втрат, під час руху автомобіля [14].

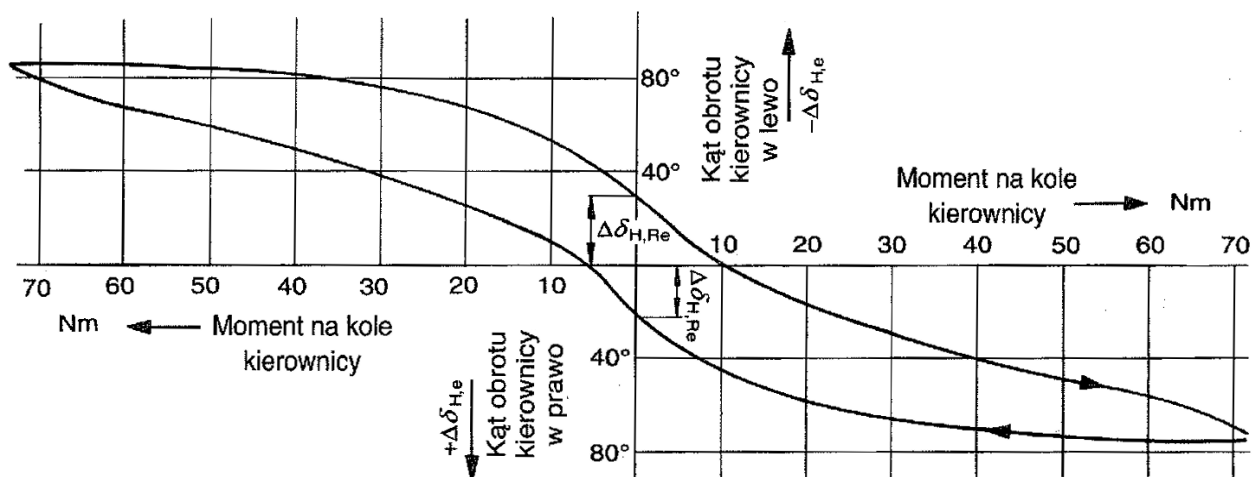


Рисунок 2 – Залежність кута повороту рульового колеса від моменту, що прикладений до нього при заблокованих керованих колесах [14]
 Figure 2 – The dependence of the angle of rotation of the steering wheel on the torque applied to it with the steered wheels locked [14]

В Стандарті DIN 70 000 жорсткість рульового керування визначено як жорсткість на кручення всіх деталей, що зазнають навантаження при повороті рульового колеса або керованих коліс, приведену відповідно до рульового колеса або поворотних цапф. В певних діапазонах жорсткість рульового керування може розглядатись як постійна [14].

Солтус А. П. зазначає, що при закручуванні керованого колеса відносно рульового, виникає пружний момент у рульовому керуванні, що визначається як [15]

$$M_p = c_p \cdot \theta, \quad (3)$$

де c_p – жорсткість рульового керування, Н·м/рад.

З урахуванням вище зазначено, для математичного моделювання руху автомобіля з зафіксованим рульовим колесом рівняння (2) має враховувати пружний момент у рульовому керуванні (3). Тому, рівняння моментів сил, що діють в рульовому керуванні автомобіля, запишемо

$$J_{\theta}^{\text{пр}} \cdot \ddot{\theta} = M_{\tau} + M_y + M_n + M_p + M_{\text{ст}} + M_{\omega} + M_{\text{іпр}} + M_v + M_T + M_d. \quad (4)$$

На початку моделювання автомобіль рухається рівномірно прямолінійно на швидкості 60 км/год вздовж коридору безпеки, займаючи в поперечному січені останнього центральне положення. Колесами лівого борту долає одиничну нерівність гармонічного профілю (висота нерівності обмежена амплітудою косинусоїди 0,075 м, а довжина – її періодом 1,00 м). Основні параметри автомобіля, що використовувались при моделюванні наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Основні параметри автомобіля категорії М1, що використовувались в математичному моделюванні [1]

Table 1 – The main parameters of the M1 category car that were used in mathematical modeling [1]

Найменування параметру, одиниці вимірювання	Значення
повна маса автомобіля, кг	1004
непідресорена маса підвіски колеса автомобіля, кг	19,5
маса колеса автомобіля, кг	10,0
момент інерції несучої системи автомобіля відносно його повздовжньої осі, кг/м ²	363
момент інерції несучої системи автомобіля відносно його поперечної осі, кг/м ²	1131
момент інерції несучої системи автомобіля відносно його вертикальної осі, кг/м ²	1328
моменти інерції колеса автомобіля відносно осі його обертання, кг/м ²	0,540
момент інерції колеса автомобіля відносно його вертикальної осі, кг/м ²	0,236
передня колія автомобіля, м	1,312
задня колія автомобіля, м	1,314
колісна база автомобіля, м	2,440
відстань від центру підресорених мас автомобіля до його передньої осі, м	0,932
відстань від центру підресорених мас автомобіля до його задньої осі, м	1,508
висота центру підресорених мас автомобіля, м;	0,475
вільний радіус колеса автомобіля, м	0,290
висота профілю шини, м	0,125
ширина поперечного профілю шини, м	0,176
відстань між точками пересічення осей повороту керованих коліс з осями їх обертання, м	1,188
довжина поворотної цапфи, м	0,062
повздовжній кут нахилу осі повороту керованого колеса автомобіля, град	3,7
поперечний кут нахилу осі повороту керованого колеса автомобіля, град	7
кут між осями обертання та повороту колеса автомобіля, град	97
граничний момент сил сухого тертя, що діють в системі рульового керування, Н·м	27
коефіцієнт в'язкого тертя, що діє в системі рульового керування, Н·м·с/рад	80
радіальна жорсткість шини, Н/м	195363
бічна жорсткість шини, Н/м	82500
коефіцієнт окружної жорсткості шини, Н·м/м;	75000
коефіцієнт впливу нормальної реакції опорної поверхні на кутову жорсткість еластичної шини, м/рад	0,657
коефіцієнт демпфування шини, Н·с/м	30
екстремальне значення коефіцієнту опору бічному відведенню, Н/рад	33500
нормальна реакція опорної поверхні на колесо автомобіля, що відповідає екстремальному коефіцієнту опору бічному відведенню, Н	3973
питомий коефіцієнт впливу кута нахилу площини обертання колеса до вертикалі на відведення шини, рад ⁻¹	175·10 ⁻⁶
максимальний коефіцієнт повздовжнього зчеплення шини з дорогою	0,85
максимальний коефіцієнт поперечного зчеплення шини з дорогою	0,73
коефіцієнт повздовжнього зчеплення при повному ковзанні шини відносно дороги	0,75

За результатами розрахунків побудовані графічні залежності зміни поперечного відхилення ΔY центру мас автомобіля (від заданої траєкторії), курсового кута ψ , середнього кута повороту керованих коліс θ , кутів крену ϕ і тангажу α від пройденого часу t_a (рис. 3) [9]. Для аналізу процесів, що впливають на зміну кутів повороту керованих коліс θ автомобіля (рис. 3), побудовано графічні залежності суми моментів від дії нормальних, тангенціальних та бічних реакцій опірної поверхні на керовані колеса автомобіля $M_{n+\tau+y}$, стабілізуючих моментів їх шин та моментів опору їх повороту під час кочення $M_{ст+\omega}$, гіроскопічного моменту $M_{гир}$, моменту в'язкого M_d та сухого M_t тертя, а також пружного моменту рульового керування M_p від пройденого часу t_a (рис. 4).

Для зручності аналізу отриманих результатів на графічних залежностях (рис. 3) та (рис. 4) нанесено вертикальні прямі « n^1 », « n^2 » та « n^3 », що відображають момент долання колесом автомобіля початку нерівності (n^1), її вершини (n^2) та кінця (n^3). Нижній індекс «1» – долання нерівності передніми колесами; «2» – задніми. Для попередньої оцінки курсової стійкості автомобіля пунктиром відображено горизонтальні прямі « B_k », що імітують приведені до центру мас автомобіля межі коридору безпеки, а також вертикальну, що відображає час реакції водія t_p . Криві, що характеризують рух автомобіля з зафіксованим рульовим колесом позначено пунктиром [9].

Аналіз графіків (рис. 3) свідчить, що після наїзду переднім лівим колесом на дорожню нерівність (вертикаль « n^1 ») автомобілі з вільним та зафіксованим рульовим колесом почали змінювати кутові орієнтації своїх несучих систем. Кут тангажу для обох автомобілів після долання переднім лівим колесом кінця нерівності (вертикаль « n^3 ») зменшується до $-0,23$ град, а після долання заднім (вертикаль « n^2 ») – збільшується до $+0,61$ град. В подальшому зменшення кута тангажу досягає свого мінімуму для автомобілів з вільним і зафіксованим рульовими колесами відповідно на значеннях $-0,55$ град та $-0,6$ град. Кут крену має два локальних максимуми: спочатку після долання переднім лівим колесом кінця нерівності (вертикаль « n^1 »), а потім заднім (вертикаль « n^2 »). Кут крену автомобіля з вільним рульовим колесом досягає більших значень (до $+1,15$ град) в порівнянні з автомобілем з зафіксованим рульовим колесом (до $+1,01$ град). Мінімальних значень кута крену (приблизно через $0,5$ с після початку наїзду на дорожню нерівність) досягає автомобіль із зафіксованим рульовим колесом (до $-0,71$ град проти $-0,5$ град з вільним рульовим колесом). В області $0,81$ с... $0,84$ с відбувається повторний локальний максимум, де знову більших значень досягає кут крену автомобіля з вільним рульовим колесом (до $+0,23$ град проти $+0,17$ град). В подальшому для двох автомобілів відбувається повернення кутів крену і тангажу в область нульових значень.

Зазначене пояснюється тим, що після долання дорожньої нерівності (вертикаль « n^1 ») для двох автомобілів відбувається збільшення курсового кута ψ (рис. 3). Причому курсовий кут автомобіля з вільним рульовим колесом змінюється більш інтенсивно і досягає максимуму на значенні $+1,08$ град проти $+0,46$ град для автомобіля з зафіксованим рульовим колесом. Це призводить до зміни їх напрямку руху (відхилення траєкторій їх центрів мас ΔY від заданої). Автомобіль з вільним рульовим колесом відхиляється від заданої траєкторії більш інтенсивно і через $1,5$ с (вертикаль t_p – середній час реакції водія) після наїзду на початок дорожньої нерівності його курсовий кут ψ і поперечне відхилення центру мас автомобіля від заданої траєкторії ΔY досягають відповідно $+0,9$ град та $+0,31$ м, в той час як для автомобіля із зафіксованим рульовим колесом ці параметри досягають $+0,31$ град та $+0,12$ м відповідно. Зазначене свідчить про те, що автомобіль з вільним рульовим колесом фактично здійснює поворот вліво і вже через $1,1$ с виходить за межі коридору безпеки (горизонталь B_k – втрата курсової стійкості). Автомобіль із зафіксованим рульовим колесом також змінює свій напрямок руху, але втрата його курсової стійкості відбувається через $2,5$ с (вихід за межі коридору безпеки).

У свою чергу зазначене пояснюється зміною кута повороту керованих коліс θ автомобіля (рис. 3). Так, в області долання переднім (керованим) лівим колесом вершини нерівності (вертикаль « n^2 ») ці кути досягають значень $+0,5$ град та $+0,4$ град відповідно для автомобілів з вільним та зафіксованим рульовим колесом. В області долання переднім колесом кінця нерівності (вертикаль « n^3 ») ці значення зменшуються відповідно до $+0,35$ град та $-0,15$ град. При цьому для автомобіля з зафіксованим рульовим колесом це значення залишилось не змінним, що пояснює зменшення його курсового кута і поступове випрямлення траєкторії. В області долання заднім колесом початку нерівності (вертикаль « n^1 ») кут повороту керованих коліс автомобіля з вільним рульовим колесом зменшився до $+0,33$ град, а після долання її кінця (вертикаль « n^3 ») поступово повернувся в область нульових значень ($-0,05$ град), що пояснює поступове зменшення курсового кута.

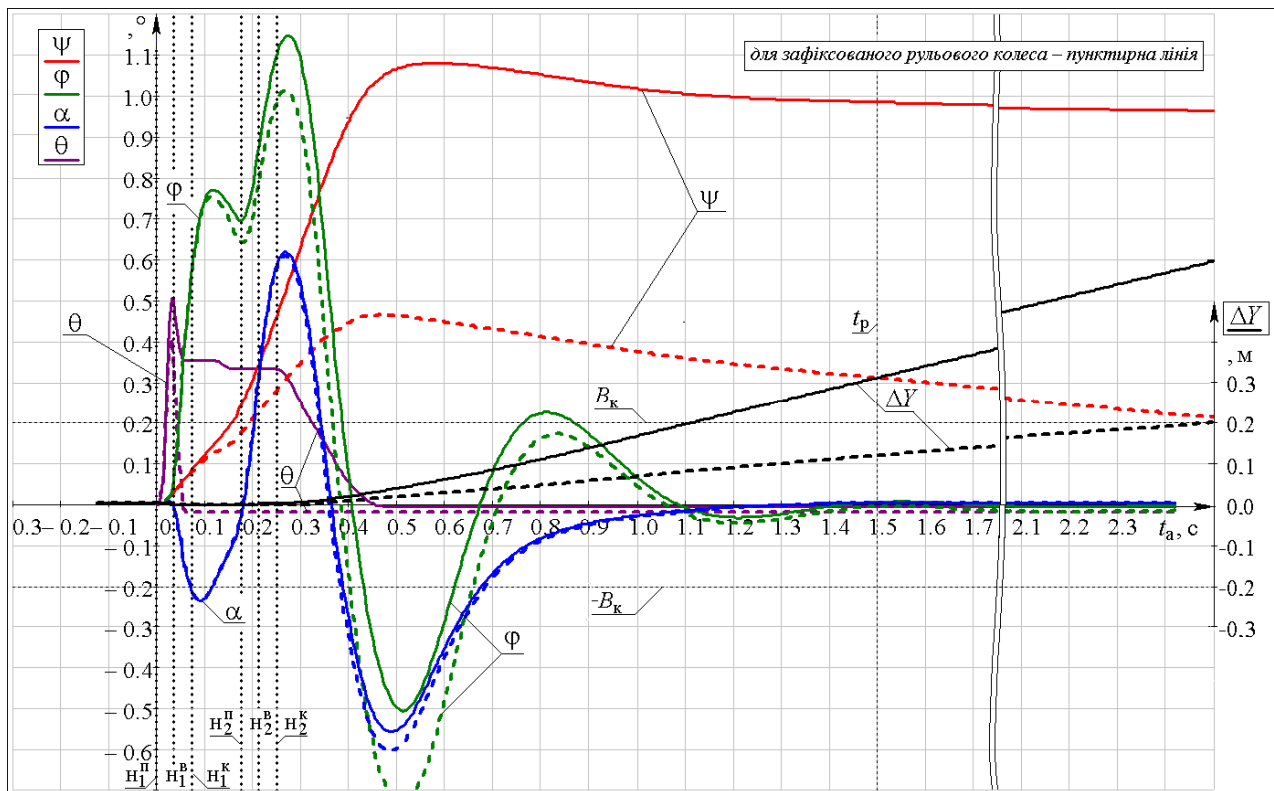


Рисунок 3 – Залежності зміни поперечного відхилення ΔY центру мас автомобіля, його курсового кута ψ , кутів крену φ і тангажу α , а також кута повороту керованих коліс θ , від пройденого часу t_a [9]
 Figure 3 – Dependencies of changes in lateral deviation ΔY of the center of mass of the car, its course angle ψ , roll angles φ and pitch α , as well as the angle of rotation of the steered wheels θ , on the elapsed time t_a [9]

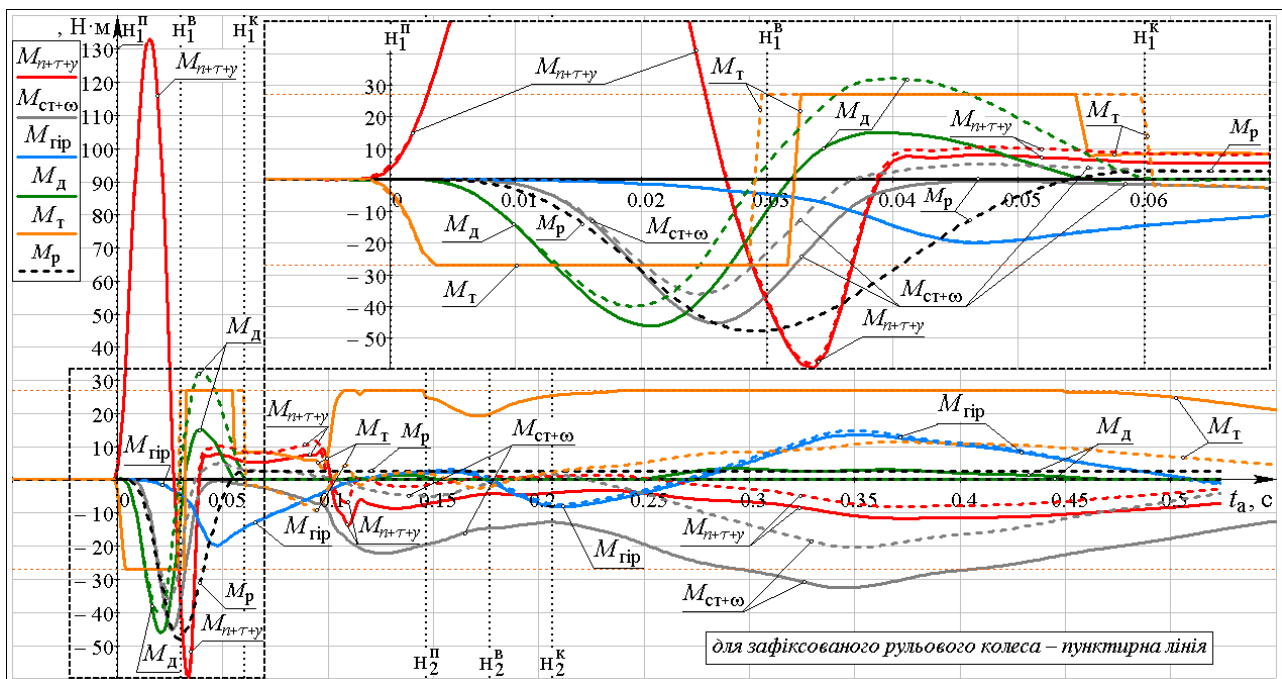


Рисунок 4 – Залежності суми моментів від дії нормальних, тангенційних та бічних реакцій опорної поверхні на керовані колеса автомобіля $M_{n+\tau+y}$, стабілізуючих моментів їх шин та моментів опору їх повороту під час кочення $M_{ст+\omega}$, гіроскопічного моменту $M_{гip}$, моменту в'язкого M_d та сухого M_T тертя, а також пружного моменту рульового керування M_p від пройденого часу t_a
 Figure 4 – Dependencies of the sum of torques on the action of normal, tangential and lateral reactions of the support surface on the steered wheels of the car $M_{n+\tau+y}$, stabilizing torques of their tires and torques of resistance to their rotation during rolling $M_{ст+\omega}$, gyroscopic torque $M_{гip}$, viscous torque M_d and dry M_T of friction, as well as the elastic moment of steering M_p from the elapsed time t_a

Аналіз рисунка 4 свідчить, що після наїзду лівим переднім колесом на початок дорожньої нерівності (вертикаль « n_1^n ») сума моментів від дії нормальних, тангенційних та бічних реакцій опорної поверхні на керовані колеса автомобіля $M_{n+\tau+y}$ стрімко зростає, досягаючи свого максимуму (+ 133 Н·м) в області між початком нерівності (вертикаль « n_1^n ») та її вершиною (вертикаль « n_1^b »). Сума цих моментів $M_{n+\tau+y}$ прагне відхилити керовані колеса вліво, але їм протидіє момент сухого тертя M_t в рульовому керуванні (рис. 4) і тільки після досягнення ним свого граничного значення (табл. 1) починається поворот керованих коліс θ вліво (рис. 3). Одразу після цього починає зростати момент опору в'язкого тертя в рульовому керуванні M_d , а також стабілізуючих моментів шин та моментів опору їх повороту під час кочення $M_{ct+\omega}$. Крім того, для автомобіля з зафіксованим рульовим колесом в роботу включається пружний момент рульового керування M_p , який і пояснює різницю між піковими значеннями середніх кутів повороту θ керованих коліс автомобіля з вільним (+ 0,5 град) та зафіксованим (+ 0,4 град) рульовим колесом (рис. 3).

В області долання вершини нерівності (вертикаль « n_1^b ») (рис. 4) сума моментів від дії нормальних, тангенційних та бічних реакцій $M_{n+\tau+y}$ досягає свого мінімуму (– 60 Н·м) і тепер прагне повернути керовані колеса вправо. У випадку автомобіля з зафіксованим рульовим колесом в тому ж напрямку діє пружний момент рульового керування M_p , який майже досягає значення – 50 Н·м. До того ж в області долання нерівності між вершиною (вертикаль « n_1^b ») та її кінцем (вертикаль « n_1^k ») свого мінімального значення (– 20 Н·м) досягає гіроскопічний момент $M_{гip}$, що в комплексі з дією інших моментів повертає керовані колеса до значення + 0,35 град та – 0,15 град відповідно для автомобіля з вільним та зафіксованим рульовим колесом (рис. 3). Для останнього момент сухого тертя M_t більше не перевищував свого граничного значення (керовані колеса не змінюють свій кут).

Приблизно через 0,1 с після початку долання нерівності (рис. 4) збільшується (по модулю) сума стабілізуючих моментів шин та моментів опору їх повороту під час кочення $M_{ct+\omega}$ (досягаючи значення – 23 Н·м), що разом з сумою моментів від дії нормальних, тангенційних та бічних реакцій $M_{n+\tau+y}$ долають момент сухого тертя M_t і продовжують поворот керованих коліс θ автомобіля з вільним рульовим колесом в бік нейтрального положення, поступово досягнувши значення – 0,05 град (рис. 3), після чого момент сухого тертя M_t в рульовому керуванні більше не долався.

Висновки.

Виявлено, що робота рульового керування автомобіля суттєво впливає на безпеку його руху по нерівній дорозі. Так, за результатами теоретичних досліджень автомобіль з вільним рульовим колесом виходить за межі коридору безпеки через 1,1 с після початку долання дорожньої нерівності, в той час як із зафіксованим – через 2,5 с, що майже на 130 % пізніше відносно першого результату. Цей час може відіграти ключову роль для прийняття рішення та реалізації коригуючих напрямків руху автомобіля дій, що збільшує шанси уникнути дорожньо-транспортну пригоду.

Відхилення керованих коліс автомобіля із зафіксованим рульовим колесом пояснюється жорсткістю (або піддатливістю) рульового керування автомобіля. Це явище слід враховувати при математичному моделюванні пружним моментом у рульовому керуванні. В даних дослідженнях цей момент по модулю майже досяг значення 50 Н·м, в той час як максимальне значення гіроскопічного моменту досягало 20 Н·м, що на 60% менше.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Разбойніков О. О. Поліпшення курсової стійкості легкового автомобіля при русі по нерівній дорозі : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.02 / Разбойніков Олександр Олександрович. – Київ : НТУ, 2021. – 214 с.
2. Поляков В. М. Визначення рівнодіючої сил взаємодії автомобільного колеса з нерівною поверхнею дороги / В. М. Поляков, О. О. Разбойніков // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки» – 2017. – Вип. 1(37). – С. 329-338.
3. Поляков В. М. Визначення параметрів роботи підвіски автомобіля при його русі по нерівній опорній поверхні / В. М. Поляков, О. О. Разбойніков // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». – 2017. – Вип. 3(39). – С. 117-126.
4. Разбойніков О. О. Вплив швидкості автомобіля на зміну сил, що діють в ходовій частині при русі по нерівній дорозі / О. О. Разбойніков. Rzeszow : Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Lukaszewicza, Monografia pod redakcją naukową Kazimierza Lejdy, Systemy i Środki Transportu Samochodowego. Seria : Transport. – 2017. – №10. – Р. 87-94.
5. Полянский А. С. Повышение точности оценки устойчивости автомобилей и тракторов при наезде на препятствие / А. С. Полянский, Д. М. Клец, Е. А. Дубинин, В. В. Задорожная // Вісник

Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2018. – Вип. 190. – С. 162-171.

6. Jan Dizo, Miroslav Blatnický, Oleksandr Kravchenko, Peter Gasper. Vehicle passage over an uneven road. *Zilina: Zilinska univerzita, Strojnicka fakulta. Technolog.* 2022. Vol 14, No. 1. pp. 11-14.

7. Поляков В. М. Теоретичне дослідження руху автомобіля по нерівній дорозі / В. М. Поляков, О. О. Разбойніков // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». – 2018. – Вип. 1(40). – С. 252-261.

8. Разбойніков О. О. Експериментальне дослідження курсової стійкості руху на моделі автомобіля з пасивною та активною підвісками його коліс по нерівній дорозі / О. О. Разбойніков // Rzeszow : Politechnika Rzeszowska, Monografia pod redakcją naukową Kazimierza Lejdy, Systemy i Środki Transportu Samochodowego. Seria : Transport. – 2019. – №16. – Р. 43-50.

9. Поляков В. М., Філіпова Г. А., Разбойніков О. О. Теоретичне дослідження динаміки руху автомобіля по нерівній дорозі / В. М. Поляков, Г. А. Філіпова, О. О. Разбойніков // матеріали VII міжнарод. наук.-прак. конф. «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей» (14-16 черв. 2022 року). – Луцьк : ЛНТУ – 2022. – С. 90-93.

10. Stuart Macey, Geoff Wardle. (2009) *H-point: The Fundamentals of Car Design & Packaging*. Pasadena : Art Center College of Design, 224 p.

11. Вулиці і дороги населених пунктів. ДБН В.2.3-5:2018. – [Чинний від 2018-09-01]. Вид. офіц. Київ : Укрархбудінформ, 2018. 55 с.

12. Засоби транспортні дорожні. Стійкість. Методи визначення основних параметрів випробуваннями : ДСТУ 3310-96. – [Чинний від 1997-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 1996. – 30 с.

13. Колісні транспортні засоби. Динаміка та курсова стійкість. Словник термінів (ISO 8855:2011, IDT) : ДСТУ ISO 8855-2014. [Чинний від 2015-04-01]. Вид. офіц. Geneva : ISO copyright office, 2011. 42 с.

14. Jornsén Reimpell, Jürgen Betzler (2004) *Podwozia samochodów. Podstawy konstrukcji*. Warszawa : Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 454 p.

15. Солтус А. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: навчальний посібник для ВНЗ. Київ : Арістей, 2010. 155 с.

REFERENCES

1. Razboynikov, O. O. (2021) Polipshennia kursovoi stiihosti lehkovoho avtomobilia pry rusi po nerivnii dorozii [Improvement of course stability of the car moving on uneven road]. *Candidate's thesis*. Kyiv: NTU [in Ukrainian].

2. Polyakov, V. M., & Razboynikov, A. A. (2017) Vyznachennia rivnodiiuchoi syl vzaïemodii avtomobilnoho kolesa z nerivnoiu poverkhnei dorohy [Definition of interaction force between the car wheel and uneven road surface] *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriiia «Tekhnichni nauky» – Herald of National Transport University. Series «Engineering», Issue 1(37)*, 329-338 [in Ukrainian].

3. Polyakov, V. M., & Razboynikov, A. A. (2017) Vyznachennia parametriv roboty pidvisky avtomobilia pry yoho rusi po nerivnii opornii poverkhni [Determining conditions of the car suspension system while driving on uneven supporting surface] *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriiia «Tekhnichni nauky» – Herald of National Transport University. Series «Engineering», Issue 3(39)*, 117-126 [in Ukrainian].

4. Razboynikov, A. A. (2017) Vplyv shvydkosti avtomobilia na zminu syl, shcho diut v khodovii chasyni pry rusi po nerivnii dorozii [Impact of vehicle speed on change of forces acting in running gear while driving on uneven road] *Rzeszow : Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Lukasiewicza, Monografia pod redakcją naukową Kazimierza Lejdy, Systemy i Środki Transportu Samochodowego. Seria : Transport, 10*, 87-94 [in Ukrainian].

5. Polyanskii O., Klets D., Dubinin Ye., Zadorozhnyia V. (2018) Povysheniye tochnosti otsenki ustoychivosti avtomobiley i traktorov pri nayeзде na prepyatstviye [Increasing the accuracy of estimation of the cars and tractors stability when the obstacles are obtained] *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka, Issue 190*, 162-171 [in Russian].

6. Jan Dizo, Miroslav Blatnický, Oleksandr Kravchenko, Peter Gasper (2022) Vehicle passage over an uneven road. *Zilina: Zilinska univerzita, Strojnicka fakulta. Technolog.* Vol 14, No. 1, 11-14. [in English].

7. Polyakov, V. M., & Razboynikov, A. A. (2018) Teoretychne doslidzhennia rukhu avtomobilia po nerivnii dorozii [Theoretical study of the vehicle movements on uneven road surface] *Visnyk Natsionalnoho*

transportnoho universytetu. Serii «Tekhnichni nauky» – Herald of National Transport University. Series «Engineering», Issue 1(40), 252-261 [in Ukrainian].

8. Razboynikov, A. A. (2019) Eksperymentalne doslidzhennia kursovoi stiikosti rukhu na modeli avtomobilia z pasyvnoiu ta aktyvnoiu pidviskamy yoho kolis po nerivnii dorozi [Experimental investigations of course stability of a physical car model with passive and active suspension systems while it moving on uneven road surface] Rzeszow : Politechnika Rzeszowska, Monografia pod redakcja naukowa K. Lejdy, Systemy i Srodki Transportu Samochodowego. Seria : Transport, 16, 43-50 [in Ukrainian].

9. Poliakov V. M., Filipova H. A., Razboynikov O. O. (2022) Teoretychne doslidzhennya dynamiky rukhu avtomobilya po nerivniy dorozi [A theoretical study of the dynamics of car movement on an uneven road] Materials VII International. science-practice conf. «Scientific and applied aspects of the automobile and transport and road industries. (p.p. 90-93). Lutsk: LNTU [in Ukrainian].

10. Stuart Macey, Geoff Wardle. (2009) H-point: The Fundamentals of Car Design & Packaging. Pasadena : Art Center College of Design, 224 p. [in English].

11. Vulytsi i dorohy naselenykh punktiv. [Streets and roads of settlements]. (2018) DBN V.2.3-5:2018. from 1-st September 2018. Kyiv : Ukrarkhbudininform Ukraine [in Ukrainian].

12. Zasoby transportni dorozhni. Stiykist'. Metody vyznachennya osnovnykh parametriv vyprovuvannyamy [Road vehicles. Stability. Methods of determining the main parameters by tests]. (1996). DSTU 3310-96. – from 1-st January 1997. Kyiv: Derzhstandard of Ukraine [in Ukrainian].

13. Kolisni transportni zasoby. Dynamika ta kursova stiykist'. Slovnyk terminiv [Road vehicles — Vehicle dynamics and road-holding ability — Vocabulary] (ISO 8855:2011, IDT) : DSTU ISO 8855-2014. from 1-st April 2015. Geneva : ISO copyright office [in English].

14. Jornsens Reimpell, Jurgen Betzler (2004) Podwozia samochodów. Podstawy konstrukcji. Warszawa : Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 454 p. [in Polish].

15. Soltus A. P. (2010) Teoriya ekspluatatsiynykh vlastyvostey avtomobilya [The theory of operational properties of a car]. Kyiv: Aristei [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Поляков В.М. Дослідження впливу роботи рульового керування автомобіля при долатті дорожньої нерівності на безпеку руху / В.М. Поляков, О.О. Разбойніков // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

В статті наведено результати теоретичних досліджень руху автомобіля, що колесами лівого борту долає дорожню нерівність. Розглянуто рух автомобіля як з вільним рульовим колесом так і з зафіксованим. Отримано графічні залежності, які дозволяють оцінити вплив роботи рульового керування автомобіля на його курсову стійкість при русі по нерівній дорозі. Наведено аналіз впливу роботи рульового керування автомобіля на безпеку його руху в зазначених умовах.

Об'єкт дослідження – вплив роботи рульового керування автомобіля на його курсову стійкість при русі по нерівній дорозі.

Мета роботи полягає у виявленні впливу роботи рульового керування автомобіля при долатті дорожньої нерівності на безпеку руху шляхом теоретичних досліджень курсової стійкості руху автомобіля по нерівній дорозі з вільним та зафіксованим рульовим колесом.

Метод дослідження – математичне моделювання.

Теоретичне дослідження курсової стійкості руху автомобіля по нерівній дорозі з вільним та зафіксованим рульовим колесом проведено на математичній моделі, що враховує жорсткість рульового керування.

Виявлено, що робота рульового керування автомобіля суттєво впливає на безпеку його руху по нерівній дорозі. Так, за результатами теоретичних досліджень автомобіль з вільним рульовим колесом виходить за межі коридору безпеки через 1,1 с після початку долаття дорожньої нерівності, в той час як із зафіксованим – через 2,5 с, що майже на 130 % пізніше відносно першого результату. Цей час може відіграти ключову роль для прийняття рішення та реалізації коригуючих напрямків руху автомобіля дій, що збільшує шанси для уникнення дорожньо-транспортної пригоди. Відхилення керованих коліс автомобіля із зафіксованим рульовим колесом пояснюється жорсткістю (або піддатливістю) рульового керування автомобіля. Це явище слід враховувати при математичному моделюванні пружним моментом у рульовому керуванні.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДОРОЖНЯ НЕРІВНІСТЬ, РУЛЬОВЕ КЕРУВАННЯ, АВТОМОБІЛЬ, КУРСОВА СТІЙКІСТЬ, БЕЗПЕКА РУХУ.

ABSTRACT

Poliakov V.M., Razboinikov O.O. Study of the influence of the steering operation of the vehicle when overcoming road bumps on traffic safety. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, – 2023. – Issue 1 (55).

The article presents the results of theoretical studies of the movement of a car that overcomes road irregularities with its left-hand wheels. The movement of the car is considered both with a free steering wheel and with a fixed one. Graphical dependences were obtained, which allow to evaluate the influence of the car's steering on its directional stability when driving on a rough road. An analysis of the influence of the car's steering on the safety of its movement in the specified conditions is given.

The object of study – the influence of the car's steering on its course stability when driving on a rough road.

The purpose of the work is to reveal the influence of the car's steering operation when overcoming road irregularities on traffic safety by conducting theoretical studies of the directional stability of the car's movement on an uneven road with free and fixed steering wheels.

The research method – mathematical modeling.

A theoretical study of the directional stability of a car on an uneven road with free and fixed steering wheels was carried out on a mathematical model that takes into account the stiffness of the steering.

It was found that the operation of the car's steering significantly affects the safety of its movement on a rough road. Thus, according to the results of theoretical studies, a car with a free steering wheel goes beyond the safety corridor 1.1 s after the start of overcoming a road bump, while with a fixed one - after 2.5 s, which is almost 130% later. This time can play a key role in making a decision and implementing corrective actions in the direction of the car's movement, which increases the chances of avoiding a traffic accident. The deflection of the steered wheels of a car with a locked steering wheel is due to the stiffness (or compliance) of the car's steering. This phenomenon should be taken into account in the mathematical modeling of the elastic moment in the steering control.

KEYWORDS: ROAD UNEVENNESS, STEERING SYSTEM, CAR, COURSE STABILITY, TRAFFIC SAFETY.

АВТОРИ:

Поляков Віктор Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, e-mail: poljakov_2006@ukr.net, тел.: +380673861468, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 306, orcid.org/0000-0001-7042-3066.

Разбойніков Олександр Олександрович, кандидат технічних наук, асистент кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, e-mail: razboyn1k@ukr.net, тел.: +380972214790 Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 306, orcid.org/0000-0003-3024-0999.

AUTHOR:

Poliakov Victor Mykhailovych, Candidate of Engineering Sciences, associate professor, professor of Department of Automobiles, National Transport University, e-mail: poljakov_2006@ukr.net, tel.: +380673861468, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 306, orcid.org/0000-0001-7042-3066.

Razboinikov Oleksandr Oleksandrovych, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Lecturer of Department of Automobiles, National Transport University, e-mail: razboyn1k@ukr.net, tel.: +380972214790 Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 306, orcid.org/0000-0003-3024-0999.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

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

Макаров Володимир Андрійович, доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінниця, Україна.

REVIEWER:

Sakhno Volodymyr Prohorovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of Department of Automobiles, Kyiv, Ukraine.

Makarov Volodymyr Andriyovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vinnytsia National Technical University, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia, Ukraine.

ПРОБЛЕМИ МАСОВОГО ПЕРЕХОДУ НА ЕЛЕКТРИФІКАЦІЮ АВТОТРАНСПОРТУ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

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

PROBLEMS OF THE MASS TRANSITION TO THE ELECTRIFICATION OF MOTOR TRANSPORTATION AND WAYS TO SOLVE THEM

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

Постановка проблеми.

Дедалі більшу увагу людства прикуто до екологічних проблем, які давно набули світового масштабу. Якщо ще 50–70 років тому проблеми забруднення довкілля здебільшого стосувалися розвинутих промислових країн, то сьогодні найгострішими вони стають саме для найбідніших, хоча стосуються всіх. Головним забруднювачем довкілля залишається промисловість, але багатші країни можуть собі дозволити переносити виробництва подалі від густонаселених міст або взагалі витіснити шкідливі виробництва за межі власної території. Однак існує вид джерела забруднення довкілля, який неможливо винести за межі міст, і головне, чим багатша країна та густіше розміщено населення, тим більшою є концентрація забруднення. Таким джерелом забруднення є транспортна галузь, зокрема автомобільний транспорт. [1]

Транспорт – одне з основних джерел забруднення атмосфери. Кожен автомобіль при згорянні 1 кг бензину використовує 15 кг повітря, зокрема, 5,5 кг кисню. При згорянні 1 т пального в атмосферу викидається 200 кг окису вуглецю. На частку автотранспорту припадає близько 55% шкідливих надходжень загального обсягу, що включають понад 200 різних шкідливих сполук.

Автобуси та легкові транспортні засоби складають близько 21% транспортних засобів на дорогах і створюють більше чверті викидів, пов'язаних з експлуатацією транспорту. Ця проблема стала всесвітньою. Викиди від роботи автомобілів з ДВЗ (двигун внутрішнього згоряння) мають бути суттєво скорочені, для чого засоби їх вдосконалення і зменшення викидів, перехід на вимоги ЄВРО-6 та Євро-7 є необхідними, але недостатніми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Європа офіційно заборонила продаж дизельних автомобілів з 2035 року. Крім того, з 2018 року діє заборона на дизельні автомобілі новітнього покоління в населених пунктах. При цьому використовувати вже наявні автомобілі можна, але ось продавати нові – ні. Перепродавати не забороняється, але тільки якщо вони не будуть ввезені на територію ЄС. Це зроблено в рамках програми скорочення викидів вуглекислого газу в атмосферу. А це пов'язано в першу чергу з неекологічністю використання дизельного палива.

Втім, це не єдиний недолік дизельних авто. У них є і ряд інших очевидних проблем:

- Вартість дизельної автомашини спочатку вища, ніж бензинової. Це вигідно для подальшого перепродажу, але не вигідно при придбанні. В середньому ціна вища десь на третину, і якщо користуватися машиною рідко, ця різниця довго не окупиться.

- Чим старша машина – тим сильніше падає її ціна. Це пов'язано з тим, що ремонт дизельного двигуна дорогий і складний. Тому продати машину, якій вже більше 5-8 років, досить важко.

- У дизельного двигуна маленький робочий діапазон. Потрібно частіше перемикаєти передачі, і оборотів набагато менше, ніж у аналогічного бензинового. Втім, цю проблему вирішує автоматична коробка передач.

- Дизельний двигун набагато довше прогрівається. При цьому використовувати його нерозігрітим не рекомендується, тому що це значно прискорює знос і скорочує термін служби. До речі, ця проблема прямо впливає з того, що дизельний мотор менше і економніше витрачає паливо. Своєрідна «зворотна сторона медалі».

- Зимовий запуск – справжня проблема для всіх дизельних двигунів. Тому на зиму потрібно переходити на спеціальне паливо з присадками. Крім того, знадобиться недешева система передпускового підігріву.

- Дизельні автомобілі дорого і складно ремонтувати або просто обслуговувати. Крім того, цю послугу пропонує не кожна автомайстерня. А періодичність планового технічного огляду теж прог्राє, бо зменшується. Оглядати такі авто потрібно вдвічі частіше, ніж бензинові.

- Дизельні двигуни дуже чутливі до якості палива, і це може стати серйозною проблемою в дорозі. Особливо, коли поблизу немає перевіреної заправки.

- Більшість дизельних автомобілів набагато гучніші. Це питання поступово вирішується з кожною новою серією і поколінням, але різниця досі помітна.

- Зрештою, дизельний двигун банально важчий від бензинового. А значить важчий і увесь автомобіль, що прямо позначається на його динамічних характеристиках.

Європейська комісія планує розвиток альтернативних рішень. В першу чергу, це акумуляторні електромобілі. З'явився комплексний план розвитку мережі зарядних пристроїв по всьому Євросоюзу. Всі основні транспортні магістралі будуть оснащені зарядними станціями з відстанню менше 60 км. Причому планується закінчити цей процес до 2025 року.

Крім того, наразі розвиваються водневі автомобілі. Зарядки-заправки для них теж стануть доступними, з відстанню до 150 км. У процесі розробки двигуни внутрішнього згоряння на синтетичному, а не викопному паливі, але зараз це більш теоретичний проект. Придбати таке паливо на звичайних «регулярних» заправних станціях наразі неможливо. [2]

Мінінфраструктури України пропонує заборонити ввезення нових та вживаних авто з двигунами внутрішнього згоряння. Імпорт уживаних дизельних авто хочуть заборонити з 2027 року, нових бензинових і дизельних – з 2030 року.

Ідеться про заборону першої реєстрації автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння, зокрема і вироблених в Україні.

Заборона не буде поширюватися на автомобілі Збройних Сил та інших військових формувань, автомобілі фермерських господарств, що передаються в спадок, а також ретро-автомобілі, виготовлені до 1 січня 1981 року.

Для дизельних і бензинових авто фермерських господарств є уточнення: їх можна буде купувати лише для використання поза межами автомобільних доріг загального користування при веденні фермерського господарства.

Такий законопроект є наслідком внутрішніх та зовнішніх зобов'язань України при набутті членства в Євросоюзі.

По-перше, у Національній транспортній стратегії закріплене бачення електромобільного майбутнього країни.

По-друге, відповідно до закону про засади екологічної політики, Україна зобов'язана знизити викиди у сфері транспорту на 30%.

Крім того, це виконання європейської директиви 2009/33/ЄС «Щодо просування чистих та енергоефективних транспортних засобів автомобільного транспорту» та анонсування Green Deal в Україні.

Основна частина.

Для розвитку електромобільної галузі в Україні потрібні два ключові елементи.

Перший – платоспроможність населення. З кожним роком електрокари стають дешевшими завдяки вдосконаленню виробництва акумуляторних батарей та конкуренції в їх виробництві.

Другий – наявність інфраструктури. Українські міста здебільшого покриті зарядними станціями, їх уже понад 11 тис. Бракує зарядної інфраструктури на автомагістралях державного значення, які поєднують великі міста. [3]

Таким чином, вже з 1 січня 2030 року майже всі автомобілі на українських дорогах, включно з комерційним та комунальним транспортом, мають бути електричними. При цьому ніяких чітких норм щодо створення зарядної інфраструктури для них не передбачається. Також не передбачені норми щодо встановлення та підключення зарядних станцій, та механізм дотацій коштів на електроенергію для електричного транспорту.

Зелена енергетика зараз розвивається швидше, ніж будь-коли раніше. І не лише тому, що це екологічно й потрібно рятувати планету від атмосферного забруднення, а насамперед тому, що це шлях до енергетичної незалежності країн. Взаємовідносини в енергосекторі Росія-Європа, Росія-Україна переконливо довели правильність цього шляху. Агресору не можна потурати, купуючи в нього газ, нафту та нафтопродукти.

Для нас уже звичними стали енергія сонця, вітру, різні види біопалива тощо. Хоча їх частка у загальній генерації не така велика. Однак у світі починають використовувати і інший вид палива – водень. Він екологічний і, до того ж, є найпоширенішим елементом в природі. Водень виготовляють з води, використовуючи електроенергію.

На водневій можуть працювати автомобілі, яхти, літаки; його можна використовувати замість природного газу у промисловості та опалювати житло; можна виробляти з нього електроенергію та використовувати як акумулятор великої потужності.

Про перспективи нового виду енергії говорить те, що для нього навіть придумали спеціальний термін – «воднева економіка».

Водень вже давно рекламується як майбутнє для легкових автомобілів. По суті, це електричний транспортний засіб на водневих паливних елементах (FCEV), який працює на стисненому водні і має нульовий рівень викидів вуглецю.

Такі автомобілі заправляються так само швидко, як і автомобілі на ископному пальному, і мають аналогічну дальність проїзду. Розвиток водневих автомобілів підтримують деякі автогіганти, наприклад Toyota, яка випустила вже друге покоління моделі на водні – Mirai.

Причина, через яку водень є неефективним, полягає в тому, що енергія повинна рухатися від дроту до газу і потім знову до дроту, щоб живити автомобіль. Це називають переходом вектора енергії.

Візьмемо, наприклад, 100 Вт електроенергії, виробленої відновлювальним джерелом, таким як вітрогенератор. Щоб живити FCEV, ця енергія повинна бути перетворена на водень, (наприклад шляхом електролізу). Енергоефективність цього процесу близько 75%, тому приблизно чверть електроенергії автоматично втрачається.

Отриманий водень повинен бути стиснутий, охолоджений та має транспортуватися до водневої станції. На це витрачається ще близько 10% енергії.

Потрапивши всередину транспортного засобу, водень потребує перетворення в електроенергію, з коефіцієнтом ефективності 60%.

Нарешті, електроенергія, яка використовується у двигуні для приведення автомобіля в рух, має приблизно 95% ефективності.

У підсумку коефіцієнт корисної дії складає 38%. Тобто від початкової потужності 100 Вт ефективно використовується лише 38 Вт.

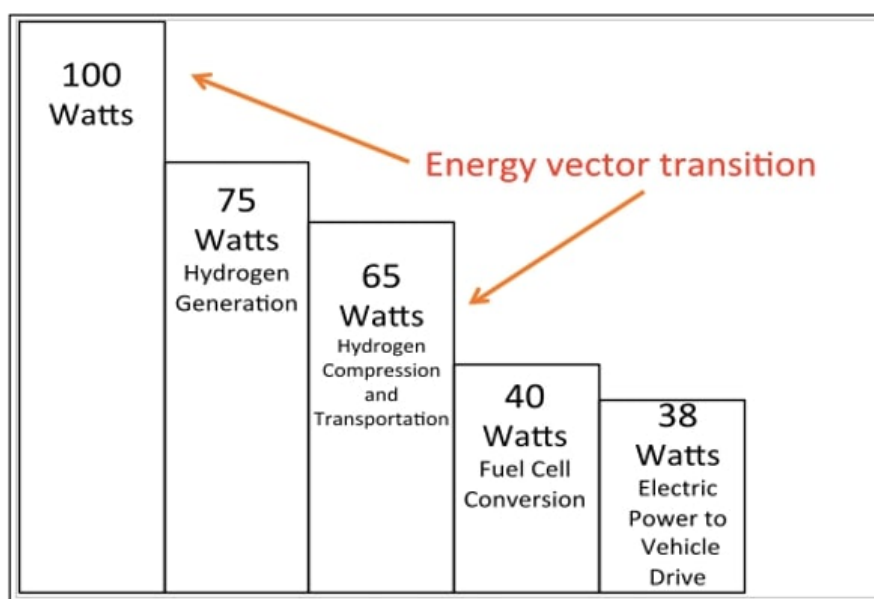


Рисунок 1 – Втрати енергії у водневих автомобілях
Figure 1 –

У електромобілях із батареєю енергія передається прямо від джерела до двигуна. Ті ж 100 Вт потужності від вітротурбіни втрачають близько 5% під час транспортування в електромережі (у випадку водню припустимо, що перетворення відбувається на місці поблизу вітроелектростанції).

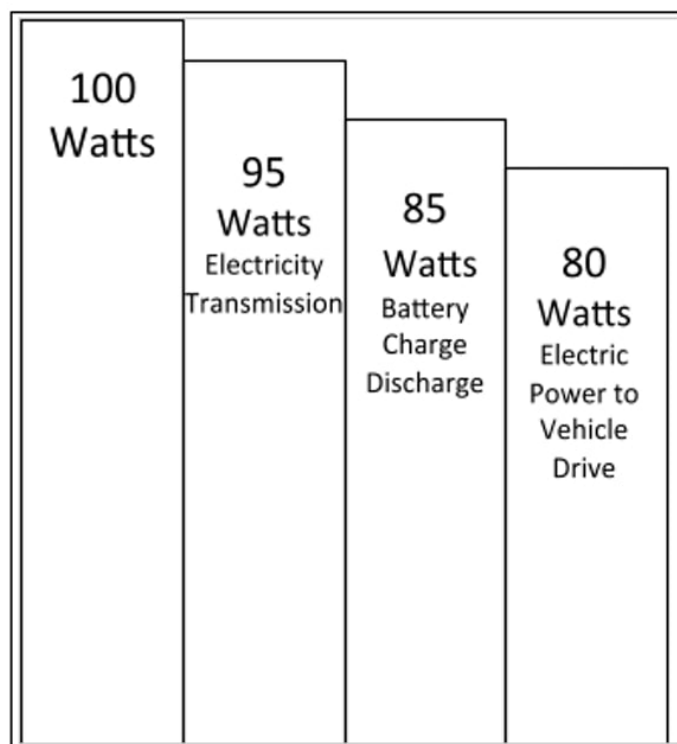


Рисунок 2 – Втрати енергії у електромобілях

Figure 2 –

Ви втрачаєте ще 10% енергії від зарядки та розрядки літій-іонного акумулятора, а також ще 5% під час використання електроенергії для руху автомобіля. Таким чином загальний ККД знизився із 100 до 80 Вт.

Іншими словами, водневий паливний елемент потребує подвійної кількості енергії. [4]

Наразі Україна воює з агресором-сусідом. Глобальні відключення електроенергії в Україні під час воєнного стану призводять до того, що навантаження на суспільні джерела енергії зростає, проте електромобіль – це більш гнучкий транспорт для часів нестабільності, адже зарядити його можна з різних джерел.

Під час відключень світла люди підзаряджають автівки від генераторів, які працюють на газі, дизелі чи бензині. Джерелом зарядки також слугують сонячні панелі або вітрогенератори.

З міським транспортом у воєнний стан експлуатація електротранспорту зовсім інша. Відбувається вимушений перехід під час блекауту з електричної тяги на дизельну чи бензинову. Розглянемо ситуацію в Києві під час війни:

1)Метрополітен.

Під час блекауту (масове відключення електроспоживачів) столичне метро не працюватиме. Причина не лише у відсутності електроенергії, необхідної для руху поїздів. Річ у тім, що підземні станції стануть пунктами тимчасового перебування людей під час тривоги.

Це не стосується підземних станцій Майдан Незалежності та Хрещатик, які будуть зачинені для відвідувачів, а також шістьох наземних: Дніпро, Гідропарк, Лівобережна, Дарниця, Чернігівська та Лісова.

Вхід на підземні станції буде безплатним. Щоб туди потрапити, необхідно мати документ. Станції будуть забезпечені мобільним зв'язком, електроенергією (надається можливість зарядити гаджети), питною водою та санітарними вузлами.

Підземні станції також облаштовують USB-зарядками.

Потрапити на станції, які виконуватимуть функції пунктів тимчасового перебування, можна буде і вночі, але лише під час повітряної тривоги. Прохід на станцію забезпечать правоохоронці.

2)Наземний транспорт

За словами мера міста Віталія Кличка, у разі блекауту на всіх маршрутах наземного комунального транспорту курсуватимуть автобуси, проїзд у яких буде безоплатним.

У комунальному підприємстві «Київпастранс» уточнили, що зможуть забезпечити постійний гарантований резерв дизельного пального.

Під час тривоги комунальний транспорт, на відміну від приватного, зупиняється. Це означає, що електрифікація не задовольняє потреби на всі 100%, адже кількість повітряних тривог на день може зрости до десятка разів, а тривалість однієї тривоги може бути як кілька хвилин, так і кілька годин.

3)Кільцева електричка

Столична кільцева електричка працює за будь-яких умов, у тому числі під час повітряних тривог, курсує з мінімальними затримками і з'єднує обидва береги Києва. За час війни кільцева електричка зупинялася лише один раз: під час масованого обстрілу 23 листопада. Тоді її рух відновили менш ніж за годину.

В «Укрзалізниці» уточнюють, що курсування кільцевої електрички в разі повного і тривалого блекауту забезпечуватиметься дизель-поїздами.

У випадку тривалого блекауту електрички замінятимуть дизель-поїздами

«Укрзалізниця» забезпечить киянам можливість користуватись електричкою, проте частота руху може змінитися», – попереджають у компанії.

4)Залізниця

«Укрзалізниця» під час зникнення електроенергії працюватиме. Після першого в історії України блекауту голова правління компанії Олександр Камишін заявляв, що у випадку повторення ситуації УЗ не скасовуватиме пасажирські поїзди.

За його словами, компанія готова забезпечити людей теплом і всім необхідним на випадок блекауту та надзвичайних ситуацій. Для цього на вокзалах у будь-який момент протягом години готові розгорнути стаціонарні пункти обігріву.

На найбільших залізничних вокзалах країни за необхідності можна розгорнути аналог «Пунктів незламності» – «Фортеці незламності». У них люди зможуть зігрітись, зарядити гаджети, підключитися до інтернету через Starlink. Там же обіцяють нагодувати і забезпечити гарячими напоями.

У більшості таких пунктів зможуть розгорнути дитячі зони та медпункти. [5]

Але війна закінчиться. І вже зараз треба планувати раціональний перехід на всебічну електрифікацію рухомого складу автотранспорту.

У електродвигуні на порядок нижчі втрати (енергії) на тертя, він не вимагає складної системи змащування і майже не зношується. Тому багато електромобілів сьогодні можуть похвалитися силовою установкою потужністю 500+ кінських сил та розганяються швидше за заряджені автомобілі з ДВЗ. Наприклад, два електродвигуни Porsche Taycan Turbo S сукупно розвивають 761 к.с. та прискорюють машину до 100 км/год за 2,8 секунди.

Втім, більшості електромобілів не потрібна «ураганна» динаміка – машині, котра повинна експлуатуватися щодня, куди важливіше мати максимальний запас ходу, котрий визначається ємністю батареї. І якщо перші серійні електромобілі ледве проїжджали 100-150 км, то середній пробіг сучасних електромобілів на одній зарядці становить вже в середньому 400 км. Це робить експлуатацію електричних машин – із щоденними потребами проїжджати 50-70 км – справді зручною. Вже є моделі, здатні проїжджати по 600-800 кілометрів, а з розвитком технологій інженери обіцяють запас ходу для звичайного електромобіля у 800-1000 км (Мерседес вже майже масово випустив такий автомобіль – це концепт EQXX, який дебютував у січні 2022-го), що можна порівняти з автомобілями з традиційним ДВЗ.

Швидкість заряджання батареї також залежить від ємності батареї. На швидкість також впливають здатність акумуляторів приймати потужний заряд великим струмом, а головне – наявність зарядної інфраструктури, яка може видати необхідний струм. Зараз електромобілям для повного заряджання від побутової мережі потрібна ціла ніч, але за допомогою потужного зарядного терміналу електромобіль із сучасною батареєю поповнить її запаси на 80% лише за 35–45 хвилин.

Відколи інженери всерйоз заговорили про переведення автомобілів на електротягу, електромобілі встигли пройти довгий шлях еволюції. І сьогодні їх умовно можна поділити на кілька поколінь (про зародження електромобілів на початку XX століття говорити не будемо поки, це тема окремої статті).

Отже, до **першого покоління** BEV (Battery Electric Vehicle) можна віднести легкові електромобілі, створені зі звичайних машин. У них ДВЗ під капотом замінювали на електромотор з інвертором, а акумулятори ставили на місце паливного бака та у багажник, серйозно зменшуючи обсяг останнього. І все одно великим запасом ходу першого покоління похвалитися не могли, оскільки енергію такі машини витрачали неоптимально – адже у них зберігалася звична трансмісія та інші атрибути паливного автомобіля. Невисокою була й швидкість пересування. А плюс такої конструкції був лише один – відносна дешевизна. До першого покоління можна віднести численні прототипи минулих років або, наприклад, дрібносерійний RAV4 EV далекого 1997 року.

Другим поколінням та певним щаблем еволюції стали автомобілі, лише частково уніфіковані з моделями з ДВЗ, конструкція яких спеціально допрацьовувалась під використання електричної силової установки. У них вже не було звичайної трансмісії, але під розміщення електричних вузлів йшли ті самі «порожні» місця, які залишалися після відмови від ДВЗ. Така конструкція покращувала характеристики електромобіля, але ще не робила його рівним бензиновому чи дизельному автомобілю. Характерні приклади – Kia Soul EV 2014 або VW E-Golf 2015 років з батареями під передніми сидіннями і у центральному тунелі, які були здатні проїжджати без підзарядження трохи більше 100 км. Найбільш пристосованим до щоденної експлуатації у цьому поколінні виявився Nissan Leaf – у японського хетчбека вже не було аналогів з ДВЗ, але велика кількість його вузлів, як і раніше, залишалися уніфікованими з іншими моделями японської марки.

Відлік **третього покоління** можна вести з легендарного ліфтбека Tesla Model S – першого серійного електромобіля з плоскою батареєю під підлогою салону та двигуном, встановленим ззаду, де у звичайних машин зазвичай розміщується паливний бак. Таке компонування майже неможливе з ДВЗ через розміри силового агрегату, зате в електромобілі дає ряд переваг: електрична начинка не забирає місце у пасажирів та вантажу, а важка батарея під підлогою позитивно впливає на розважування машини та керованість (за рахунок низького розташованого центру тяжіння). Але головне – сама батарея може мати більші розміри і, відповідно, більшу ємність, що, звичайно, позитивно впливає на запас ходу.

Tesla також запровадила двомоторну схему, в рамках якої кожен електродвигун обертає свою вісь. Крім очевидних переваг повнопривідності, це дозволяє зробити кожен з електромоторів більш компактним та легким; а також збільшити загальну потужність силової установки, що покращує не тільки динаміку, а й економічність, тобто підвищує запас ходу на одній зарядці. Парадоксу тут немає, адже потужні мотори – це й потужні генератори, що виробляють додаткову електроенергію при гальмуваннях. Подібним чином влаштований ще й, наприклад, Jaguar I-Pace, який поєднує батарею в підлозі з пристойними позашляховими здібностями.

Інші розробники розвинули багатомоторну ідею далі. Наприклад, у сучасного Audi e-tron S моторів вже три – кожне заднє колесо приводиться до руху своїм двигуном, а третій двигун використовується для реалізації тяги на передній осі. Водночас є вже машини, які оснащуються чотирма двигунами! Це, наприклад, Rivian R1T, Rimac C_Two, ін.

Четверте покоління BEV – це моделі (Porsche Taycan, нові електромобілі Hyundai та KIA на платформі E-GMP), котрі використовують високоефективні 800-вольтові ботові зарядні системи замість 380–450-вольтових. Поки вони навряд чи перевершують досягнення Tesla за загальною кількістю параметрів, але потенційно можуть забезпечити ще більшу автономність ходу та більш швидке зарядження.

Більшість автовиробників вже поставили у пріоритет розвиток електричного транспорту, причому працюють вони не одні, а у співпраці з хіміками та електротехніками. З кожним роком компанії збільшують ємність батарей, знижуючи їхню вартість, підвищують швидкість зарядження від високопотужних електростанцій, розширюють зарядні мережі, удосконалюють електродвигуни. І чим далі, тим більше ми побачимо електромобілів із кращим поєднанням ціни та можливостей.

Ведеться робота і з розвитку зарядної інфраструктури. Зокрема, підвищується швидкість зарядження від швидкісних зарядних станцій, розширюються зарядні мережі. Команда GO TO-U зараз працює над подоланням такої проблеми, як черги на зарядних станціях. І завдяки впровадженню сучасних технологій вона поступово вирішується – рушійною силою тут є додаток GO TO-U, який дозволяє не просто знайти зарядку на карті, а забронювати чарджер на певний час у потрібному місці.

У Китаї вже набули поширення електромобілі зі стандартизованими змінними батареями – це один із способів вирішити проблему довгого заряджання. BEV заїжджає до боксу, де роботизований механізм знімає з днища розряджений акумулятор і ставить на його місце заряджений. Операція автоматична, відбувається без участі людини та триває не довше за повне заправлення паливного бака звичайного автомобіля. Не виключено, що така концепція EV у майбутньому отримає попит у великих за площею країнах.

Інший перспективний напрямок – безконтактні зарядки, подібні до тих, що вже використовують для смартфонів. Для цього електромобіль та паркомісця для електричного транспорту обладнуються потужними індукторами, які можуть включатись в автоматичному режимі.

Інженери проробляють і варіант безконтактною передачі енергії електромобілю під час руху від прихованої в дорожньому полотні обмотки. Хоча така технологія може виявитися надто дорогою та недостатньо ефективною.

Головним вектором у розвитку електричних автомобілів залишиться вдосконалення батарей. Підраховано, що якщо виробники досягнуть збільшення їх ємності на третину (при поточних розмірах та масі), а вартість акумуляторів знизиться наполовину, то машини з ДВЗ відразу програють BEV у конкурентній боротьбі. Адже можуть ще «вистрілити» зовсім фантастичні способи запасання електроенергії – наприклад, технологія заправлення рідинних батарей «суперзарядженим» змінним електролітом. [6]

Підраховано, що у 2010 році, коли електромобілі почали пробивати собі шлях на ринок, кожен «батарейний» кВт*год обходився в \$1183, тобто був майже у 100 000 разів дорожчим за енергію, яку він запасав. За десять років розвитку акумуляторних технологій цей параметр знизився до \$150, причому ціна зберігання електроенергії й надалі падатиме – за розрахунками, приблизно на 10–15 відсотків на рік. Але все одно в ціні електромобіля саме частка батареї залишається найвищою – паливні баки електрокарів ще довго будуть золотими.

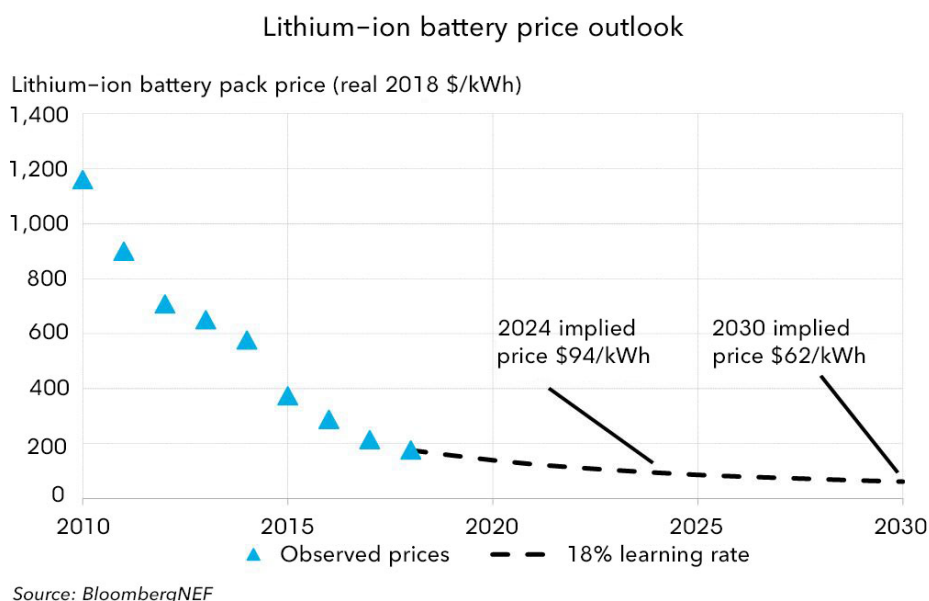


Рисунок 3 – Прогноз цін на літій-іонний акумулятор
Figure 3 –

Продиктовано це, по-перше, розмірами самої батареї, здатної зберігати достатньо електроенергії. Повністю складена батарея для легкового BEV, яке може проїхати на одному заряді не менше 350 км, сьогодні важить приблизно 500 кілограмів. По-друге, на 80–90 відсотків цей вузол складається з потужних електропровідних шин та дорогих акумуляторних осередків – у виробництві використовуються рідкісні хімічні елементи, кольорові та навіть дорогоцінні метали.

Нарешті, в кожній батареї електромобіля є безліч електронних блоків і датчиків, кілька ланцюгів захисту та контур терморегулювання. І така складна конструкція їй життєво необхідна, адже високовольтній батареї в електрокарі доводиться працювати з надзвичайно високою

циклічністю (розряд при кожному розгоні та заряд при рекуперативному гальмуванні) та з дуже високими струмами. Розглянемо її компоненти по черзі.

Батарея сучасного електромобіля – система, що саморегулюється, з інтелектом, який не допустить будь-яких шкідливих для неї режимів. Батарея не вимагає сервісного обслуговування, крім зчитування можливих помилок електроніки та, при необхідності, оновлення її «прошивки».

Практика підтверджує: навіть за найнапруженішого режиму роботи електромобіля з частими підзарядками батарея без проблем «ходить» 100–160 тисяч кілометрів гарантійного терміну. Теоретично, найкритичніший період – це перший рік експлуатації, коли можуть «вимкнутися» якісь окремі осередки в масиві. Але тут як з «битими пікселями» на екранах: ті, що залишилися, працюватимуть надійно, а загальна ємність батареї зменшиться взагалі непомітно.

Перші ознаки старіння зазвичай виявляються лише третього року експлуатації, коли зниження ємності може становити 10–15 відсотків від початкових резервів. Але далі процес деградації сповільнюється. Навіть на восьмий рік часто в батареї залишається значно більше за гарантовані 70% ємності.

Захист акумуляторів від повної розрядки з'явився в результаті засвоєних уроків з експлуатації Tesla Roadster, який вдавалося розрядити до 0% та не увімкнувши вчасно до зарядки, а пізніше треба було витягувати батарею, щоб знову привести електромобіль в робочий стан.

Говорячи про Tesla, у компанії трохи інший підхід до захисту, ніж в інших виробників. Tesla не приховує інформацію про свій буфер – їх електромобілі за замовчуванням заряджаються тільки до 90%. Ви можете налаштувати щоденний буфер зарядки в межах від 50% до 90%, в залежності від ваших особистих переваг.

Проте, Tesla дозволяє заряджати електромобілі до 100%, коли цього хоче клієнт або якщо вам потрібен додатковий запас ходу для подолання далекого маршруту. Такий підхід дозволяє водіям повною мірою використовувати електромобіль та акумулятор в разі необхідності, при цьому захищаючи його від передчасного зносу.

Відзначимо, що глава Tesla Ілон Маск рекомендує заряджати електромобіль максимально до 80%, а розряджати до 30%, щоб не знижувати її ефективність.

Крім позитивних аспектів застосування BEV, існують і проблеми, одною з котрих є утилізація батарей, оскільки технології дешевого, глибокого та безпечного для довкілля перероблення дуже токсичних Li-Ion елементів спочатку взагалі не було. Зараз вони вже створені: корпуси і мідні шини утилізуються як звичайний кольоровий метал, а осередки розмиваються спеціальними засобами, що дозволяє знову використовувати літій, котрий міститься в отриманому розчині, та інші елементи.

Але таких підприємств у світі ще мало, тому ефективним, нехай і тимчасовим, рішенням стало повторне використання осередків або батарей електромобілів у різних стаціонарних джерелах зберігання або резервування енергії. Вони потрібні станціям генерації електроенергії від сонячних панелей або вітряків. Їх можуть використовувати у приватних домогосподарствах чи структурі міських енергомереж. Наприклад, в Японії «списані» батареї електрокарів вже працюють для вуличного освітлення, у столиці Франції – надають руху ліфтам, а в Амстердамі живлять цілий стадіон. [7]

Стосовно такого аспекту утилізації батарей електрокарів, як промисловий дизайн, слід зауважити, що Україна, не маючи власного виробництва батарей та електрокарів, може лише сподіватися на якнайскоріше вирішення цих питань країнами-виробниками електромобілів. Проте необхідно передбачити законодавчі механізми недопущення ввезення на нашу територію непридатних батарей для їх розміщення (захоронення) в Україні. Цьому також мають сприяти і запропоновані механізми реєстрації операцій з батареями

Реєстрації в Україні нових і старих електромобілів у січні-лютому зросли вдвічі порівняно з тим самим періодом 2022 року – до 2023 од., зокрема, на частку нових припало 23,5%, повідомила Федерація автопрому України (ФАУ) на основі даних МВС.

Згідно з інформацією на сайті федерації, в лютому, зокрема, порівняно з тим самим місяцем 2022 року ринок зріс удвічі – до 1575 од., що також на 16,8% перевищило показник січня-2023.

Перше місце за підсумками двох місяців утримує Volkswagen, який наростив реєстрацію в 4,3 раза – до 760 од., що дало йому змогу контролювати 26% ринку і піднятися на першу позицію з третьої, яку він займав у січні-лютому 2022 року.

Друге місце, як і роком раніше, у Tesla з часткою ринку 19,7% і приростом реєстрацій у 2,5 раза, до 576 авто, третє – у торішнього лідера Nissan (13,7% ринку і приріст реєстрацій на 27%).

Далі йдуть Honda (11,6% ринку) з реєстрацією 340 авто проти 72 од. у січні-лютому-2022 і Renault (3,9%).

Водночас, згідно з інфографікою ФАУ, у рейтингу моделей на перше місце, відтіснивши багаторічного лідера Nissan Leaf, вийшов VW id4, реєстрації якого зросли до 542 од. з 47 од. роком раніше, а його частка на ринку сягнула 18,5%.

Nissan Leaf контролював 13% ринку, при цьому його реєстрації зросли на 30%, до 381 од. Третє місце у Honda M-NV з часткою 9,3% і зростанням продажів майже в 4,2 раза. Далі в рейтингу розташувалися три моделі Tesla: Model 3 (9,2%), Model Y (5,2%) і Model S (3,9%).

Як повідомлялося, 2022 року, за даними ФАУ, реєстрації в Україні нових і старих електромобілів зросли в 1,5 раза порівняно з 2021 роком – до 13,318 тис. од., зокрема на частку нових припало 16,9% проти 14,2%, лідером став Volkswagen. [8]

Станом на сьогодні для популяризації електромобілів існує звільнення від сплати ПДВ та акцизного збору при ввезенні EV до 2022 року (діє для нових і б/в EV, а також на надання послуг таксі на електротранспорті). Введені штрафи за паркування на місцях для EV (закон набрав чинності 1 січня 2020 року). За зупинку, стоянку або паркування на місці для електромобілів передбачається штраф від 340 до 510 гривень. Визнана необхідність обладнати електричними зарядками не менше 5% машиномісць на паркувальних майданчиках.

«Нерівні умови та несприятливе регуляторне середовище не дозволяють автовиробникам витримати конкуренцію на внутрішньому ринку. Якщо кілька років назад легкові автомобілі випускали чотири заводи, зараз усю статистику у цьому сегменті формує лише завод «Єврокар» у Закарпатській області і не завдяки, а всупереч економічним умовам», – акцентують у Федерації роботодавців автомобільної галузі.

Висновки.

Підсумовуючи викладене вище, можна зробити певні висновки.

1) В Україні стає нагальною потреба оновлення законодавства про хімічні джерела струму, в процесі якого слід урахувати розширення сфер застосування таких джерел, збільшення їх кількості й, головне, сукупної маси.

2) Необхідно створити і запровадити систему обліку операцій з постачання та утилізації батарей електромобілів із зобов'язанням постачальників таких комплектуючих створювати інфраструктуру збирання та подальшого передання на утилізацію виробникам непридатних для подальшої експлуатації батарей.

3) Запровадити презумпцію забруднення довкілля з боку власника електрокара в разі придбання елемента чи цілої батареї без передання в утилізацію відпрацьованого або пошкодженого елемента живлення. Сама відсутність непридатного елемента є підставою для накладення стягнення за неналежну утилізацію відпрацьованого джерела струму

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Еколого-правові проблеми електрифікації автомобільного транспорту. Електронний ресурс. Режим доступу: file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/VKhnuvs_2021_2_13.pdf

2. Заборона дизельних авто в Європі. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://ukr-prokat.com/blog/zaborona-dyzelnyh-avto-v-yevropi.html>

3. Без бензину і дизелю. Чому в Україні хочуть заборонити традиційні авто. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/publications/2021/07/20/676070/>

4. Водневі автомобілі VS електромобілі. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/projects/greendead/2020/06/8/661380/>

5. Автобуси, метро, таксі: як працюватиме транспорт Києва в разі тривалого блекауту. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/publications/2022/12/17/695107/>

6. Конструкція електромобіля: як влаштована «зелена машина». Електронний ресурс. Режим доступу: <https://go-tou.com/ua/news/electric-car-design-how-do-electric-cars-work>

7. Батарея електромобіля: як вона влаштована. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://go-tou.com/ua/news/how-electric-car-batteries-work>

8.Ринок електромобілів України. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://interfax.com.ua/news/greendead/896243.html#:~:text=Як%20повідомлялося%2C%202022%20року%2C%20за,2%25%2C%20лідером%20став%20Volkswagen>

REFERENCES

1. Environmental and legal problems of road transport electrification. Electronic resource. Access mode: file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/VKhnuvs_2021_2_13.pdf
2. Ban on diesel cars in Europe. Electronic resource. Access mode: <https://ukr-prokat.com/blog/zaborona-dyzelnyh-avto-v-yevropi.html>
3. Without gasoline and diesel. Why do they want to ban traditional cars in Ukraine? Electronic resource. Access mode: <https://www.epravda.com.ua/publications/2021/07/20/676070/>
4. Hydrogen cars VS electric cars. Electronic resource. Access mode: <https://www.epravda.com.ua/projects/greendead/2020/06/8/661380/>
5. Buses, metro, taxis: how Kyiv transport will work in the event of a prolonged blackout. Electronic resource. Access mode: <https://www.epravda.com.ua/publications/2022/12/17/695107/>
6. Design of an electric car: how a «green car» is arranged. Electronic resource. Access mode: <https://go-tou.com/ua/news/electric-car-design-how-do-electric-cars-work>
7. Electric car battery: how it is arranged. Electronic resource. Access mode: <https://go-tou.com/ua/news/how-electric-car-batteries-work>
8. Market of electric cars of Ukraine. Electronic resource. Access mode: <https://interfax.com.ua/news/greendead/896243.html#:~:text=Як%20повідомлялося%2C%202022%20року%2C%20за,2%25%2C%20лідером%20став%20Volkswagen>

РЕФЕРАТ

Порфіренко В.І Проблеми масового переходу на електрифікацію автотранспорту та шляхи їх вирішення / В.І. Порфіренко, Є.Р. Кудін // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

. Стаття присвячена дослідженню важливості переходу на електроавтомобілі в Україні, їх впливу на людей та навколишнє середовище, а також проблемам, які виникають при масовій електрифікації. Особливу увагу приділено міському транспорту та новітнім електроавтомобілям. Розвиток електроавтомобілів з кожним роком наближає людство до технологічного майбутнього, яке повинно частково вирішити проблему забруднення навколишнього середовища та допомогти відмовитися від ДВЗ автомобілів. Наразі впроваджуються законопроекти щодо відмови від ДВЗ автомобілів та масового переходу на електроавтомобілі в Україні. . Крім позитиву, процес цей має і проблеми, які потрібно вирішувати.

Об'єкт дослідження – стан електрифікації рухомого складу на українських дорогах.

Мета роботи – дослідження проблем масового переходу на електрифікацію в Україні та світі, наведення пропозицій щодо їх вирішення.

Методи дослідження – статистичні методи.

Проведено аналіз переходу на електроавтомобілі в Україні. Проведений аналіз використання міського транспорту електротранспорту під час воєнного стану в країні. Проведено порівняльний аналіз основних переваг та недоліків електроавтомобілів. Проведено аналіз шляхів розвитку електрокарів в Україні та світі, особливо у великих автобудівних компаніях. На основі проаналізованих даних, запропоновані шляхи популяризації електрифікації в Україні.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТРАНСПОРТ, ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ, ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ, БАТАРЕЯ, АКУМУЛЯТОРИ, УТИЛІЗАЦІЯ, ЕНЕРГІЯ, ВОДНЕВИЙ ТА ЕЛЕКТРИЧНИЙ ТРАНСПОРТ.

ABSTRACT

Porfirenko V.I., Kudin Y.R. Problems of the mass transition to the electrification of motor transportation and ways to solve them. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The article is devoted to the study of the importance of electrification in Ukraine, its impact on people and the environment, as well as the problems that arise with mass electrification. Special attention is paid to city transport and the latest electric cars. The development of electric cars every year brings humanity closer

to the technological future, which should partially solve the problem of environmental pollution and help to abandon the internal combustion engine of cars. Already today, we have draft laws on the abandonment of internal combustion engines and the mass transition to electric cars in Ukraine.

The object of the study is the state of automotive electrification on Ukrainian roads.

The purpose of the work is to study the problems of the mass transition to electrification in Ukraine and the world, to make proposals for their solution.

Research methods – statistical methods.

An analysis of the transition to electric cars in Ukraine was carried out. The analysis of the use of electric transport in the city during the martial law in the country was carried out. A comparative analysis of the main advantages and disadvantages of electric cars was carried out. An analysis of the ways of development of electric cars in Ukraine and the world, especially in large automobile companies, was carried out. Based on the analyzed data, ways to popularize electrification in Ukraine are proposed.

KEY WORDS: TRANSPORT, ELECTRIC CAR, ELECTRIFICATION, BATTERY, ACCUMULATORS, RECYCLING, ENERGY, HYDROGEN AND ELECTRIC TRANSPORT.

АВТОРИ:

Порфіренко Володимир Іванович, кандидат економічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри менеджменту, e-mail: porfirenko@gmail.com, тел. +380 67 503 44 33, Україна, 01010, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, к. 242.

Кудін Євгенія Русланівна, бакалавр, Національний транспортний університет, e-mail: zheniya2003@gmail.com, тел. +380 95 122 94 08, Україна, 01010, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, к. 242.

AUTHORS:

Porfirenko Volodymyr Ivanovich., Ph.D., associate professor, National transport university, associate professor department of management, e-mail: porfirenko@gmail.com, tel. +380 67 503 44 33, Ukraine, 01010, Kyiv, Mykhayla Omelyanovycha-Pavlenka str., 1, of. 242.

Kudin Yevgeniya Ruslanivna., bachelor, National transport university, e-mail: zheniya2003@gmail.com, tel. +380 95 122 94 08, Ukraine, 01010, Kyiv, Mykhayla Omelyanovycha-Pavlenka str., 1, of. 242.

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

ТЕХНИКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛИХ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ ДЛЯ УЛАШТУВАННЯ ШАРІВ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

Савенко В.Я., доктор технічних наук професор, Національний транспортний університет, Київ, Україна, svi1310@ukr.net, orcid.org/0000-0001-8174-7728

Мудриченко А.Я., ДП «ДерждорНДІ», Київ, Україна, mudrychenko@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9787-2523

Стасюк Т.О., ДП «ДерждорНДІ», Київ, Україна, tanechka02051990@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5921-4503

FEASIBILITY STUDY OF THE EXPEDIENCY OF WARM ASPHALT MIXTURES APPLICATION FOR THE ARRANGEMENT OF PAVEMENT LAYERS

Savenko V.Y., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, svi1310@ukr.net, orcid.org/0000-0001-8174-7728

Mudrychenko A.Y., «DerzhdorNDI» SE, Kyiv, Ukraine, mudrychenko@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9787-2523

Stasiuk T.O., «DerzhdorNDI» SE, Kyiv, Ukraine, tanechka02051990@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5921-4503

Постановка проблеми. З урахуванням тенденцій сучасного світу постає питання щодо раціонального використання енергетичних ресурсів. В умовах збільшення обсягів дорожніх робіт одним із актуальних питань, яке виникає при приготуванні асфальтобетонної суміші, є зниження енерговитрат на її виготовлення.

Аналіз основних досліджень і публікацій.

Про важливість дослідження та доцільність впровадження використання у дорожньому будівництві Warm Mix Asphalt (WMA) – теплих асфальтобетонних сумішей неодноразово зазначали у своїх публікаціях Радовський Б. [6], Кіщинський С., Жданюк В. [7], Perkins S. [8], D'Angelo J. [10], Drüschner L. [11] та ін..

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Тепла асфальтобетонна суміш – це технологія, яка дозволяє значно знизити температуру виробництва та укладання звичайної гарячої асфальтобетонної суміші. Завдяки зменшенню в'язкості бітуму та/або підвищенню обволіканню суміші, деякі технології застосування теплих АБС дозволяють знизити температуру приготування до 100° С і навіть нижче без шкоди для експлуатаційних характеристик асфальтобетону. Це обіцяє різні переваги порівняно з гарячими АБС, наприклад, зменшення викидів парникових газів, зниження споживання енергії, покращення умов праці, кращу обволікання та ущільнення тощо.

Незважаючи на багатообіцяючі показники порівняно з гарячими АБС, ця технологія ще не набула визнання в асфальтобетонній промисловості в Україні. Для того, щоб досягти широкого впровадження необхідно довести, що тепла АБС має такі ж або кращі характеристики і довгострокові показники, як і гаряча АБС.

Постановка завдання. Мета роботи полягала у дослідженні доцільності використання асфальтобетонних сумішей, що виготовлені за знижених технологічних температур на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та RAP.

Виклад основного матеріалу. Технології теплих АБС обіцяють ряд переваг при використанні. Конкретні переваги та ступінь переваг залежать від того, яка саме технологія використовується. Однак, згідно з оглядом дослідницької літератури, переваги можна розділити на чотири групи:

- екологічні;
- під час виробництва;
- під час укладання;

– економічні.

Різні технології виробництва теплих АБС дають змогу економити енергію для виробництва – це в основному залежить від того, наскільки була знижена температура виробництва і яке паливо було використано. Економічну вигоду від економії енергії слід розглядати разом з вартістю та типом енергії, оскільки вищі ціни на енергію обіцяють більшу економію. І знову ж таки, економія залежить від технології виробництва, оскільки деякі технології теплих АБС вимагають лише початкових інвестицій для модифікації заводу, деякі вимагають постійних додаткових витрат на добавки, а деякі вимагають обох форм додаткових витрат.

Економічні вигоди слід оцінювати разом з екологічними вигодами. Якщо впроваджуються суворіші стандарти викидів, то економічний потенціал для Warm Mix Asphalt (WMA) може бути вищим. У цьому випадку потенційні вигоди можуть не повністю піддаватися економічній оцінці і повинні оцінюватися разом з екологічними нормами.

Існують певні застереження щодо впровадження технології виробництва теплих АБС через її вартість. Необхідно довести ефективність теплих АБС порівняно з гарячими АБС, щоб використання цієї технології набуло широкого розповсюдження. Доцільно встановити на скільки відсотків скорочення споживання енергії зменшить загальні витрати на виробництво теплих АБС. Якщо не буде доведено зниження виробничих витрат, може статися так, що підрядники не оберуть цю технологію лише через її інші переваги, і якщо не буде запроваджено жорсткіших норм щодо викидів, технологія теплих АБС не зможе набути широкого розповсюдження. Це може призвести до збільшення витрат на:

- інвестиції та модифікації заводу;
- витрати на добавки;
- можливі витрати на ліцензування технології.

Приготування асфальтобетонної суміші передбачає наступні технологічні операції: переміщення матеріалів бульдозером; завантаження матеріалів в установку; розігрів бітуму в бітумосховищі; випарювання води з бітуму; підігрівання зневодненого бітуму до робочої температури; перекачування бітуму; очищення бітумних котлів; приготування суміші; обслуговування газодувної установки та контролювання температури просушування матеріалів; контролювання роботи конвеєрів і дозаторів; видача готової суміші в транспортні засоби [4].

При виконанні досліджень були розраховані вартості приготування асфальтобетонних сумішей гарячих та так званих теплих асфальтобетонних сумішей з додаванням енергозберігаючих добавок та RAP.

Вартість прямих витрат визначалась на підставі ресурсних кошторисних норм ДСТУ Б Д.2.2-27:2016 «Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Автомобільні дороги (Збірник 27)», ДСТУ Б Д.2.7-1:2012 «Ресурсні кошторисні норми експлуатації будівельних машин та механізмів», СОУ 42.1-37641918-034:2018 «Дорожні машини та механізми. Ресурсні кошторисні норми експлуатації будівельних машин і механізмів», СОУ 42.1-37641918-035:2018 «Автомобільні дороги. Ресурсні елементні кошторисні норми на ремонтно-будівельні роботи». На роботи з приготування теплих асфальтобетонних сумішей з додаванням RAP відсутні ресурсні елементні кошторисні норми. Ураховуючи зазначене, на відповідні роботи були розроблені індивідуальні кошторисні норми з урахуванням вимог ДСТУ-Н Б Д.1.1-6:2013 «Настанова щодо розроблення ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи».

Для нормування потреби трудових та технічних ресурсів при розробленні індивідуальних кошторисних норм використаний розрахунково-дослідний метод [8]. Він базується на використанні даних, одержаних в результаті проведення спеціальних нормативних досліджень (вимірів, фотохронометражу).

Визначення величини норм витрат труда ($H_{втр}$) робітників-будівельників розраховано за формулою [8]:

$$H_{втр} = \frac{\Pi_{ст}}{(100 - (\Pi_{нзр} + \Pi_{г} + \Pi_{мо})) * 60} \quad (2)$$

де $\Pi_{ст}$ – сума проєктованих витрат на вимірник процесу, люд.хв;

$P_{нзр}$ – проектовані витрати на підготовчо-заключну роботу, %;
 $P_{г}$ – проектовані витрати на відпочинок і особисті потреби, %;
 $P_{то}$ – проектовані витрати на технічне обслуговування машин та механізмів.

Час використання машин і механізмів ($H_{чвм}$, маш.год) і витрати труда ланок, що обслуговують машини й механізми ($H_{взм}$, люд.год), визначені на підставі поточного нормативного часу роботи робітників-будівельників і кількісного складу виконавців:

$$H_{чвм} = H_{втр} : N_p \quad (3)$$

$$H_{взм} = H_{чвм} \cdot N_o \quad (4)$$

де N_p – кількісний склад ланки робітників-будівельників, чол.;

N_o – кількісний склад ланки, що обслуговує машини й механізми, чол.

При виконанні досліджень були розраховані вартості приготування асфальтобетонних сумішей об'ємом 100 т на асфальтобетонному заводі продуктивністю 130 тон за годину таких асфальтобетонних сумішей:

Гаряча асфальтобетонна суміш – температура вихідного бітуму при перемішуванні становила (140-155) °С, мінерального матеріалу (170-180)°С. дрібнозернистого щільного асфальтобетону непереривчастої гранулометрії, марки І, типу А на вихідному бітумі БНД 70/100, з вмістом бітуму 5,0 %;

Теплі асфальтобетонні суміші – температура бітуму при приготуванні теплих асфальтобетонних сумішей становила (130-145) °С, температура нагрівання мінерального матеріалу (140-160)°С:

– дрібнозернистого щільного асфальтобетону непереривчастої гранулометрії, марки І, типу А на вихідному бітумі БНД 70/100 з додаванням енергозберігаючої добавки, з вмістом бітуму 4,5%;

– дрібнозернистого щільного асфальтобетону непереривчастої гранулометрії, марки І, типу А (+RAP у кількості 15 %) на вихідному бітумі БНД 70/100 з додаванням енергозберігаючої добавки, з вмістом бітуму 4,5%;

– дрібнозернистого щільного асфальтобетону непереривчастої гранулометрії, марки І, типу А (+RAP у кількості 20 %) на вихідному бітумі БНД 70/100 з додаванням енергозберігаючої добавки, з вмістом бітуму 4,5%;

– дрібнозернистого щільного асфальтобетону непереривчастої гранулометрії, марки І, типу А (+RAP у кількості 25 %) на вихідному бітумі БНД 70/100 з додаванням енергозберігаючої добавки, з вмістом бітуму 4,5%.

Таким чином використання енергозберігаючих добавок дозволяє знизити температуру нагрівання в'язучого і мінерального матеріалу на (10 – 15) °С [3].

Загальні витрати на приготування асфальтобетонних сумішей об'ємом 100 т з різними фізико-механічними характеристиками наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Витрати на приготування 100 т асфальтобетонної суміші
Table 1 – Costs of preparation of 100 tons of asphalt mixtures

Ч.ч.	Асфальтобетонна суміш	Витрати, тис. грн	
		Вартість матеріалів	Загальна вартість
1	АБС.Др.Щ.А.НП.І.БНД 70/100 (5%)	156,247	230,074
2	АБС.Др.Щ.А.НП.І.БНД 70/100 (4,5 %+ЕД)	147,486	219,536
3	АБС.Др.Щ.А.НП.І.БНД 70/100 (4,5 %+ЕД+15% RAP)	143,242	215,275
4	АБС.Др.Щ.А.НП.І.БНД 70/100 (4,5 %+ЕД+20% RAP)	138,151	208,309
5	АБС.Др.Щ.А.НП.І.БНД 70/100 (4,5 %+ЕД+25% RAP)	133,009	202,124

На основі даних табл. 1 побудоване графічне зображення витрат на приготування 100 т асфальтобетонної суміші, в залежності від типу асфальтобетону (рис. 1).

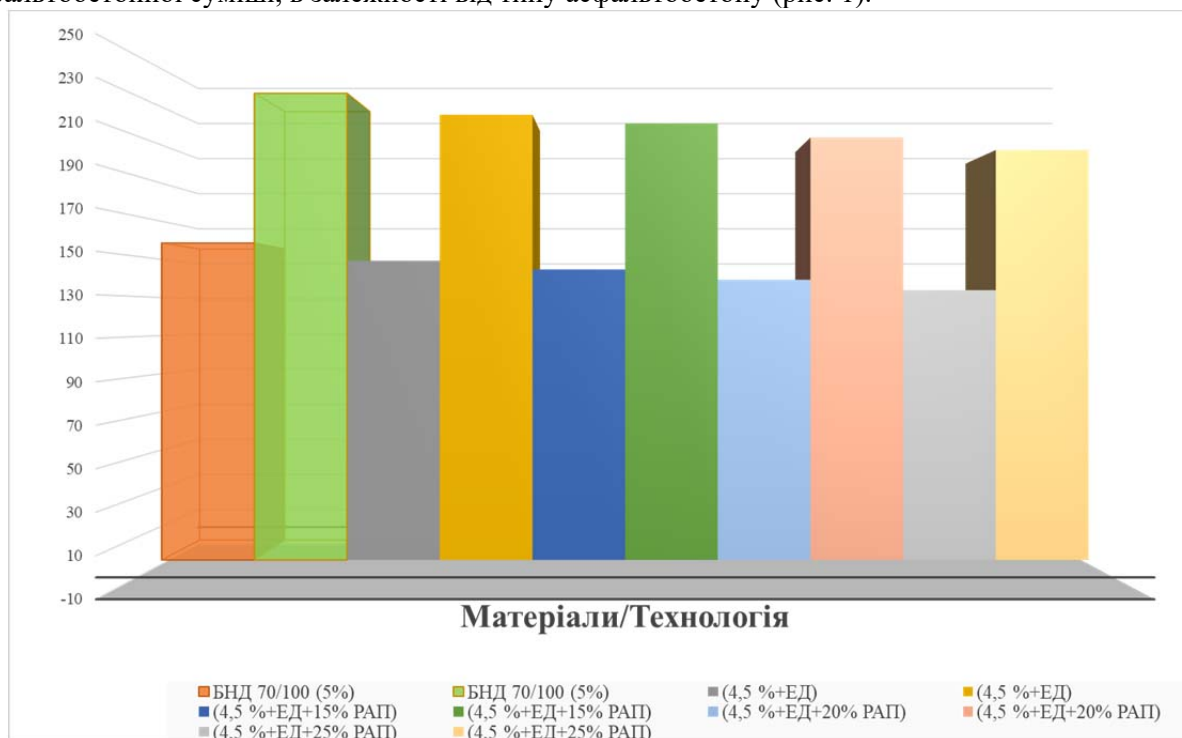


Рисунок 1 – Вартість приготування 100 т суміші АБС.Др.Щ.А.НП.І.БНД 70/100

Figure 1 – Cost of preparation of 100 tons of asphalt mixture

Результати досліджень показують, що приготування теплих асфальтобетонних сумішей є економічно вигіднішими, оскільки за рахунок зменшення кількості бітумного в'язучого та складових, замінивши їх на RAP, можна досягти економії у вартості матеріалів на 14,8 %, а вартості технології приготування на 12 %.

Висновки. Вартість приготування за будь-якою технологією є надто залежною від вартості будівельних матеріалів та частки використання місцевих матеріалів.

Використання енергозберігаючих добавок дозволяє знизити температуру нагрівання в'язучого і мінерального матеріалу на (10 – 15) °С, а це, в свою чергу, призводить до зменшення вартості асфальтобетонної суміші на 12 %, а вартості матеріалів для приготування АБС майже на 15%.

Проведені дослідження використання технології приготування асфальтобетонних сумішей на основі бітумів з додаванням енергозберігаючих добавок та RAP дають змогу зробити такі висновки.

Укладання теплих АБ призводить до зменшення забруднення атмосфери. Нижчі температури змішування та модифікація бітуму призводять до іншої в'язко-пружної поведінки в'язучого в дорожньому покритті, виготовленому за технологією теплового АБ. Менше старіння під час виробництва та укладання, як правило, покращує гнучкість покриття, що зменшує втомлюваність та температурне розтріскування. Вважається, що це призводить до покращення довговічності (життєвого циклу) дорожнього одягу, що ще більше зменшує потенційні витрати на відновлення асфальтобетонного покриття. Зниження в'язкості бітуму в процесі виробництва дозволяє використовувати більший відсоток регенованого асфальтобетону (RAP) [3].

Оскільки технології теплих асфальтобетонів застосовуються лише протягом 20 років, все ще існують застереження щодо довгострокових характеристик покриттів, улаштованих із таких матеріалів. Якщо буде доведено, що теплі АБ має таку ж або кращу довговічність, ніж гарячі, то економічні витрати протягом життєвого циклу теплих АБ можуть значно збільшити переваги цієї технології.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови.
2. ДСТУ-Н Б В.2.7-315:2016 Настанова щодо виробництва та застосування асфальтобетонних сумішей за знижених технологічних температур із використанням енергозберігаючих добавок.
3. Савенко В. Я., Ілляш С. І., Мудриченко А. Я. Аналіз фізико-механічних характеристик теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму. Збірник «Дороги і мости. Київ, 2022. Вип. 25.
4. ДСТУ Б Д.2.2-27:2016 Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Автомобільні дороги (Збірник 27);
5. МР В.2.3.2-218-03449261-468:2005 «Методичні рекомендації з проектування і перевірки розрахунково-аналітичним та розрахунково-дослідницьким методом технічно обґрунтованих норм часу на механізовані будівельні і ремонтно-будівельні роботи в дорожньому господарстві».
6. Радовський Б.С. Прогрес технологій виробництва теплих асфальтобетонних сумішей в США// Автомобільні Дороги. – 2011. – №8. – С29-39.
7. С. Кіщинський, Л. Кириченко, Н. Бондар, Е. Гнатюк, Н. Любченко, Л. Гончар, В. Жданюк, М. Бевзюк Звіт про науково-дослідну роботу “Розробити технологію приготування полімерасфальтобетону з використанням спінених модифікованих бітумів”. Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П.Шульгіна, Київ 2007.
8. Perkins, Steven. Synthesis of warm mix asphalt paving strategies for use in Montana highway construction. Montana : the state of Montana, department of transportation, November 2009. final report.
9. Low Emission Asphalt. product home page http://www.mcconnaughay.com/lowemissionasphalt_intro.php.
10. D'Angelo, John, et al. Warm-Mix Asphalt: European Practise. American Trade Initiatives. Washington, DC : U.S. Department of Transportation, February 2008.
11. Drüschner, Lotar. Experience with Warm Mix Asphalt in Germany. Sønderborg: NVF-rapporter, 2009. guest report in conference.

REFERENCES

1. DSTU B V.2.7-119: 2011 Asphalt mixtures and asphalt concrete for road and airfield. Technical specifications.
2. DSTU-N B V.2.7-315: 2016 Guidelines for the production and use of asphalt mixtures at low process temperatures using energy-saving additives.
3. Analysis of physical and mechanical characteristics of warm asphalt mixtures based on bitumen with the addition of energy-saving additives and foamed bitumen. Collection «Roads and bridges. Kyiv, 2022. Issue 25.
4. DSTU B D.2.2-27: 2016 Resource elemental estimate norms for construction works. Highways (Collection 27);
5. MR V.2.3.2-218-03449261-468: 2005 «Methodical recommendations for designing and verification of technically sound time standards for mechanized construction and repair and construction works in the road sector by calculation-analytical and calculation-research method».
6. Radovsky B.S. Progress of technologies for the production of warm asphalt mixtures in the USA // Avtomobilni Dorogi. – 2011. – №8. – C29-39.
9. S. Kishchynskiy, L. Kyrychenko, N. Bondar, E. Hnatiuk, N. Liubchenko, L. Gonchar, V. Zhdaniuk, M. Bevziuk Report on research work «Development of technology for the preparation of polymer asphalt concrete using foamed modified bitumen». M.P. Shulgin State Road Research Institute, Kyiv, 2007.
10. Perkins, Steven. Synthesis of warm mix asphalt paving strategies for use in Montana highway construction. Montana : the state of Montana, Department of Transportation, November 2009. Final Report.
11. Low Emission Asphalt. product home page http://www.mcconnaughay.com/lowemissionasphalt_intro.php.
12. D'Angelo, John, et al. Warm-Mix Asphalt: European Practise. American Trade Initiatives. Washington, DC : U.S. Department of Transportation, February 2008.

13. Drüschner, Lotar. Experience with Warm Mix Asphalt in Germany. Sønderborg: NVF-rapporter, 2009. guest report in conference.

РЕФЕРАТ

Савенко В.Я. Техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування теплих асфальтобетонних сумішей для улаштування шарів дорожнього одягу / В.Я. Савенко, А.Я. Мудриченко, Т.О. Стасюк // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

В статті досліджуються асфальтобетонні суміші, виготовлені за стандартною технологією та так звані теплі асфальтобетонні суміші, що виготовлені за знижених технологічних температур на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та RAP (регенерована асфальтобетонна суміш).

Мета роботи – дослідження доцільності використання асфальтобетонних сумішей, що виготовлені за знижених технологічних температур на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та RAP. З урахуванням тенденцій сучасного світу постає питання щодо раціонального використання енергетичних ресурсів. В умовах збільшення обсягів дорожніх робіт одним із актуальних питань, яке виникає при приготуванні асфальтобетонної суміші, є зниження енерговитрат на її виготовлення.

Метод дослідження. Проведено експериментальні порівняльні дослідження вартості приготування традиційних гарячих асфальтобетонних сумішей та асфальтобетонних сумішей, що виготовлені за знижених технологічних температур на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та RAP.

Результати. Проведено техніко-економічне порівняння вартості приготування гарячих і теплих асфальтобетонних сумішей та отримані результати вартісної оцінки приготування АБС за різними технологіями.

На основі аналізу отриманих результатів встановлено, що при порівнянні технологій гарячих асфальтобетонних сумішей та технологій теплих асфальтобетонних сумішей перевагу слід надавати технологіям так званих теплих асфальтобетонних сумішей, оскільки маємо зниження енерговитрат та доданих складників і як результат зниження собівартості приготування асфальтобетонних сумішей без погіршення фізико-механічних властивостей.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОМОБІЛЬНА ДОРОГА, АСФАЛЬТОБЕТОННІ СУМІШІ, В'ЯЖУЧЕ, ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧА ДОБАВКА, ТЕМПЕРАТУРА, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ, ТЕПЛІ АСФАЛЬТОБЕТОННІ СУМІШІ, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ABSTRACT

Savenko V.Y., Mudrychenko A.Y., Stasiuk T.O. Feasibility study of the expediency of warm asphalt mixtures application for the arrangement of pavement layers. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The article investigates asphalt mixtures made according to standard technology and the so-called warm asphalt mixtures made at reduced process temperatures based on bitumen with the addition of energy-saving additives and RAP (reclaimed asphalt mixture).

The purpose of the study is to investigate the feasibility of using asphalt mixtures made at low process temperatures on the basis of bitumen with the addition of energy-saving additives and RAP. Taking into account the trends of the modern world, the issue of rational use of energy resources arises. In the context of an increase in road works scopes, one of the pressing issues that arise in the preparation of asphalt mixtures is the reduction of energy costs for its production.

Research method. Experimental comparative studies of the cost of preparing traditional hot asphalt mixtures and asphalt mixtures made at reduced process temperatures based on bitumen with the addition of energy-saving additives and RAP were carried out.

Results. A technical and economic comparison of the cost of preparing hot and warm asphalt mixtures was carried out and the results of the cost estimation of the preparation of asphalt mixtures using different technologies were obtained.

Based on the analysis of the results obtained, it was found that when comparing the technologies of hot asphalt mixtures and technologies of warm asphalt mixtures preparation, preference should be given to the technologies of the so-called warm asphalt mixtures, since we have a decrease in energy consumption and added components and, as a result, a decrease in the cost of preparing asphalt mixtures without deterioration of physical and mechanical properties.

KEYWORDS: HIGHWAY, ASPHALT MIXTURES, BINDER, ENERGY-SAVING ADDITIVE, TEMPERATURE, FEASIBILITY STUDY, WARM ASPHALT MIXTURES, ECONOMIC EFFICIENCY.

АВТОРИ:

Савенко В'ячеслав Якович, доктор технічних наук професор, завідувач кафедри транспортного будівництва та управління майном, Національний транспортний університет, e-mail: svi1310@ukr.net, тел. +38 (067) 443-87-65, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, orcid.org/0000-0001-8174-7728,

Мудриченко Анатолій Ярославович., заступник завідувача відділу технологій дорожніх робіт ДП «ДерждорНДІ», e-mail: mudrychenko@gmail.com, +38 (097) 134-57-55, Україна, 03113, м. Київ, просп. Берестейський (Перемоги), буд. 57, orcid.org/0000-0001-9787-2523

Стасюк Тетяна Олександрівна, молодший науковий співробітник відділу технологій дорожніх робіт ДП «ДерждорНДІ», e-mail: tanechka02051990@gmail.com, +38 (099) 602-49-18, Україна, 03113, м. Київ, просп. Берестейський (Перемоги), буд. 57, orcid.org/0000-0001-5921-4503

AUTHORS:

Savenko Viacheslav, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Transport Construction and Property Management, National Transport University, e-mail: svi1310@ukr.net, tel. +38 (067) 443-87-65, Ukraine, 01010, Kyiv, 1 Omelyanovycha-Pavlenka str, orcid.org/0000-0001-8174-7728,

Anatolii Mudrychenko, Deputy Head of the Road Works Technology Department «DerzhdorNDI» SE, e-mail: mudrychenko@gmail.com, +38 (097) 134-57-55, Ukraine, 03113, Kyiv, 57 Beresteyskyi (Peremohy) ave.

Tetiana Stasiuk, Junior Researcher, Road Works Technologies Department, «DerzhdorNDI» SE, e-mail: tanechka02051990@gmail.com, +38 (099) 602-49-18, Ukraine, 03113, м. Kyiv, 57 Beresteyskyi (Peremohy) ave.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Копинець І.В., кандидат технічних наук, завідувач відділу бітумних в'язучих та асфальтобетонів ДП «ДерждорНДІ», Київ, Україна.

Рутковська І.А., професор кафедри аеропортів, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, Київ, Україна.

REVIEWER:

Kopynets I.V., Candidate of Technical Sciences, Head of Bituminous Binders and Asphalt Concrete Department, «DerzhdorNDI» SE, Kyiv, Ukraine.

Rutkovska I.A., Professor of Airport Department, PhD in Engineering, Associate Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕНОСТІ СТАБІЛІЗУЮЧОГО МОМЕНТУ ШИНИ

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/0000-0002-1410-9088

Костян Н.Л., кандидат технічних наук, Черкаський державний технологічний університет, Черкаси, Україна, 438knl@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1599-4007

ON THE QUESTION OF DETERMINATION OF TIRE SELF-ALIGNING TORQUE

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 Technical Sciences, 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/0000-0002-1410-9088

Kostian N.L., Ph.D. in Technical Sciences, Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine, 438knl@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1599-4007.

Постановка проблеми

Прикладені до вхідної ланки еластичного колеса, якою є жорсткий диск, крутний момент від трансмісії, гальмівний момент від гальмівного механізму, сила штовхання від остова, момент від кермового керування, бічна сила, зумовлена вітром, нахилом опорної поверхні та інерційними силами, викликають реакції у вихідній ланці, якою є контактний відбиток шини. Наявність реакцій у контактному відбитку шини, який одночасно належить колесу та опорній поверхні, зумовлює рух колеса [1].

Водночас під час руху колеса по криволінійній траєкторії виникає бічне зміщення диска та його закручування відносно відбитка шини під час проходження колесом шляху, що дорівнює половині поздовжньої осі контактного відбитка. Поворот диска відносно відбитка шини викликає момент закручування, а його бічне зміщення – бічну силу. Бічне зміщення диска під час руху по криволінійній траєкторії зумовлює кочення колеса з кутом відведення, який прийнято називати «кінематичним» [2–5].

Під час плоскопаралельного руху колеса з відведенням, яке зумовлене бічним зміщенням диска колеса відносно відбитка шини з моменту входу точки шини в контакт з опорною поверхнею та до моменту її виходу з контакту, у контактному відбитку з'являються бічні сили, рівнодійна яких зміщена відносно геометричного центра відбитка шини [1–5]. Ця зміщена рівнодійна у контактному відбитку шини приводиться до стабілізуючого моменту шини та сили, прикладеної в центрі контактного відбитка шини. Водночас поздовжні реакції в контакті шини під час руху з відведенням, аналогічно бічним силам, викликають також стабілізуючий момент, який значно менший порівняно з поперечним стабілізуючим моментом та який прийнято називати поздовжнім. У подальшому в роботі наведено дослідження стабілізуючого моменту шини, зумовленого тільки бічними реакціями опорної поверхні під час кочення колеса з відведенням. Вплив поздовжніх реакцій на його величину враховується відповідним коефіцієнтом.

Отже, стабілізуючий момент шини діє відносно вертикальної осі, що проходить через центр контактного відбитка шини та викликаний зміщенням рівнодійних бічних і поздовжніх реакцій відносно центра контактного відбитка шини під час кочення колеса з відведенням.

Оскільки кочення колеса з відведенням суттєво впливає на керованість і стійкість руху автомобіля, робота присвячена розв'язуванню задачі, пов'язаної з особливостями визначення бічної сили та стабілізуючого моменту шини під час кочення еластичного колеса з відведенням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанню визначення бічної сили та стабілізуючого моменту шини колеса, що котиться з відведенням, присвячені роботи вітчизняних і зарубіжних дослідників, серед яких, на нашу думку, заслуговують на увагу роботи М. Келдиша [3], В. Кнороза [4], А. Литвинова [5], Р. Смілея і В. Горнома [6], Г. Фроненштейна [7], Г. Пасежка [8] та ін.

Відомо, що під час кочення колеса з бічним відведенням стабілізуючий момент шини $M_{ш}$ зі збільшенням кута відведення δ збільшується, досягає максимального значення, а потім при $\delta > \delta_{M_{шmax}}$ зменшується [5–8]. Для деяких шин за великих кутів відведення на величину стабілізуючого моменту можуть суттєво впливати поздовжні реакції, що спричинює зміну знаку цього моменту [5, 8].

Зі збільшенням тиску повітря в шині стабілізуючий момент шини зменшується тим примітніше, чим більше нормальне навантаження [5].

На величину стабілізуючого моменту шини впливають також фізико-механічні властивості опорної поверхні. Зі збільшенням коефіцієнта зчеплення максимальний стабілізуючий момент шини збільшується [5–7].

Для ілюстрації виникнення стабілізуючого моменту шини на рис. 1 наведено епюри розподілу бічних елементарних реакцій у контактному відбитку шини за різних кутів відведення на дорозі з високим коефіцієнтом зчеплення.

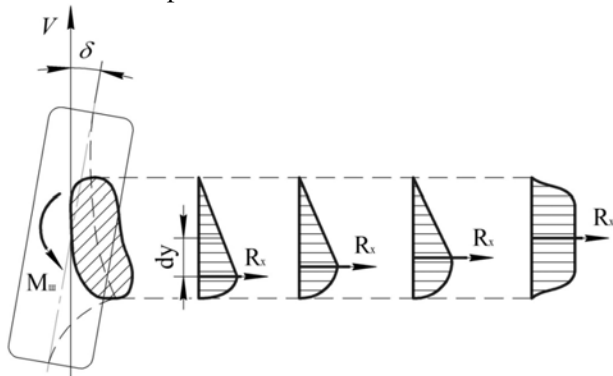


Рисунок 1 – Епюра розподілу бічних елементарних реакцій у контактному відбитку шини

Figure 1 – The diagram of the distribution of lateral elementary reactions in the contact tire patch

Із аналізу рис. 1 видно, що при малих кутах відведення епюра розподілу елементарних бічних реакцій наближається до трикутника, а їх рівнодійна зміщена на величину $dy > 0$ до задньої частини контактної відбитка. При цьому передня частина відбитка паралельна напрямку руху, а задня згинається, викликаючи проковзування елементів шини по опорній поверхні. У міру збільшення кута відведення площа зон ковзання збільшується, а рівнодійна бічних реакцій зміщується вперед до центра відбитка. Якщо кут відведення $\delta = 12...15^\circ$, ковзання відбувається по всій площі контактної відбитка. Рівнодійна елементарних бічних сил досягає максимуму, обмеженого зчепними властивостями шини, і зміщується до центра контактної відбитка. У цьому випадку

стабілізуючий момент шини прямує до нуля, оскільки відсутнє зміщення точки прикладання рівнодійної бічних сил відносно центра контактної відбитка ($dy = 0$).

Прийняття пропорційності між бічною силою та кутом відведення, дозволило описати фізичні процеси, що відбуваються у тілі шини, простими аналітичними залежностями. При малих кутах відведення бічна сила, що діє на колесо, яке котиться з відведенням, пропорційна куту відведення та визначається так:

$$D_a = k_a \delta, \quad (1)$$

де P_δ – бічна сила, що діє на колесо з відведенням, Н; k_a – коефіцієнт опору бічному відведенню, Н/град; δ – кут відведення, град.

У роботах [4], [5], [7], [9] залежність $P_\delta = f(\delta)$ рекомендується представити графічно у вигляді трьох ланок: нахилена ланка – «чисте відведення» за відсутності ковзання у контактному відбитку, криволінійна ланка – у зоні контакту наявні зони зчеплення та ковзання, горизонтальна ланка – «чисте ковзання», за якого в контакті колеса з опорною поверхнею наявні тільки зони ковзання. Однак крива $P_\delta = f(\delta)$, яка отримана експериментально [5, 9], у багатьох випадках має складнішу форму. Нахилена ланка фактично відсутня, оскільки при всіх кутах відведення, навіть незначних, у контактному відбитку наявні зони з частковим ковзанням. Тому А. Литвинов рекомендує вважати умовною наявність нахиленої ланки [5].

Питаннями, пов'язаними з нелінійністю залежності $P_\delta = f(\delta)$, займалися багато дослідників [2], [6–8]. Так, Р. Смілей і В. Горном [6] залежність $P_\delta = f(\delta)$ рекомендують розділити на дві зони: зону часткового ковзання та зону повного ковзання. Для зони часткового ковзання виконується умова

$$\frac{k_{во} \delta}{1,5} \leq \phi R_N, \text{ за якої бічну силу автори рекомендують визначати так:}$$

$$P_{\delta} = k_{\delta 0} \delta \left[1 - \frac{4}{27} \left(\frac{k_{\delta 0} \delta}{\varphi R_N} \right)^2 \right], \quad (2)$$

де $k_{\delta 0}$ – коефіцієнт опору бічному відведенню при $\delta = 0$; R_N – нормальна реакція опорної поверхні.

При $\frac{k_{\delta 0} \delta}{1,5} \geq \varphi R_N$ автори вважають, що бічна сила досягає максимального значення $P_{\delta \max}$ і не залежить від величини кута відведення, обмежена значенням коефіцієнта зчеплення φ та визначатиметься за виразом:

$$P_{\delta \max} = \varphi R_N. \quad (3)$$

Із аналізу залежності (2) видно, що графік залежності $P_{\delta} = f(\delta)$ не має лінійної ланки, а це означає, що коефіцієнт опору відведенню не є постійною величиною. Водночас залежністю (3) автори підтверджують, що за певного значення кута відведення бічна сила досягає максимального значення та не залежить від величини кута відведення, а її значення обмежено величиною коефіцієнта зчеплення φ .

Водночас проведені А. Литвиновим [5] експериментальні дослідження показали, що у певній зоні залежності $P_{\delta} = f(\delta)$ коефіцієнт k_{δ} залишається незмінним.

Цей висновок підтверджений у роботах В. Кнороза [4, 9, 10], у яких було встановлено, що лінійність бічної сили від кута відведення у шин легкових автомобілів зберігається до кутів $3-4^{\circ}$, а у шин вантажних автомобілів – до $4-5^{\circ}$ на сухому асфальтобетоні з високим коефіцієнтом зчеплення.

Отже, наявність лінійної ланки залежності $P_{\delta} = f(\delta)$ зумовлена наявністю зон зчеплення у контактному відбитку, які залежать від коефіцієнта зчеплення. Тому, чим більше значення коефіцієнта зчеплення, тим кут відведення матиме більше значення, при якому залежність $P_{\delta} = f(\delta)$ буде лінійною. При куті відведення, за якого у контактному відбитку шини будуть тільки зони ковзання, бічна сила досягає максимуму та з подальшим збільшенням кута відведення не залежить від його величини.

Максимальний стабілізуючий момент для шин при номінальному навантаженні і внутрішньому тиску повітря А. Литвинов [5] під час кочення колеса з відведенням рекомендує визначати за емпіричною залежністю:

$$M_{u \max} = (0,015 \dots 0,0225) G_k \quad (4)$$

де $M_{u \max}$ – максимальний стабілізуючий момент шини, Н·м; G_k – нормальне навантаження на шину, Н.

Однак вищенаведена залежність наближена і не враховує коефіцієнт зчеплення шини з опорною поверхнею, тиск повітря, конструктивні особливості шини.

Ураховуючи, що на величину стабілізуючого моменту шини визначальний вплив має кут відведення, стабілізуючий момент шини визначають як функцію кута відведення.

Аналіз наведених у роботі [11] результатів експериментальних досліджень залежності стабілізуючих моментів від кутів відведення для шини розміру 6.45–13 мод. М130-А показав, що зі збільшенням тиску повітря в шині зменшується як поточне значення стабілізуючих моментів шин, так і їх максимальні значення.

На підставі аналізу експериментальних даних залежностей стабілізуючих моментів шин від кутів відведення, отриманих багатьма дослідниками, у роботі [11] Т. Литвинова пропонує емпіричну залежність, яка апроксимує криву $M_u = f(\delta)$ у межах зміни кутів відведення від 0° до величини, більшої на 20–30 % від кута відведення, що відповідає максимуму стабілізуючого моменту:

$$\frac{M_u}{M_{u \max}} = 2 \frac{\delta}{\delta_{Mu \max}} - \left(\frac{\delta}{\delta_{Mu \max}} \right)^2, \quad (5)$$

де M_u – стабілізуючий момент шини при поточному значенні кута відведення δ ; $M_{u \max}$ – максимальне значення стабілізуючого моменту шини; $\delta_{Mu \max}$ – кут відведення, при якому стабілізуючий момент шини досягає максимального значення.

Величини $M_{u \max}$ та $\delta_{Mu \max}$ автор рекомендує визначати експериментально на стенді. Однак під час дослідження на барабанному стенді величина моменту $M_u = f(\delta)$ буде меншою, ніж під час визначення на площині [5, 11]. Різниця між експериментальними даними залежатиме від співвідношення діаметрів барабана і шини. Це пояснюється тим, що унаслідок випробування шин на барабані змінюються характер розподілу питомого тиску по площі контакту та його розміри. Для отримання даних щодо стабілізуючого моменту шини необхідно, щоб відношення діаметра барабана до діаметра шини було не менше, ніж 3,5.

Р. Смілей і В. Горном [6] рекомендують стабілізуючий момент шини визначати за емпіричними залежностями, поділивши його на три зони, залежно від безрозмірної величини $\frac{k_{\text{во}}\delta}{\phi R_N}$, яка залежить від величини коефіцієнта зчеплення:

$$\text{при } \frac{k_{\text{во}}\delta}{\phi R_N} \leq 0,1 \quad M_{\text{ш}} = 0,4ak_{\text{во}}\delta, \quad (6)$$

$$\text{при } 0,1 \leq \frac{k_{\text{во}}\delta}{\phi R_N} \leq 0,55 \quad M_{\text{ш}} = \frac{a}{2} \left[k_{\text{во}}\delta \left(1 - \frac{k_{\text{во}}\delta}{\phi R_N} \right) - 0,01\phi R_N \right], \quad (7)$$

$$\text{при } \frac{k_{\text{во}}\delta}{\phi R_N} \geq 0,55 \quad M_{\text{ш}} = \frac{a}{2} [0,2925\phi R_N - 0,1k_{\text{во}}\delta]. \quad (8)$$

Максимальне значення стабілізуючого моменту шини автори рекомендують визначати за виразом:

$$M_{\text{ш}} = 0,12a\phi R_N, \quad (9)$$

де a – поздовжня вісь контактного відбитка шини.

Отже, стабілізуючий момент шини створюється зміщенням рівнодійних бічних і поздовжніх реакцій у відбитку шини під час кочення колеса з відведенням, а внаслідок реалізації зчеплення елементів шини з опорною поверхнею стабілізуючий момент шини дорівнює нулю. Щодо стабілізуючого моменту шини під час криволінійного руху та кочення з розвалом, то залежностей для його визначення не існує.

Мета дослідження. Визначити особливості розрахунку стабілізуючого моменту шини та бічної сили під час кочення колеса з відведенням.

Виклад основного матеріалу.

Оскільки стабілізуючий момент шини та бічна сила залежать від стану контактної відбитка шини, для дослідження стабілізуючого моменту шини прийнято стан контактної відбитка шини визначати за співвідношенням зон зчеплення та ковзання у ньому так:

- у контакті знаходяться тільки зони зчеплення;
- у контакті знаходяться зони зчеплення та ковзання;
- у контакті знаходяться тільки зони ковзання.

Кожен зі станів контактної відбитка шини характеризуватимемо кутами θ_A та θ_B повороту заблокованого керованого колеса на місці. При цьому кут θ_A – це найбільший кут повороту колеса на місці, за якого існує умовна лінійна залежність між моментом опору повороту шини керованого колеса на місці та кутом повороту керованого колеса. У цьому випадку у контакті шини з опорною поверхнею є тільки зони зчеплення. Кут θ_B – це найменший кут повороту керованого колеса на місці, за якого момент опору повороту шини досягає максимального значення та обмежений зчипними можливостями контакту шини з опорною поверхнею. При такому найменшому куті повороту колеса на місці вважається, що у контактному відбитку шини наявні тільки зони ковзання.

Із урахуванням прийнятих визначень кутів θ_A та θ_B у контакті шини з опорною поверхнею будуть наявні тільки зони зчеплення при поточному куті повороту колеса $0 < \theta \leq \theta_A$. Наявність водночас зон зчеплення та ковзання у контактному відбитку буде при куті повороту колеса на місці $\theta_A < \theta < \theta_B$. У цих межах збільшення кута повороту спричинює збільшення зон ковзання та відповідно зменшення зон зчеплення.

У разі повороту колеса на місці на кут $\theta \geq \theta_B$ у контактному відбитку шини будуть наявні тільки зони ковзання, а зони зчеплення будуть відсутні. Водночас зчипні можливості шини будуть повністю реалізовані.

Кути θ_A та θ_B набувають максимальних значень на сухому асфальтобетоні, який забезпечує максимальне значення коефіцієнта зчеплення $\phi = \phi_{\text{max}} = 0,7$. Максимальні значення кутів θ_A і θ_B дорівнюють: для шин вантажних автомобілів $\theta_A = \theta_{A\text{max}} \leq 5^\circ$, $\theta_B = \theta_{B\text{min}} \leq 13^\circ$; для шин легкових автомобілів $\theta_A = \theta_{A\text{max}} \leq 4^\circ$, $\theta_B = \theta_{B\text{min}} \leq 10^\circ$ [1, 9]. На інших опорних поверхнях значення цих кутів зменшується, оскільки коефіцієнт зчеплення між шиною та опорною поверхнею менший.

Для опорних поверхонь, на яких коефіцієнт зчеплення $\phi < \phi_{\text{max}}$, значення цих кутів рекомендують визначати за виразами:

$$\theta_A = \frac{\phi}{\phi_{\text{max}}} \theta_{A\text{max}}, \quad (10)$$

$$\theta_B = \frac{\varphi}{\varphi_{\max}} \theta_{B\max}, \quad (11)$$

де φ – коефіцієнт зчеплення шини з опорною поверхнею, який визначають експериментально або для конкретної опорної поверхні беруть із літературних джерел.

З урахуванням викладеного щодо стану контактної відбитка шини залежність бічної сили та стабілізуючого моменту шини може бути описана аналітичними виразами як функції кута відведення.

Аналіз робіт [1, 2, 3, 10] показує, що під час кочення еластичного колеса по криволінійній траєкторії відбувається одночасно бічне зміщення диска та його закручування відносно відбитка шини внаслідок проходження шляху, що дорівнює половині поздовжньої осі контактної відбитка шини. Оскільки є бічне зміщення диска, то буде і бічна сила. Водночас у цих роботах не відмічається стабілізуючий момент шини під час кочення колеса по криволінійній траєкторії. Виникає необхідність визначитись із стабілізуючим моментом шини для цього випадку.

Для визначення особливостей кінематики та динаміки руху по колу еластичного колеса розглянемо рух системи, яка складається з еластичного колеса та опорної поверхні за умови, що колесо встановлено нерухомо, а опорна поверхня рухається по колу. На рис. 2 наведено кінематику колового руху системи «нерухоме колесо–рухома опорна поверхня».

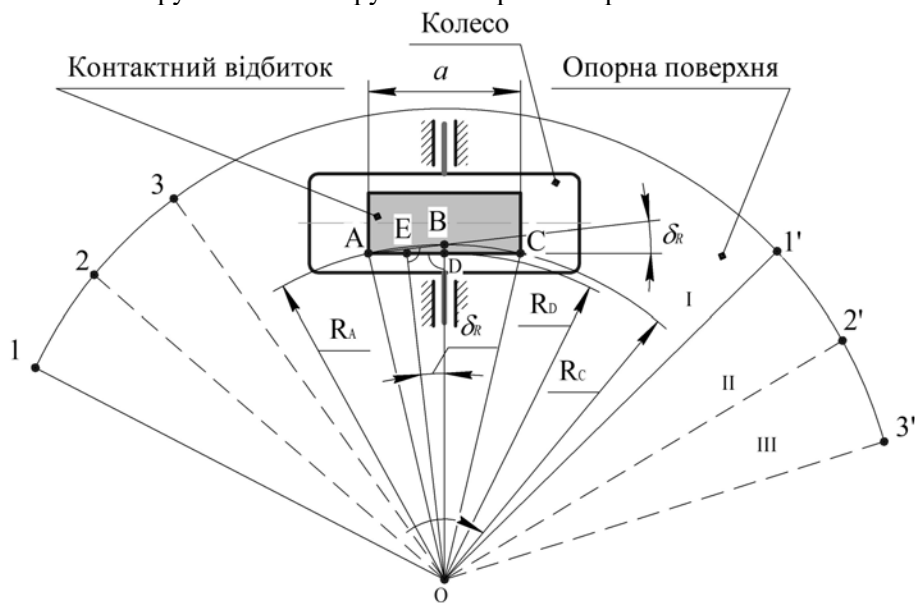


Рисунок 2 – Кінематика колового руху системи «нерухоме колесо–рухома опорна поверхня»
Figure 2 – Kinematics of the circular movement of the "fixed wheel–moving support surface" system

Згідно з рис. 2, колесо закріплено нерухомо, а опорна поверхня рухається по колу відносно центра, точки O , за напрямком руху годинникової стрілки. Контактний відбиток шини, приведений до рівновеликого прямокутника, має поздовжню вісь a , а кожна його точка знаходиться у стані зчеплення з опорною поверхнею. Розглянемо рух точки контактного відбитка шини з моменту її входу в контакт з опорною поверхнею (точка A) до моменту її виходу з контакту (точка C).

Після повороту опорної поверхні в положення, за якого буде досягнуто максимальне зміщення точки контакту шини в бічному напрямку, опорна поверхня від початкового положення $O-1-1'$ займе положення $O-2-2'$, а точка контакту шини переміститься разом з опорною поверхнею з точки A по дузі AB радіуса R_A у нове положення, точку B , що забезпечить їй бічне зміщення BD . Зміщення BD точки контакту в бічному напрямку спричинить водночас, з одного боку, закручування шини відносно нерухомого диска на $\angle BAD$, а з іншого – кінематичний кут відведення δ_R . Кут закручування та кінематичний кут відведення, як показує аналіз роботи [5], рівні за величиною та досягають у цьому випадку максимальних значень.

Унаслідок подальшого повороту опорної поверхні в положення $O-3-3'$ точка контакту переміститься з точки B у нове положення, точку C . При цьому бічне зміщення зменшуватиметься і з досягненням точки C дорівнюватиме нулю. Водночас зі зменшенням бічного зміщення зменшуватиметься кут закручування $\angle BAD$ і в точці C кут закручування дорівнюватиме нулю.

Радіус траєкторії руху точки контакту $R_C = R_A$.

Аналіз наведеного показує, що незалежно від того, як здійснюється коловий рух системи, яка складається з еластичного колеса та опорної поверхні, бічне зміщення та кут закручування диска

відносно точки A здійснюється за час проходження половини шляху між точкою входу шини в контакт з опорною поверхнею, точки A , та точкою її виходу із контакту з опорною поверхнею, точки C .

Вище розглянуто рух окремої точки контактної відбитки. Щодо контактної відбитки в цілому, то згідно з роботами [2, 12–14], під час руху по криволінійній траєкторії контактний відбиток шини повертається відносно диска колеса, а центром, відносно якого він повертається, є центр відносного повороту, який зі збільшення радіуса траєкторії зміщується до краю відбитка. Якщо прийняти, що точка D знаходиться на стороні відбитка шини та є центром відносного повороту контактної відбитки, то $\angle EOD = \angle BAD$ як кути зі взаємно перпендикулярними сторонами. Оскільки $AD = a/2$, відповідно $DE = a/4$, то $\angle EOD$ визначимо з $\triangle EOD$ за виразом $\angle EOD = \arctg(DE/OD) = a/(4R_D)$, рад, де R_D – радіус траєкторії руху центра відносного повороту контактної відбитки шини.

Особливої уваги заслуговує епюра бічних сил, а відповідно і стабілізуючий момент шини під час кочення колеса по криволінійній траєкторії. Із аналізу рис. 2 видно, що епюра бічного зміщення точки контакту шини з опорною поверхнею, яка визначатиметься за траєкторією ABC її бічного переміщення, симетрична відносно поперечної осі контактної відбитки, а тому рівнодійна бічних сил під час кочення колеса по криволінійній траєкторії проходить через центр відбитка і ніякого зміщення рівнодійної відносно центра відбитка не відбувається. За відсутності такого зміщення рівнодійної бічних сил відносно центра контактної відбитки стабілізуючий момент шини, викликаний кінематикою руху колеса по колу, дорівнює нулю. Аналогічні явища відбуватимуться під час прямолінійного руху еластичного колеса з розвалом. Якщо на колесо діє додатково бічна сила, що спричинює виникнення кута відведення, то у цьому випадку стабілізуючий момент шини визначається за загальними положеннями теорії кінематичних і динамічних показників руху еластичного колеса.

Отже, під час кочення еластичного колеса по криволінійній траєкторії та прямолінійній з розвалом виникають момент закручування пневматика та бічна сила, викликана бічним зміщенням диска колеса відносно відбитка шини, а стабілізуючий момент шини, не зважаючи на наявність бічної сили, буде відсутній. Відсутність стабілізуючого моменту зумовлена тим, що під час кочення колеса по криволінійній траєкторії рівнодійна бічних сил проходить через центр контактної відбитки, а отже, відсутнє зміщення рівнодійної бічних сил під час руху колеса по криволінійній траєкторії відносно центра контактної відбитки.

Водночас аналіз проведених авторами роботи досліджень [1, 2, 12–14] залежності бічної сили від кута відведення показав, що з достатньою для практики точністю бічну силу під час кочення колеса з поточним кутом відведення δ у веденому режимі з урахуванням стану контактної відбитки шини можна визначати так:

– для зони повного зчеплення (відсутність ковзання) у контактному відбитку при $\delta \leq \theta_A$:

$$P_{\phi} = k_{\phi} \delta, \quad (12)$$

– для зони часткового ковзання та зчеплення у контактному відбитку при $\theta_A < \delta < \theta_B$:

$$P_{\phi} = G_k \varphi - (G_k \varphi - k_{\phi} \theta_A) \left(\frac{\theta_B - \delta}{\theta_B - \theta_A} \right)^2, \quad (13)$$

– для зони повного ковзання (відсутність зчеплення) у контактному відбитку $\delta \geq \theta_B$:

$$P_{\phi} = G_k \varphi. \quad (14)$$

Проведені спеціальні експериментальні дослідження для широкопрофільних шин розміру 1300x530–533 мод. ВІ-3, радіальної розміру 9.00-20Р мод. І-Н142Б у веденому режимі показали, що стабілізуючий момент шини досягає максимального значення під час кочення з кутом відведення $\delta_{i_{\text{отад}}}$, який за абсолютною величиною наближається до кута повороту колеса на місці θ_A , при якому зберігається умовно лінійна залежність між моментом опору повороту шини та кутом повороту колеса. Для ілюстрації зазначеного на рис. 3 наведено експериментальні залежності моменту опору повороту шини M_{ϕ} від кута повороту колеса θ та стабілізуючого моменту шини $M_{\text{ш}}$ від кута відведення δ .

Якщо взяти, що епюра розподілу бічних сил наближається до прямокутного трикутника при $\delta \leq \theta_A$, а її рівнодійна прикладена у його центрі мас, що знаходиться на відстані $a/3$ від його основи, то стабілізуючий момент шини $M_{\text{ш}}$ визначимо за виразом:

$$M_{\text{ш}} = P_{\phi} \frac{a}{6}, \quad (15)$$

де $M_{\text{ш}}$ – стабілізуючий момент шини, який виникає під час кочення колеса з кутом відведення δ , за умови, що епюра розподілу бічних реакцій наближається до прямокутного трикутника, а їх рівнодійна прикладена у його центрі мас; a – поздовжня вісь контактної відбитка шини; $a/6$ – відстань від поперечної осі контактної відбитка шини до центра мас прямокутного трикутника епюри бічних сил P_{δ} ; P_{δ} – рівнодійна елементарних бічних сил під час кочення колеса з кутом відведення $\delta \leq \theta_A$.

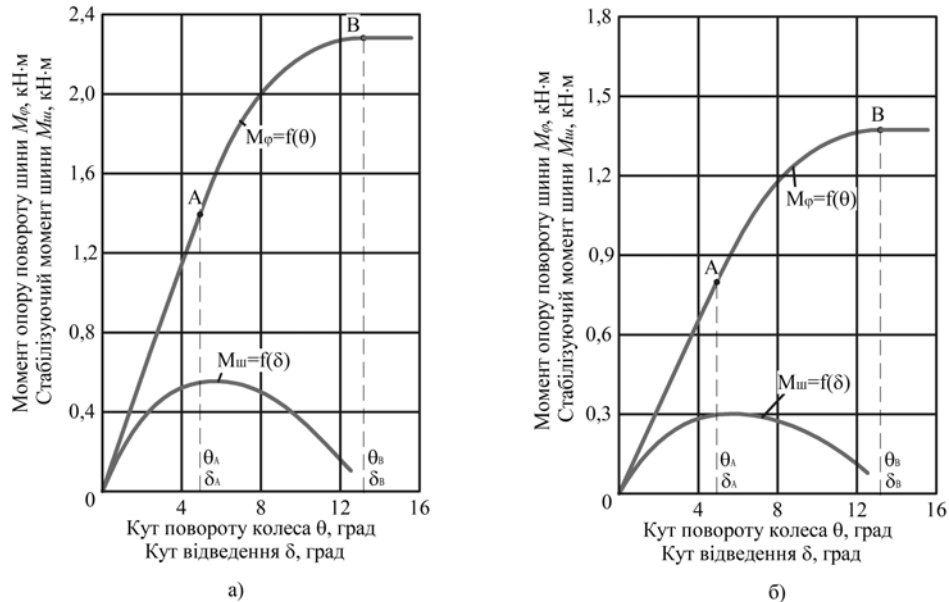


Рисунок 3 – Залежності $M_{\phi} = f(\theta)$ та $M_{\text{ш}} = f(\delta)$: а) шина tire 1300x530–533 мод. ВІ-3, $G_k = 32$ кН, $p_{\text{ш}} = 0,35$ МПа; б) шина tire 9.00–20Р мод. ІІ-Н142Б, $G_k = 21,5$ кН, $p_{\text{ш}} = 0,7$ МПа
Figure 3 – Dependencies $M_{\phi} = f(\theta)$ and $M_{\text{ш}} = f(\delta)$: а) tire 1300x530–533 мод. ВІ-3, $G_k = 32$ кН, $p_{\text{ш}} = 0,35$ МПа; б) tire 9.00–20Р мод. ІІ-Н142Б, $G_k = 21,5$ кН, $p_{\text{ш}} = 0,7$ МПа

Вираз (15) справедливий за умови, що епюра бічних сил являє собою прямокутний трикутник. Однак, аналіз експериментальних даних показав, що максимальний стабілізуючий момент шини досягає максимуму під час кочення колеса з кутом відведення, який дорівнює за абсолютною величиною максимальному куту повороту колеса на місці, за якого зберігається умовна лінійна залежність між кутом повороту колеса та моментом опору повороту шини θ_A .

Ураховуючи вираз (15) та вищенаведене, максимальний стабілізуючий момент шини визначимо так:

$$M_{\text{шmax}} = D_{M_{\theta}} \max \frac{\dot{a}}{6}, \quad (16)$$

де $P_{\text{шmax}}$ – бічна сила, що викликає максимальний стабілізуючий момент шин, Н.

Якщо, з достатньою для практичних розрахунків точністю, уважати, що у межах кута відведення $0 < \delta \leq \theta_A$ залежність між бічною силою та кутом відведення умовно лінійна, то можна записати:

$$P_{\text{шmax}} = k_{\delta} \delta_{\text{шmax}}, \quad (17)$$

де k_{δ} – коефіцієнт бічного відведення, Н/град; $\delta_{\text{шmax}}$ – кут відведення, при якому стабілізуючий момент шини досягає максимуму, град.

Аналіз отриманих у роботі [2] результатів досліджень руху еластичного колеса по криволінійній траєкторії показав, що за умови, коли підведена до колеса енергія на закручування диска та його бічне зміщення у пневматику розподіляється порівну, то:

$$k_{\delta} = \frac{2C_{\theta}}{a}, \quad (18)$$

де C_{θ} – жорсткість шини відносно вертикальної осі, Н·м/град.

Жорсткість шини C_{θ} визначають експериментально або з певною точністю при номінальному тиску повітря в шині за емпіричною залежністю: $\tilde{N}_{\theta} = (9 \dots 11) G_{\delta} \cdot 10^{-3}$, де G_k – навантаження на колесо, Н; a – поздовжня вісь контактної відбитка шин вантажних автомобілів, яку визначають

експериментально, або за емпіричною залежністю при номінальному тиску повітря у шині: для тороїдних шин – $a = (0,101 \dots 0,105) 10^{-4} G_k$, м; для широкопрофільних – $a = (0,104 \dots 0,106) 10^{-4} G_k$, м.

З урахуванням залежностей (16)–(18) і враховуючи, що стабілізуючий момент шини досягає максимального значення при куті відведення $\delta_{i \theta \max} = \theta_A$, максимальний стабілізуючий момент шини визначиться за виразом:

$$M_{\text{шmax}} = \frac{C_{\theta} \theta_A}{3}. \quad (19)$$

Зауважимо, що залежність (19) отримано без урахування зміщення рівнодійної поздовжніх реакцій опорної поверхні відносно поздовжньої осі контактної відбитка шини та за умови, що питомий тиск у кожній точці контактної відбитка і коефіцієнт зчеплення однакові. У реальних умовах ці параметри різняться. При цьому на величину цієї різниці суттєво впливає тип шини. Вплив зазначених чинників рекомендується враховувати коефіцієнтом пропорційності стабілізуючого моменту шини $K_{\text{ш}}$. Тоді маємо:

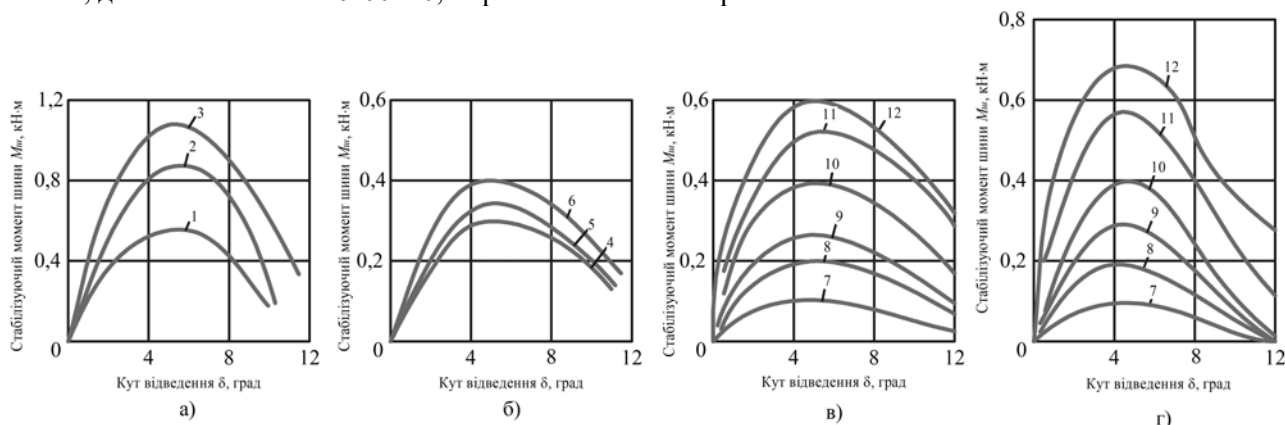
$$M_{\text{шmax}} = \frac{K_{\text{ш}} C_{\theta} \theta_A}{3}, \quad (20)$$

де $K_{\text{ш}}$ – коефіцієнт пропорційності стабілізуючого моменту шини.

Чисельно $K_{\text{ш}}$ показує, у скільки разів збільшується стабілізуючий момент шини унаслідок впливу рівнодійної поздовжніх реакцій опорної поверхні, нерівномірного розподілу питомого тиску та коефіцієнта зчеплення по площі контактної відбитка шини.

Аналіз експериментальних даних для шин високого тиску, які встановлюються на вантажні автомобілі, показав, що величина $K_{\text{ш}}$ не перевищує 1,1. Однак для шин низького тиску величина цього коефіцієнта досягає 1,36. Для конкретної шини коефіцієнт $K_{\text{ш}}$ необхідно визначати експериментально.

Особливості залежності $M_{\text{ш}} = f(\delta)$ видно з аналізу рис. 4, на якому наведені експериментальні залежності для широкопрофільної шини 1300x530–533 мод. ВІ-3, радіальної шини 9.00–20Р мод. І-Н142Б, діагональної шини 9.00–20, за різних тисків повітря та навантажень.



а) шина 1300x530–533 мод. ВІ-3, $G_k = 32$ кН; б) шина 9.00–20Р мод. І-Н142Б, $G_k = 21,5$ кН;
в) шина 9.00–20, $p_{\text{ш}} = 0,45$ МПа [7]; г) 9.00–20Р, $p_{\text{ш}} = 0,45$ МПа [7]; 1 – $p_{\text{ш}} = 0,35$ МПа;
2 – $p_{\text{ш}} = 0,2$ МПа; 3 – $p_{\text{ш}} = 0,1$ МПа; 4 – $p_{\text{ш}} = 0,72$ МПа; 5 – $p_{\text{ш}} = 0,6$ МПа; 6 – $p_{\text{ш}} = 0,47$ МПа;
7 – $G_k = 5$ кН; 8 – $G_k = 10$ кН; 9 – $G_k = 15$ кН; 10 – $G_k = 20$ кН; 11 – $G_k = 25$ кН; 12 – $G_k = 27,5$ кН

Рисунок 4 – Залежність стабілізуючого моменту шини $M_{\text{ш}}$ від кута відведення δ
Figure 4 – Dependence of the stabilizing moment of the tire $M_{\text{ш}}$ on the deflection angle δ

Експериментальні дані для широкопрофільної шини 1300x530–533 мод. ВІ-3 та радіальної шини 9.00–20Р мод. І-Н142Б, які були встановлені на вантажних автомобілях КрАЗ-255Б та КамАЗ-5511, отримані під час руху коліс з відведенням у веденому режимі на горизонтальній асфальтобетонній поверхні з високим коефіцієнтом зчеплення. Фіксований кут відведення правого керованого колеса установлювався тензометричним важелем при знятій поперечній тязі, а прямолінійний рух автомобіля забезпечувався лівим керованим колесом.

Із аналізу рис. 4 видно, що характер протікання кривих $M_{\text{ш}} = f(\delta)$ однаковий, не зважаючи, що шини суттєво різняться за типом і конструкцією. Зі збільшенням кута відведення стабілізуючий момент шини спочатку збільшується, досягає максимуму $M_{\text{шmax}}$, а потім зменшується. При цьому

залежність $M_{ш} = f(\delta)$ несиметрична відносно максимуму. Більш крутою є передня частина залежності, що зростає. При певному значенні кута відведення, яке залежить від коефіцієнта зчеплення, типу шини, тиску повітря в шині, стабілізуючий момент наближається до нуля. Зменшення тиску повітря в шині, збільшення навантаження та коефіцієнта зчеплення шини з опорною поверхнею підвищують значення кута відведення, при якому стабілізуючий момент наближається до нульового значення.

Проведений аналіз експериментальних даних, отриманий багатьма дослідниками різними методами, показав, що за номінальних тисків і навантажень, високого коефіцієнта зчеплення для шин вантажних автомобілів у веденому режимі кут відведення, при якому стабілізуючий момент шини прямує до нуля, складає $13 \pm 2^\circ$.

Аналіз експериментальних даних $M_{ш} = f(\delta)$ показав, що ця залежність наближається до параболи, а тому зі зміною кута відведення у межах $0 < \delta \leq \theta_B$ стабілізуючий момент шини під час кочення у веденому режимі визначають за однією із залежностей:

$$\text{при } 0 < \delta \leq \theta_A \quad M_{ш} = \frac{K_{ш} C_{\theta} \theta_A}{3} \left[1 - \left(\frac{\delta}{\theta_A} - 1 \right)^2 \right] \quad (21)$$

$$\text{при } \theta_A < \delta \leq \theta_B \quad M_{ш} = \frac{K_{ш} C_{\theta} \theta_A}{3} \left[1 - \left(\frac{\delta - \theta_A}{\theta_B - \theta_A} \right)^2 \right], \quad (22)$$

де θ_B – найменший кут повороту керованого колеса на місці, при якому момент опору повороту шини досягає максимального значення, обмеженого зчипними властивостями опорної поверхні. Прийнято, що у контактному відбитку наявні тільки зони ковзання.

При великих кутах відведення $\delta > 15^\circ$ на опорній поверхні з високим коефіцієнтом зчеплення стабілізуючий момент шини змінює знак, а при $\delta > 25^\circ$ досягає певної величини та у подальшому мало залежить від величини кута відведення. Особливості графіка $M_{ш} = f(\delta)$ при значних кутах відведення наведено на рис. 5 на прикладі радіальної шини 9.00–20R мод. И-Н142Б при навантаженні на колесо 21,5 кН та тиску повітря в шині 0,6 МПа.

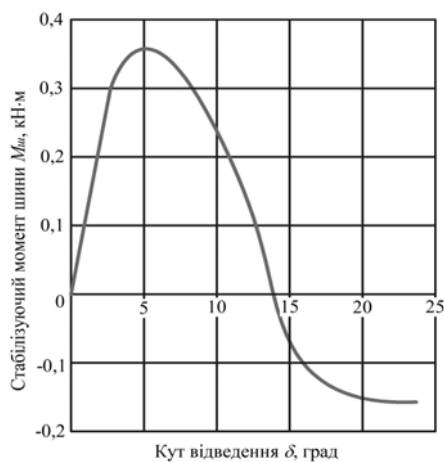
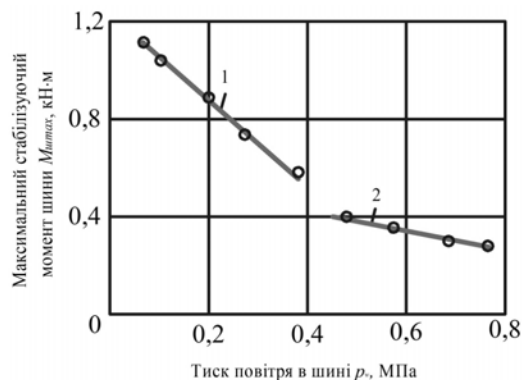


Рисунок 5 – Залежність стабілізуючого моменту шини $M_{ш}$ від кута відведення δ

Figure 5 – Dependence of the stabilizing moment of the tire $M_{ш}$ on the deflection angle δ



1 – шина 1300x530–533 мод. ВІ-3, $G_k = 32$ кН;
2- шина 9.00–20R мод. И-Н142Б, $G_k = 21,5$ кН

Рисунок 6 – Залежність $M_{umax} = f(p_u)$
Figure 6 – Dependence $M_{umax} = f(p_u)$

Із аналізу рис. 5 спостерігається зміна знаку стабілізуючого моменту шини при $\delta > 14^\circ$, яка пояснюється дією поздовжніх сил опору руху, результуюча яких зміщується від середньої площини колеса за бокової деформації шини. Так створюється пара сил відносно вертикальної осі, направлених протилежно вектору стабілізуючого моменту шини від бічних реакцій. Другим важливим чинником, який впливає на зміну знаку стабілізуючого моменту, є зміщення центра тиску в контактному відбитку шини вперед від його центра мас під час кочення колеса у веденому режимі.

Результуючий вплив цих двох чинників спричинює зміну знаку стабілізуючого моменту шини при великих кутах відведення. Водночас його величина залежить від типу і моделі шини, тиску повітря, коефіцієнта зчеплення шини з опорною поверхнею. Обмежена кількість експериментальних

даних про від'ємні значення стабілізуючих моментів шин не дозволяє зробити загальні висновки. Однак відсутність значної уваги до від'ємного значення стабілізуючих моментів шин пояснюється певною мірою тим, що він досягається при великих кутах відведення, які під час експлуатації автомобіля практично не виникають.

Величина максимального значення стабілізуючого моменту шини M_{umax} залежить від навантаження на шину, тиску повітря в ній, коефіцієнта зчеплення, профілю опорної поверхні (барабан або плоска поверхня), на якій проводять дослідження.

Зі збільшенням навантаження на шину збільшується не тільки стабілізуючий момент шини, але й величина кута відведення, при якому стабілізуючий момент досягає максимуму. Аналіз експериментальних даних, отриманих дослідниками [6], [15], показав, що для шин високого тиску, які використовуються на вантажних автомобілях, при номінальному тиску та навантаженні, високому коефіцієнті зчеплення, значення кута відведення δ , при якому стабілізуючий момент шини досягає максимуму M_{umax} , знаходиться у межах $5 \pm 1^\circ$, що відповідає значенню кута θ_A повороту керованого колеса на місці, при якому залежність між моментом опору повороту шини та кутом повороту умовно лінійна.

Для окремих шин низького тиску, у яких бічні сторони мають значну еластичність, величина цього кута збільшується та досягає 7° . Так, для шин низького тиску 1220x400–533 мод. И-П184, які були установлені на повнопривідних автомобілях КамАЗ колісної формули 8x8, аналіз експериментальних даних показав, що стабілізуючий момент шини досягає максимуму при куті відведення близького 7° . Зниження тиску повітря у шинах автомобіля, незалежно від їх типу та конструкції, спричинює збільшення стабілізуючого моменту шини, а приріст моменту суттєво залежить від конструкції шини.

Для ілюстрації впливу тиску повітря в шині $p_{ш}$ на величину моменту M_{umax} на рис. 6 наведені експериментальні залежності $M_{umax}=f(p_{ш})$, отримані при дослідженні руху у веденому режимі на плоскій опорній поверхні для широкопрофільної шини 1300x530–533 мод. ВІ-3 та радіальної шини 9.00-20Р мод. И-Н142Б.

Із аналізу рис. 6 видно, що зниження тиску повітря в шині збільшує максимальний стабілізуючий момент шини. Особливо чутливі до зміни тиску широкопрофільні шини.

Збільшення коефіцієнта зчеплення спричинює збільшення стабілізуючого моменту та величини кута відведення, при якому він досягає максимального значення.

Усі дослідники, які вивчали вплив тягових і гальмівних сил на величину стабілізуючого моменту шини, дійшли висновку, що за повної реалізації зчіпних можливостей шини з опорною поверхнею він прямує до нуля. Однак на характер протікання кривої $M_{ш} = f(p_{ш})$ тягова та гальмівна сили впливають по-різному. Тягова сила спочатку трохи збільшує стабілізуючий момент, а потім зменшує його значення. Під час дії на шину гальмівної сили стабілізуючий момент шини зменшується до нуля, а потім змінює знак. При великій гальмівній силі, від'ємний стабілізуючий момент шини досягає максимального значення, а за рівності силам зчеплення наближається до нуля.

Щодо від'ємних значень стабілізуючого моменту шини під час кочення з великими кутами відведення, то на сьогодні аналітичних залежностей для його визначення немає.

Для оцінювання залежностей для визначення бічної сили та стабілізуючого моменту було проведено розрахунки за такими виразами: для бічної сили (2), (3) та (12)–(14), для стабілізуючого моменту шини (5), (6)–(8) та (21), (22). Розрахунки проводили для широкопрофільної шини розміру 1300x50–533 мод. ВІ-3 при незмінному навантаженні на колесо $G_k = 27000$ Н, тиску повітря в шині $p_{ш} = 0,4$ МПа, поздовжній осі контактної відбитка $a = 0,225$ м, експериментально отриманому значенні кутової жорсткості шини $C_\theta = 267$ Н·м/град, коефіцієнті зчеплення шини з опорною поверхнею $\varphi = 0,7$, коефіцієнті пропорційності стабілізуючого моменту шини $K_{ш} = 1,1$, кутах $\theta_A = 5^\circ$, $\theta_B = 13^\circ$, зміні кута відведення від 0 до 14° . Коефіцієнт опору бічному відведенню визначали за виразом (18). Розрахунки за залежністю (5) проводили в діапазоні зміни кута відведення від нуля до кута відведення, який більше на 20 % від кута $\delta_{i \theta \max}$ [11]. Результати розрахунків наведено на рис. 7, 8.

З аналізу рис. 7 видно, що для шини в діапазоні зміни кута відведення від 0 до 5° (наявність у зоні контакту шини з опорною поверхнею тільки зон зчеплення) значення бічної сили, отримані за вищенаведеними залежностями, відрізняються не більше, ніж на 6,2 %. У діапазоні зміни кута відведення від 5 до 13° (наявність у контактному відбитку зон ковзання та зчеплення) різниця між значеннями бічної сили не перевищує 3,6 %. Отже, значення бічної сили, визначені за виразами (2), (3) та (12)–(14), майже не відрізняються у всьому діапазоні зміни кута відведення.

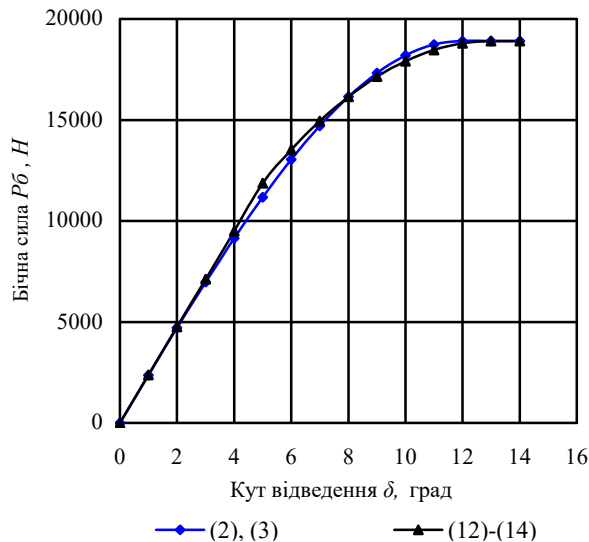


Рисунок 7 – Залежність бічної сили від кута відведення
Figure 7 – Dependence of the lateral force on the slip angle

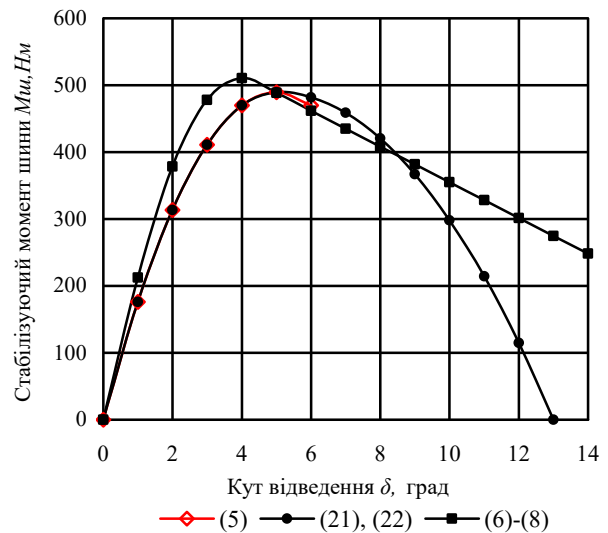


Рисунок 8 – Залежність стабілізуючого моменту шини від кута відведення
Figure 8 – Dependence of the stabilizing moment on the slip angle

З аналізу рис. 8 видно, що стабілізуючий момент шини зі збільшенням кута відведення збільшується, набуває максимального значення, а потім зменшується.

Розрахунки за залежностями (5), та (21), (22) показують, що стабілізуючий момент шини набуває максимального значення при куті відведення $\delta_{i \theta \max} = 5^\circ$, який відповідає максимальному куту, при якому в зоні контакту шини з опорною поверхнею наявні тільки зони зчеплення. В діапазоні зміни кута відведення від 0 до 5° значення стабілізуючого моменту повністю збігаються. При $\delta = 6^\circ$ різниця складає 2,4 %. За залежностями (21), (22) стабілізуючий момент шини наближається до нуля при куті відведення $\delta = \theta_B = 13^\circ$, який відповідає мінімальному куту, при якому повністю реалізуються зчіпні властивості шини з опорною поверхнею. Залежність (5) не дозволяє встановити, при якому куті відведення стабілізуючий момент набуває нульового значення.

Результати розрахунків за залежностями (6)–(8) показують, що максимальне значення стабілізуючого моменту шини досягається при меншому куті відведення $\delta_{i \theta \max} = 4^\circ$, ніж визначене за виразами (5) та (21), (22). У діапазоні зміни кута відведення від 0 до 4° різниця в значеннях стабілізуючого моменту не перевищує 8,5 %. У разі подальшого збільшення кута відведення $\delta > 4^\circ$ залежність $M_{ш} = f(\delta)$ є майже лінійною. Якщо кути відведення $\delta > 9^\circ$, результати розрахунків значно різняться. Стабілізуючий момент шини набуває нульового значення при куті відведення $\delta = 23,29^\circ$, що значно більше, ніж за залежностями (21), (22).

Отже, залежність (5) дозволяє визначити стабілізуючий момент шини тільки в діапазоні зміни кута відведення від 0° до кута відведення, при якому стабілізуючий момент набуває максимального значення, а залежності (6)–(8) та (21), (22) – від 0° до кута відведення, при якому повністю реалізуються зчіпні властивості у контактному відбитку шини. При цьому тільки аналітично отримані залежності (21), (22) відображають з достатньою для практики точністю фізичні явища, що відбуваються у контактному відбитку шини під час кочення колеса з відведенням, і дозволяють визначити стабілізуючий момент шини у межах зміни кута відведення $0 \leq \delta \leq \theta_B$.

Висновки

1. Стабілізуючий момент шини виникає під час плоскопаралельного руху колеса з відведенням, зумовленим бічною силою, коченням колеса зі сходженням, поздовжнім зміщенням колеса візка, що спричинює бічні та поздовжні реакції у контактному відбитку шини та зміщення їх рівнодійних відносно центра контактної відбитка. За цих умов рух колеса відбувається з бічним зміщенням диска відносно відбитка шини з моменту входу точки шини у контакт з опорною поверхнею та до виходу з нього.

2. Під час кочення колеса по колу та прямолінійного кочення колеса з розвалом відбувається водночас бічне зміщення диска та його поворот відносно відбитка шини, які досягають максимуму при проходженні колесом шляху, що дорівнює половині поздовжньої осі контактної відбитка шини.

Якщо знехтувати впливом поздовжніх реакцій, то відсутність зміщення рівнодійної бічних реакцій під час руху колеса по колу та його прямолінійного руху з розвалом зумовлює відсутність стабілізуючого моменту шини.

3. Поворот диска відносно відбитка шини кермовим керуванням під час руху по колу та прямолінійного руху з розвалом зумовлює момент закручування диска відносно відбитка шини, величина якого залежить від величини кута закручування диска відносно відбитка.

4. Стабілізуючий момент шини та бічна сила залежать від реакцій, що виникають у контактному відбитку шини під час кочення колеса з відведенням, які зумовлені станом контактного відбитка. Стан контактного відбитка шини, який формується зонами зчеплення та ковзання у ньому, визначатимемо величинами кутів повороту θ_A та θ_B заблокованого керованого колеса на місці, при яких у контакті наявні тільки зони зчеплення, зони зчеплення та ковзання або повністю тільки зони ковзання. З урахуванням стану контактного відбитка шини отримано аналітичні залежності для визначення стабілізуючого моменту шини під час кочення з відведенням.

5. При повній реалізації зчіпних властивостей у контактному відбитку шини під час кочення з відведенням стабілізуючий момент шини наближається до нуля, а при великих кутах відведення за впливу поздовжніх реакцій може набувати від'ємних значень. Водночас бічна сила досягає максимального значення, обмеженого зчіпними можливостями контакту шини з опорною поверхнею.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Солтус А. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля / А.П. Солтус. – Київ : Арістей, 2010. – 155 с.
2. 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>.
3. Келдыш М. В. Шимми переднього колеса трехосного шасси / М. В. Келдыш // Труды ЦАГИ. – 1945. – № 564. – С. 1 – 34.
4. Кнороз В.И., Петров И.П., Юрьев Ю.М. Влияние некоторых эксплуатационных факторов на коэффициент сопротивления боковому уводу шин / В.И. Кнороз, И.П. Петров, Ю.М. Юрьев // Автомобильная промышленность. – 1971, – №5.
5. Литвинов А.С. Теория криволинейного движения колесных машин : дис. ... докт. техн. наук : 05.05.03 / Литвинов Андрей Сергеевич. – Москва, 1959.
6. Smiley R., Horne W. Mechanical properties of pneumatic tires with special reference to modern aircraft tires / R. Smiley, W. Horne // NACA. – 1958. – TN 4110 – С. 1–166.
7. Freudenstein G. Luftreifen bei Schrag und Kurvenlauf. Experimentelle und Theoretische Untersuchungen an Lkw – Reifen / G. Freudenstein // Deutsche Kraftfahrtforschung und Strassenverkehrstechnik. – 1961. – No. 152.
8. Pacejka H. The wheel shimmy phenomenon, a theoretical and experimental investigation with particular reference to the non-linear problem. / H. Pacejka. – Groningen : V.R.B. Kleine, 1966.
9. Кнороз В.И., Юрьев Ю.М. Коэффициенты сопротивления боковому уводу шин различных типов / В.И. Кнороз, Ю.М. Юрьев // Автомобилестроение. Сб. НИИНавтопром. – 1971.
10. Кнороз В.И. Качение автомобильного колеса с наклоном к дороге / В.И. Кнороз // Автомобильная и тракторная промышленность. – 1956. – № 9. С. 24–32.
11. Литвинова Т.А. Стабилизация управляемых колес автомобиля : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.03 / Литвинова Татьяна Андреевна. – Москва, 1974.
12. 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». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2022. – Вип.3(53). С. 344–358. DOI: [10.33744/2308-6645-2022-3-53-344-358](https://doi.org/10.33744/2308-6645-2022-3-53-344-358).
13. 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>.
14. 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](https://doi.org/10.36910/automash.v1i18.774).
15. Bull A.W. Tire behavior in steering / A.W. Bull // SAE journal. – 1939. – vol. 45. – pp. 344–50.

REFERENCES

1. Soltus, A. P. (2010). Teorija eksploataciynih vlastyvostej avtomobilja [Theory of operational properties of the vehicle]. Kyi'v : Aristej [in Ukrainian].
2. Soltus, A. P., Tarandushka, L.A., Klimov, E.S. & Chernenko, S.M. (2021). Osoblyvosti ruhu elastychnogo kola po kryvoliniynij ta prjamoliniynsij 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>.
3. Keldysh, M.V. (1945). Shimmi perednego kola trehkolesnogo shassi [Shimmy of the front wheel of a tricycle chassis]. *Trudy CAGI – TsAGI Science Journal*, 564, 1-34 [in Russian].
4. Knoroz, V. I., Petrov, I. P. & Yurev Yu. M. (1971). Vliyanie nekotoryh eksploatacionnyh faktorov na koefficient soprotivleniya bokovomu uvodu shin [Influence of some operational factors on the tire slip resistance coefficient]. *Avtomobil'naja promyshlennost' – Automotive industry*, 5 [in Russian].
5. Litvinov, A. S. (1959). Teoriya krivolinejnogo dvizheniya kolesnyh mashin [Theory of curvilinear motion of wheeled vehicles]. *Doctor's thesis*. Moscow : MADI [in Russian].
6. Smiley, R. & Horne, W. (1958). Mechanical properties of pneumatic tires with special reference to modern aircraft tires. Washington : NACA [in English].
7. Freudenstein, G. (1961). Luftreifen bei Schräg-und Kurvenlauf: experimentelle und theoretische Untersuchungen an Lkw-Reifen. VDI-Verlag [in German].
8. Pacejka, H. (1966). The wheel shimmy phenomenon, a theoretical and experimental investigation with particular reference to the non-linear problem. Groningen : V.R.B. Kleine [in English].
9. Knoroz, V. I. & Yurev Yu. M. (1971). Koefficienty soprotivleniya bokovomu uvodu shin razlichnyh tipov [Slip resistance coefficients for different types of tires]. *Avtomobilstroenie. Sb. NIINavtoprom*.
10. Knoroz, V.I. (1956). Kachenie avtomobil'nogo kola s naklonom k doroge [Rolling of a car wheel with an inclination to the road]. *Avtomobil'naja i traktornaja promyshlennost'*, 9, 24-32 [in Russian].
11. Litvinova, T. A. (1974). Stabilizaciya upravlyaemyh koles avtomobilya [Stabilization of steered car wheels]. *Candidate's thesis*. Moscow : MADI [in Russian].
12. Soltus, A. P., Klimov, E.S. & Tarandushka, L.A. (2022). Osoblyvosti kinematyky i dynamiky kerovanoho kola zalezno vid dovzhyny tsapfy [Peculiarities of kinematics and dynamics of the steered wheel depending on the knuckle length]. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky». Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk – Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific Journal*, 3 (53), 344-358 [in Ukrainian]. DOI: 10.33744/2308-6645-2022-3-53-344-358.
13. 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>.
14. 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 tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti – Advances in mechanical engineering and transport*, 1 (18), 177-185 [in Ukrainian]. DOI: 10.36910/automash.v1i18.774.
15. Bull, A. W. (1939). Tire Behavior in Steering. *SAE Technical Paper* 390164 [in English]. DOI: <https://doi.org/10.4271/390164>.

РЕФЕРАТ

Солтус А.П. До питання визначеності стабілізуючого моменту шини / А.П. Солтус, Е.С.Клімов, Л.А. Тарандушка, Н.Л. Костян // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

У статті наведено результати досліджень стабілізуючого моменту шини під час руху еластичного колеса з відведенням, яке викликане рухом по криволінійній траєкторії, дією бічних сил, наявністю розвалу та сходження колеса.

Об'єкт дослідження – стабілізуючий момент шини.

Мета роботи – визначитись із особливостями розрахунку стабілізуючого моменту шини та бічної сили під час кочення колеса з відведенням.

Метод дослідження – аналітично-експериментальний.

Стабілізуючий момент шини виникає під час кочення колеса з відведенням за наявності бічних та поздовжніх реакцій опорної поверхні, результуюча яких зміщена відносно центра контактної відбитки шини. При плоскопаралельному русі колеса з відведенням бічне зміщення диска колеса відносно відбитки шини відбувається з моменту входу точки шини в контакт з опорною поверхнею до моменту її виходу з контакту. Під час руху колеса по колу виникає закручування диска колеса та його бічне зміщення відносно відбитки шини за час проходження колесом шляху, що дорівнює половині поздовжньої вісі контактної відбитки. Бічне зміщення диска під час руху по криволінійній траєкторії зумовлює кочення колеса з кутом відведення, який прийнято називати «кінематичним». Проведені в роботі дослідження руху колеса по колу показали, що рівнодіюча бічних сил проходить через центр контактної відбитки, внаслідок чого відсутнє зміщення рівнодіючої бічних сил, а стабілізуючий момент шини не виникає.

Проаналізовано залежності для визначення стабілізуючого моменту шини та бічної сили. Встановлено, що вони залежать від реакцій, що виникають у контакті шини з опорною поверхнею під час кочення колеса з відведенням, які зумовлені станом контактної відбитки. Стан контактної відбитки, який формується зонами зчеплення та ковзання у ньому, визначається за величинами кутів повороту заблокованого керованого колеса на місці, при яких у контакті наявні тільки зони зчеплення, зони зчеплення та ковзання або тільки зони ковзання. З урахуванням стану контактної відбитки шини отримано аналітичні залежності для визначення бічної сили та стабілізуючого моменту шини під час кочення з відведенням, які дозволяють визначити стабілізуючий момент шини у межах зміни кута відведення від нуля до кута відведення, при якому повністю реалізуються зчіпні властивості у контактному відбитку шини

Результати досліджень можуть стати у нагоді фахівцям, які працюють над удосконаленням експлуатаційних властивостей колісних транспортних засобів, зокрема керованості та стійкості руху.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СТАБІЛІЗУЮЧИЙ МОМЕНТ ШИНИ, БІЧНА СИЛА, КУТ ВІДВЕДЕННЯ, КРИВОЛІНІЙНИЙ РУХ, ЗОНИ ЗЧЕПЛЕННЯ ТА КОВЗАННЯ

ABSTRACT

Soltus A.P., Klimov E.S., Tarandushka L.A., Kostian N.L. To the question of determination of the tire self-aligning torque. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The paper presents the results of research on the tire self-aligning torque during the movement of an elastic wheel with a side slip, which is caused by curvilinear trajectory, the lateral forces action, the wheel camber, and convergence presence.

The object of study is tire self-aligning torque.

The purpose of the work is to determine the specifics of calculating the tire self-aligning torque and the lateral force during the rolling of the wheel with the slip angle.

The research method is analytical and experimental.

Tire self-aligning torque occurs while rolling the wheel with slip angle if lateral and longitudinal reactions of a bearing surface are available, the resultant value of which is shifted concerning the centre of the tire contact patch. When a wheel with slip angle is running in parallel and steering, the wheel disc lateral movement concerning the tire contact patch occurs from the moment the tire point comes into contact with the bearing surface until the point of contact exits. When the wheel is moving in a circle, the wheel disc is twisted and laterally displaced relative to the tire contact patch for the time it takes the wheel to travel halfway along the longitudinal axis of the contact contact patch. Lateral displacement of the disc during the movement along the curvilinear trajectory causes the wheel to roll with a slip angle, which is commonly referred to as "kinematic". The circular movement of the wheel studied in this work demonstrated that the lateral force equilibrium passes through the contact patch centre, so that there is no shift of the lateral force equilibrium and no tire self-aligning torque occurs.

The dependences for the determination of the tire self-aligning torque and lateral force are analyzed. It is established that they depend on the reactions that occur in the tire contact with the bearing surface during the rolling of the wheel with the slip angle, which are caused by the state of the tire contact patch. The state of the contact patch, which is formed by the grip and slip zones in it, is determined by the values of the steering angles of the locked steered wheel in static, at which only the grip zone, the grip and slip zone or only the slip zone are in contact. Taking into account the state of the tire contact patch, analytical dependences for determining the lateral force and tire self-aligning torque during rolling with slip angle were obtained, which allow determining the tire self-aligning torque within the change of the slip angle from zero to the slip angle at which the traction properties in the tire contact patch are fully realized.

The results of the research can be useful for experts working on improving the operational properties of wheeled vehicles, in particular steerability and stability of motion.

KEY WORDS: TIRE SELF-ALIGNING TORQUE, CORNERING FORCE, SLIP ANGLE, CURCULAR MOTION, GRIP AND SLIP ZONES

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, професор, Черкаський державний технологічний університет, завідувачка кафедри автомобілів та технологій їх експлуатації, e-mail: tarandushkal@ukr.net, тел. +380939467874, Україна, 18005, м. Черкаси, вул. Шевченка, б. 333, <https://orcid.org/0000-0002-1410-9088>.

Костян Наталія Леонідівна, кандидат технічних наук, доцент, Черкаський державний технологічний університет, доцент кафедри автомобілів та технологій їх експлуатації, e-mail: 438knl@gmail.com, тел. +380502663161, Україна, 18005, м. Черкаси, вул. Шевченка, б. 333, <https://orcid.org/0000-0002-1599-4007>

AUTHOR:

Soltus Anatolii Petrovych, doctor of technical sciences, professor, Cherkasy State Technological University, professor department of cars and technologies of their operation, e-mail: auto.soltus@ukr.net, tel. +380973334753, Ukraine, 03164, Kyiv, Olevska str., 5, k.17, <https://orcid.org/0000-0002-6010-1124>.

Klimov Eduard Serhiiovych, Ph.D. in technical sciences, associate professor, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, head of department of automobiles and tractors, 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, professor, Cherkasy State Technological University, head of department of automobiles and technologies of their operating, e-mail: tarandushkal@ukr.net, tel. +380939467874, Ukraine, 18005, Cherkasy, br Shevchenko, 333, of. 206, <https://orcid.org/0000-0002-1410-9088>.

Kostian Nataliia Leonidivna, Ph.D. in technical sciences, associate professor, Cherkasy State Technological University, associate professor department of automobiles and technologies of their operating, e-mail: 438knl@gmail.com, tel. +380502663161, Ukraine, 18005, Cherkasy, br Shevchenko, 333, of. 206, <https://orcid.org/0000-0002-1599-4007>.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Симоненко Р.В., доктор технічних наук, заступник начальника центру наукових досліджень комплексних транспортних проблем ДП «ДержавтотрансНДІпроект», Київ, Україна

Матейчик В.П., доктор технічних наук, професор кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища, Національний транспортний університет, Київ, Україна

REVIEWER:

Symonenko R. V., Doctor of Technical Sciences, Deputy Head of the Center for Scientific Research of Complex Transport Problems, SE «DergavtotransNDIproect», Kyiv, Ukraine

Mateichyk V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Professor of the Department of Ecology and Safety of Vital Functions, Kyiv, Ukraine

ЗНИЖЕННЯ ЗОВНІШНЬОГО ШУМУ БРОНЕАВТОМОБІЛЯ «КОЗАК-2М1» РІДИННИМ ГЛУШНИКОМ ШУМУ

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

Донець В.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, v.donets@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-2353-0699

EXTERNAL NOISE REDUCTION OF THE ARMORED VEHICLE «KOZAK – 2M1» USING LIQUID MUFFLER

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

Donets V.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, v.donets@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-2353-0699

Постановка проблеми. Протягом історії збройних конфліктів військова техніка розвивалася від найпримітивніших транспортних засобів стародавніх цивілізацій до сучасних транспортних засобів. На даний час всі розвинуті країни у своїх арміях мають військові автомобілі для виконання різноманітних функцій: тактичних, командно-штабних, розвідувальних, транспортних тощо. До військових автомобілів висуваються високі вимоги щодо маскувальних властивостей. Одним з демаскуючих факторів для військової техніки є зовнішній шум. Додатково цей вид шуму є шкідливим для здоров'я екіпажу та десантників (якщо такі є). Тому задача зниження зовнішнього шуму військових автомобілів є актуальною, особливо в умовах воєнного стану. Основним джерелом шуму в автомобілі є відпрацьовані гази двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ). З шумом випуску ДВЗ борються за допомогою відповідних глушників. Зменшення цього виду шуму можна досягти вдосконаленням існуючого глушника шуму або створенням нового високоефективного глушника.

Аналіз наявних публікацій.

Практично в усіх існуючих глушниках шуму відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання [1] звукові хвилі рухаються виключно у газовому середовищі (у середовищі відпрацьованих газів). Рух звукових хвиль у газовому середовищі відбувається і у глушниках, запропонованих для зменшення рівня зовнішнього шуму САУ «Богдана» на базі шасі КраЗ-63221 та бронеавтомобіля КраЗ-6322РА «Бастіон». Для САУ «Богдана» було розроблено реактивний глушник шуму з двох камер, що з'єднані внутрішньою трубкою [2], з можливістю переміщення внутрішньої перегородки з трубкою всередині глушника для забезпечення зміни його частотної характеристики. Для бронеавтомобіля КраЗ-6322РА «Бастіон» було вдосконалено існуючий глушник шуму за рахунок використання ефекту газового екрану [3].

Для вирішення задачі зменшення зовнішнього шуму пропонується принципово новий глушник шуму. Його новизна [4] полягає у використанні рідинного середовища з метою придушення шумової енергії відпрацьованих газів та їх нейтралізації.

Мета дослідження. Зменшення рівня зовнішнього шуму військового автомобіля застосуванням принципово нового виду глушника шуму відпрацьованих газів ДВЗ.

Виклад основного матеріалу дослідження.

1. Об'єкт дослідження – бронеавтомобіль «Козак-2М1»

Броньовану бойову колісну машину (ББКМ) «Козак-2М1» розроблено підприємством ПрАТ «НВО «Практика»» для потреб Десантно-штурмових військ та Сил спеціальних операцій ЗСУ відповідно до наданих ними оперативно-тактичних вимог (рис. 1) [5].

ББКМ «Козак-2М1» призначена для перевезення особового складу підрозділів (загальновійськових, десантно-штурмових, сил спеціальних операцій), його вогневої підтримки при спішуванні, а також для перевезення зброї та військових вантажів цілодобово в зонах помірного

клімату незалежно від пори року при експлуатації на дорогах з різним покриттям та в умовах бездоріжжя.



Рисунок 1 – Бронеавтомобіль «Козак-2М1»
Figure 1 – Armored vehicle «Kozak-2M1»

ББКМ «Козак-2М1» суттєво відрізняється від більшості бронемашин, від 2014 року розроблених в Україні. Вона має суцільнонесучий корпус вітчизняної конструкції та незалежну підвіску всіх коліс, тоді інші згадані бронемашини мають рамну конструкцію і для них адаптовано цивільні платформи іноземних виробників. На відміну від ББКМ «Козак-2М1» ці бронемашини класифікуються Міністерством оборони України як «спеціалізований броньований автомобіль».

Коротка технічна характеристика бронеавтомобіля «Козак-2М1» наведена в табл. 1.

Таблиця 1 – Тактико-технічні характеристики бронеавтомобіля «Козак-2М1» [6]
Table 1 – Tactical and technical characteristics of the armored vehicle «Kozak-2M1» [6]

Повна маса, т	15,0
Споряджена маса, т	13,5
Рівень шуму, дБА	80
Колісна формула	4×4
Силова установка	дизель, 6-циліндровий
Потужність, кВт (к.с.)	205 (279)
Робочий об'єм, л	5,9
Крутний момент, Н×м	950
Коробка передач	механічна, 6-ступінчаста, марки ZF
Екіпаж + десант, чол.	2 + 6
Максимальна швидкість по шосе, км/год	110
Запас ходу (по шосе), км	1000
Дорожній просвіт, мм	400
Глибина броду, що долається, м	1,2
Захист балістичний	рівень 2 за STANAG4569
Захист протимінний	рівень 2a та 2b за STANAG4569
Озброєння	12,7-мм кулемет типу КТ-12,7 (НСВТ), автоматичний гранатомет АГС-17

Суцільнонесучий корпус та незалежна підвіска всіх коліс забезпечили ББКМ «Козак-2М1» загальновідомі переваги порівняно з автомобілями рамної конструкції із залежною підвіскою коліс: меншу габаритну висоту, кращу прохідність, вищу плавність ходу по бездоріжжю з високою швидкістю.

2. Рідинний глушник шуму відпрацьованих газів ДВЗ

Рідинний глушник (рис. 2) складається з впускного 1 та випускного 2 патрубків, внутрішнього 3 та зовнішнього 4 корпусів глушника. Зовнішня частина внутрішнього корпусу має вібропоглинальне покриття 5, а внутрішня частина зовнішнього корпусу – звукопоглинальне покриття 6 (наприклад, зі скла). Внутрішній корпус 3 заповнений рідиною 7, яка приводиться в обертальний рух за допомогою лопатей 8 через привод 9 електродвигуном 10. Над рідиною розміщується перегородка 11 із звукопоглинальним покриттям 12. До стінок внутрішнього корпусу прикріплені хімічні елементи 13. Внутрішній та зовнішній корпуси механічно зв'язані між собою за допомогою віброізолюючих вставок 14.

Для надійного закриття ємкості до корпусів 3 і 4 (рис. 3) приварені кільця 15 і 16 відповідно, до яких кріпляться верхні кришки 17 і 18 із звукопоглинальним покриттям 19 і 20. Днища 21 і 22 також мають покриття 23 і 24. Кришки 17 і 18 кріпляться до кілець 15 і 16 корпусів 3 і 4 болтами (поз. 25) з круглими та пружними шайбами – поз. 26 і 27.

Запропонований рідинний глушник працює таким чином.

Відпрацьовані гази (показані жирними стрілками) по впускному патрубку 1 рухаються від двигуна внутрішнього згорання та попадають у рідину 7, яка знаходиться у внутрішньому корпусі 3 глушника. Двигун 10 через привод 9 обертає лопаті 8, що призводить до обертання рідини 7 у внутрішньому корпусі 3. Відпрацьовані гази, попадаючи в рідину 7, мають велику акустичну енергію. Рідина поглинає цю енергію. Далі відпрацьовані гази рухаються зі значно меншою акустичною енергією (на рис. 1 показані тонкими стрілками). Коли двигун автомобіля не працює, не працює й електродвигун 10, а отже, не обертається рідина у внутрішньому корпусі глушника.

Хімічні патрони 13 в глушнику частково або повністю нейтралізують шкідливі речовини, що містяться у відпрацьованих газах, наприклад, оксид вуглецю CO (чадний газ) доокислюється і перетворюється на діоксид вуглецю CO₂ (вуглекислий газ).

Для збільшення акустичної ефективності глушника вжито такі додаткові заходи:

- застосовано подвійний корпус;
- між внутрішнім 3 та зовнішнім 4 корпусами існує звуко- та вібророзв'язка у вигляді повітряного проміжку;
- зовнішня сторона внутрішнього корпусу 3 покрита вібропоглинальним матеріалом;
- внутрішня поверхня зовнішнього корпусу 4 покрита звукопоглинальним матеріалом;
- встановлена перегородка 11, яка за допомогою звукопоглинального покриття 12 гасить звукові хвилі, що вириваються з рідини.

Загалом у рідині відбуваються три процеси: фізичний, хімічний та акустичний.

1. Фізичний процес: подрібнення відпрацьованих газів на невеликі складові (бульбашки) та часткове розчинення.

2. Хімічний процес: відпрацьовані гази вступають у хімічну взаємодію з рідиною, в результаті чого очищуються від шкідливих складових. Залежно від складу рідини таке очищення може бути більш чи менш повним.

3. Акустичний процес: акустичні хвилі, які рухались у відпрацьованих газах, поглинаються рідиною.

За основу рідини може бути прийнята вода. Після того як рідина стає насиченою шкідливими речовинами, необхідно замінити її та (за необхідності) хімічні патрони.

3. Розрахунок рідинного глушника шуму для бронеавтомобіля «Козак-2М1»

Для розрахунку рідинного глушника шуму перш за все необхідно визначити швидкість витікання відпрацьованих газів з двигуна автомобіля.

Швидкість заповнення глушника відпрацьованими газами ДВЗ (об'єм відпрацьованих газів, л/с, який входить у глушник за 1 с під час роботи ДВЗ), $v_{зан}$:

$$v_{зан} = \frac{V_{де} \cdot n \cdot k}{120},$$

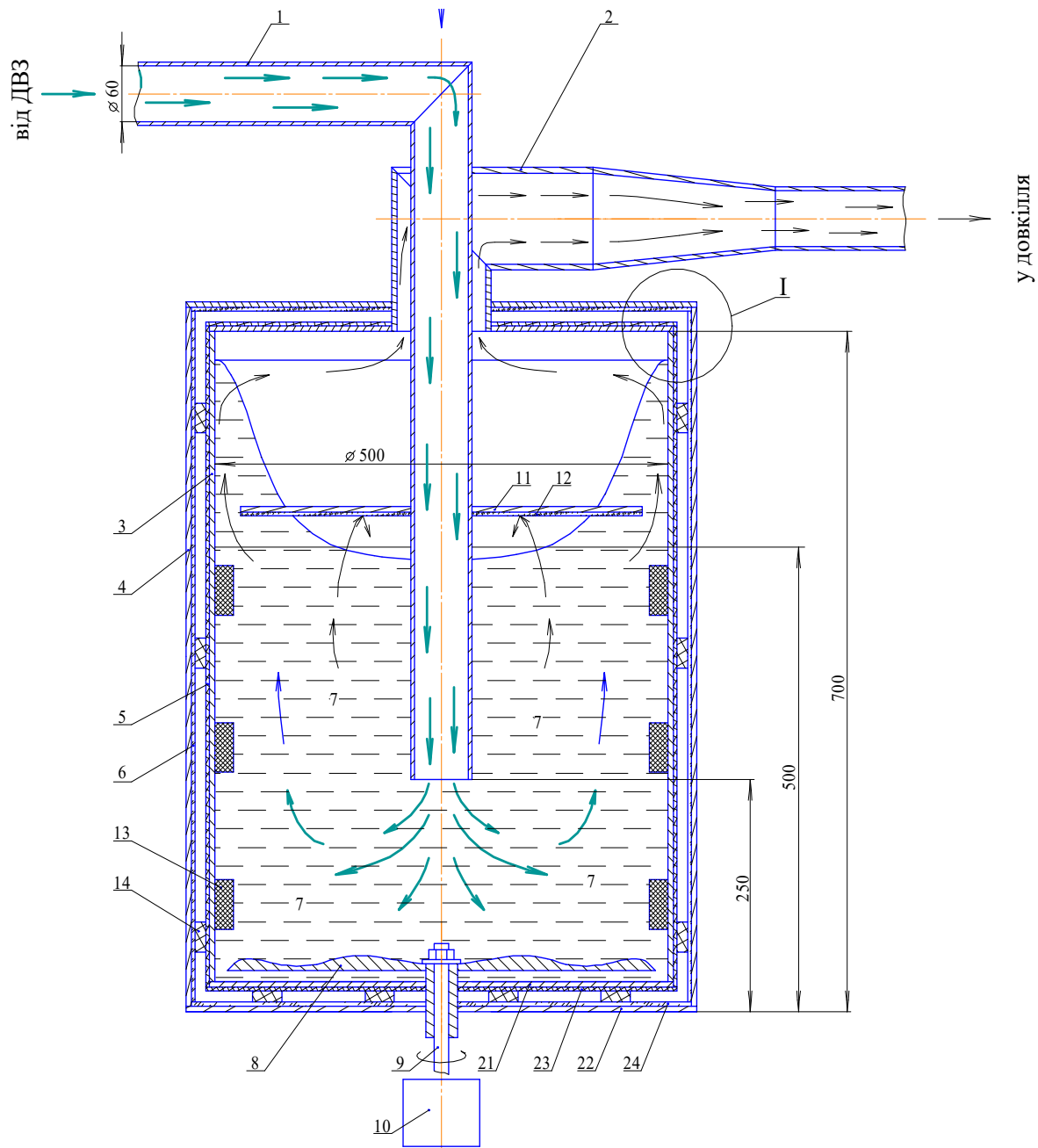


Рисунок 2 – Ескіз рідинного глушника шуму відпрацьованих газів ДВЗ (головний вид):

1, 2 – впускний та выпускний патрубки відповідно; 3, 4 – внутрішній та зовнішній корпуси відповідно; 5 – вібропоглинальне покриття; 6, 12 – звукопоглинальні покриття; 7 – рідина; 8 – лопаті; 9 – привод електродвигуна; 10 – електродвигун; 11 – перегородка; 13 – хімічні патрони; 14 – віброізолюючі вставки; 21, 22 – днища внутрішнього і зовнішнього корпусів відповідно; 23, 24 – покриття внутрішнього і зовнішнього корпусів відповідно

Figure 2 – Liquid muffler of exhaust gas noise ICE:

1, 2 – inlet and outlet nozzles, respectively; 3, 4 – internal and external housings, respectively; 5 – vibration-absorbing coating; 6, 12 – sound-absorbing coatings; 7 – liquid; 8 – blades; 9 – electric motor drive; 10 – electric motor; 11 – partition; 13 – chemical cartridges; 14 – vibration-isolating inserts; 21, 22 – bottoms of the inner and outer casings, respectively; 23, 24 – coating of the inner and outer casings, respectively

де $V_{\text{дв}}$ – робочий об'єм двигуна автомобіля; у нашому випадку $V_{\text{дв}} = 5,9 \text{ л}$ (див. табл. 1); n – частота обертання колінчастого вала двигуна, хв^{-1} ; k – коефіцієнт, що характеризує зміну об'єму відпрацьованих газів після виходу їх з ДВЗ та входу в глушник (прийемо $k = 1$).

Тоді

$$v_{зан} = \frac{5,9 \cdot 10^{-3} \cdot 2100 \cdot 1}{120} = 103 \text{ л/сек.}$$

Приймемо об'єм рідини у глушнику 100 л, тобто таким, що приблизно дорівнює об'єму відпрацьованих газів, що входять у глушник за 1 с. Тоді глушник матиме такі основні розміри (рис. 2): діаметр вхідного патрубку – 60 мм, діаметр внутрішнього корпусу – 0,5 м, висота до перегородки – 0,5 м.

Висновки.

Для зменшення зовнішнього шуму та поліпшення маскувальних властивостей броневих автомобіля «Козак-2М1» розроблено рідинний глушник шуму відпрацьованих газів ДВЗ. Показано, що в останньому відбуваються три процеси: фізичний (подрібнення відпрацьованих газів на невеликі складові (бульбашки) та часткове розчинення), хімічний процес (нейтралізація відпрацьованих газів) та акустичний (поглинання акустичних хвиль). Проведено розрахунок геометричних розмірів розробленого глушника шуму. Наведено конструкцію розробленого для броневих автомобіля «Козак-2М1» рідинного глушника шуму.

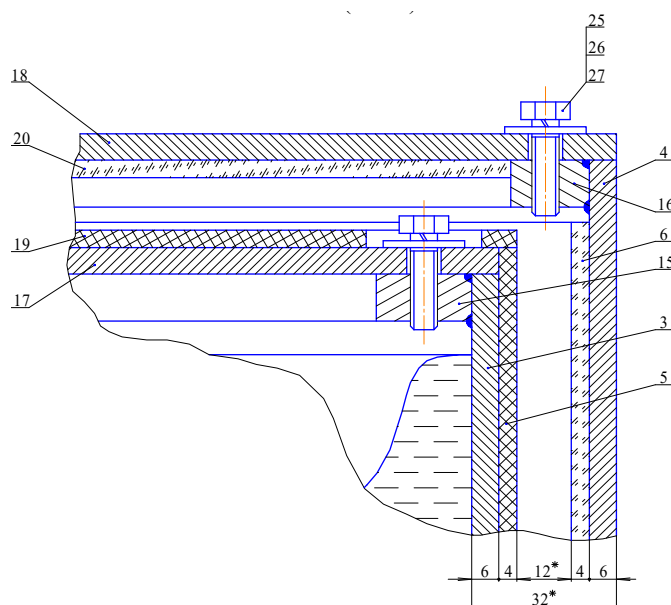


Рисунок 3 – Виноска I на рис. 2: позиції 3–6 ті ж, що на рис. 2; 15, 16 – приварені кільця; 17, 18 – верхні кришки внутрішнього і зовнішнього корпусів відповідно; 19, 20 – звукопоглинальне покриття; 25 – кріпильні кутники; 26, 27 – круглі та пружні шайби

Figure 3 – Footnote I in fig. 2: positions 3–6 are the same as in fig. 2; 15, 16 – welded rings; 17, 18 – upper covers of the inner and outer housings, respectively; 19, 20 – sound-absorbing coating; 25 – mounting brackets; 26, 27 – round and elastic pucks

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Федоров В.В. Акустика автомобіля. – К. : Вид-во «Принт», 2008. – 285 с.
2. Зниження зовнішнього шуму САУ «Богдана» на базі шасі КрАЗ-63221 вдосконалим двокамерним реактивним глушником шуму / В.В. Федоров, Г.А. Філіпова, В.В. Яновський, О.В. Терновий // Автошляховик України. – 2021. – № 2. – С. 29–35.
3. Федоров В.В. Вдосконалення глушника шуму броневих автомобіля КрАЗ «Бастіон» застосуванням газового екрану / В.В. Федоров, В.В. Яновський, Є.В. Мазур // Автошляховик України. – 2019. – № 2. – С. 11–16.
4. Федоров В.В., Філіпова Г.А., Яновський В.В. Рідинний глушник шуму. Патент на винахід № 151373, бюлетень «Промислова власність» № 28, 13.07.2022 р.
5. Козак-2М1 [Електронний ресурс] / Текст. дані. – Режим доступу: <https://armyinform.com.ua/2021/02/23/kozak-2m1-stvorenyj-dlya-potreb-desantno-shturmovyh-vijsk-ta-syl-speczialnyh-operacij-u-2021-mu-zaminyt-broneavtomobil-kozak-2/>.

6. Козак-2М1 [Електронний ресурс] / Текст. дані. – Режим доступу: https://defence-ua.com/news/zsu_otrimali_veliku_partiju_novitnih_bbkm_kozak_2m1-5540.html.

REFERENCES

1. Fedorov V.V. (2008). Akustyka avtomobilya [Car acoustics]. Kyiv. : Print, 285. [in Ukraine].
2. Fedorov, V.V., Filipova, G.A., Yanovsky, V.V., Ternovyi, O.V. (2021) Znyzhennya zovnishn'oho shumu SAU «Bohdana» na bazi shasi KrAZ-63221 vdoskonalenym dvokamernym reaktyvnym hlushnykom shumu [Reduction of external noise vehicle of spai «Bohdana» on the basis of the KrAZ-63221 improved two-chamber reactive noise silencer]. Kyiv, Avtoshlyahovik Ukraine, 2 (266), 29 - 35.
3. Fedorov, V.V., Yanovsky, V.V., Mazur E.V. (2019) Vdoskonalennya hlushnyka shumu broneavtomobilya KrAZ «Bastion» zastosuvannyam hazovoho ekranu [Improvement of noise silencer armored vehicle KrAZ «Bastion» application of the gas screen]. Kyiv, Avtoshlyahovik Ukraine, 2 (258), 11–16.
4. Fedorov, V.V., Filipova, G.A., Yanovsky, V.V. (2022). Ridynnyy hlushnyk shumu. [Liquid silencer]. Patent No. 151373, bulletin "Industrial Property" No. 28.
5. «Kozak-2M1» Retrieved from <https://armyinform.com.ua/2021/02/23/kozak-2m1-stvorenyj-dlya-potreb-desantno-shturmovyh-vijsk-ta-syl-speczialnyh-operacij-u-2021-mu-zaminyt-broneavtomobil-kozak-2/>.
6. «Kozak-2M1» Retrieved from https://defence-ua.com/news/zsu_otrimali_veliku_partiju_novitnih_bbkm_kozak_2m1-5540.html.

РЕФЕРАТ

Федоров В.В. Зниження зовнішнього шуму броневих автомобілів «Козак-2м1» рідинним глушником шуму / В.В. Федоров, Г.А. Філіпова, В.В. Донець // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

У статті запропоновано використання для зменшення рівня зовнішнього шуму військового автомобіля розробленого глушника шуму відпрацьованих газів двигуна.

Об'єкт дослідження – тактичний броневих автомобіль «Козак-2М1», який створений для потреб Десантно-штурмових військ та Сил спеціальних операцій ЗСУ, призначений для виконання широкого кола бойових завдань.

Мета дослідження – зменшення рівня зовнішнього шуму військового автомобіля застосуванням принципово нового виду глушника шуму відпрацьованих газів ДВЗ.

Метод дослідження – розрахунковий.

Одним із видів маскуванню військових автомобілів є зниження їх рівня зовнішнього шуму, який є суттєвим демаскуючим фактором. У даній роботі розглядається застосування розробленого глушника шуму відпрацьованих газів двигуна внутрішнього згорання, принциповою новизною якого є пропускання відпрацьованих газів через рідину, що знаходиться всередині глушника, в якій відбуваються три процеси: фізичний (подрібнення відпрацьованих газів на невеликі складові (бульбашки) та часткове розчинення), хімічний (відпрацьовані гази вступають у хімічну взаємодію з рідиною, в результаті чого очищуються від шкідливих складових) та акустичний (акустичні хвилі, які рухались у відпрацьованих газах, поглинаються рідиною). Для реалізації хімічних реакцій відпрацьованих газів з рідиною запропоновано використання у глушнику хімічних патронів. За основу рідини може бути прийнята вода. Після того як рідина стає насиченою шкідливими речовинами, необхідно замінити її та (за необхідності) хімічні патрони. З метою підвищення ефективності розробленого глушника шуму запропоновано в останньому використання електродвигуна та звуко- і вібропоглинальних матеріалів. Проведено розрахунок геометричних розмірів розробленого рідинного глушника шуму виходячи з робочого об'єму двигуна та максимальної частоти обертання колінчастого валу, а також наведено ескіз глушника.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВІЙСЬКОВІ АВТОМОБІЛІ, БРОНЕАВТОМОБІЛЬ, МАСКУВАННЯ, «КОЗАК-2М1», ЗОВНІШНІЙ ШУМ, ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ, ВІДПРАЦЬОВАНІ ГАЗИ, РІДИННИЙ ГЛУШНИК ШУМУ, ЗВУКОПОГЛИНАЛЬНИЙ МАТЕРІАЛ, ХІМІЧНИЙ ПАТРОН, НЕЙТРАЛІЗАЦІЯ, ФІЗИЧНИЙ ПРОЦЕС, ХІМІЧНИЙ ПРОЦЕС, АКУСТИЧНИЙ ПРОЦЕС.

ABSTRACT

Fedorov V.V., Filipova G.A., Donets V.V. External noise reduction of the armored vehicle «Kozak – 2m1» using liquid muffler. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

In the present paper the use of a newly developed exhaust gasses muffler for external noise reduction of a military vehicle is proposed.

The object of the study is tactical armored vehicle «Kozak-2M1» that was created for the needs of the Airborne Assault Forces and the Special Operations Forces of the Armed Forces of Ukraine and can be used for designed to perform a wide range of combat tasks.

The purpose of the study is to reduce the external noise level of a military vehicle by using a fundamentally new type of internal combustion engine exhaust gases muffler.

The research method is computational.

One of the types of masking of the military vehicles is the reduction of their level of external noise, which is an essential unmasking factor. This work considers the application of a newly developed muffler for an internal combustion engine exhaust gases, the fundamental novelty of which is the passage of exhaust gases through a liquid inside the muffler, in which three processes take place: physical (shredding of exhaust gases into small components (bubbles) and partial dissolution), chemical (exhaust gases enter into a chemical interaction with the liquid, as a result of which they are cleaned of harmful components) and acoustic (acoustic waves that moved in the exhaust gases are absorbed by the liquid). To implement chemical reactions of exhaust gases with liquid, it is proposed to use chemical cartridges in the muffler. Water can be taken as the basis of the liquid. After the liquid becomes saturated with harmful substances, it is necessary to replace together (if necessary) with chemical cartridges. The use of an electric motor and sound and vibration-absorbing materials are proposed for further increase of the newly developed muffler efficiency. Geometric dimensions of the developed liquid muffler were calculated based on the working volume of the engine and the maximum rotation frequency of the crankshaft, a muffler sketch is also provided.

KEY WORDS: MILITARY VEHICLES, ARMORED VEHICLE, CAMOUFLAGE, «KOZAK-2M1», EXTERNAL NOISE, INTERNAL COMBUSTION ENGINE, EXHAUST GASES, LIQUID MUFFLER, SOUND ABSORBING MATERIAL, CHEMICAL CARTRIDGE, NEUTRALIZATION, PHYSICAL PROCESS, CHEMICAL PROCESS, ACOUSTIC PROCESS.

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.

Донець Вероніка Василівна, Національний транспортний університет, старший викладач кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: v.donets@ntu.edu.ua, тел.: +380442807066, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 347а, orcid.org/0000-0003-2353-0699.

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. Omelianovicha-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. Omelianovicha-Pavlenka, 1, of. 306, orcid.org/0000-0003-3427-7633.

Donets Veronika Vasylivna, National Transport University, Senior Lecturer of Department of Information Systems and Technologies, e-mail: v.donets@ntu.edu.ua, tel.: +380442807066, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovicha-Pavlenka, 1, of. 347a, orcid.org/0000-0003-2353-0699.

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.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ МАНЕВРІВ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ З ЯДЕРНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ПОТУЖНОСТІ

Харитонова Л.В., кандидат фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, kharytonova-lv@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0108-6702

Куценко О.Г., кандидат фізико-математичних наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, alex_kutz@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5089-0409

Харитонов О.М., кандидат фізико-математичних наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, kharytonov@knu.ua, orcid.org/0000-0002-6529-7736

Шумейко О.А., Національний транспортний університет, Київ, Україна, shumeyko.ntu.edu.ua@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2897-060X

MATHEMATICAL MODELLING AND OPTIMIZATION OF MANEUVERS OF SPACECRAFT WITH NUCLEAR POWER SOURCES

Kharytonova L.V., PhD, Physics and Mathematics, National Transport University, Kyiv, Ukraine, kharytonova-lv@ukr.net, orcid.org/0000-0002-0108-6702

Kutsenko O.G., PhD, Physics and Mathematics, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine, alex_kutz@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5089-0409

Kharytonov O.M., PhD, Physics and Mathematics, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine, kharytonov@knu.ua, orcid.org/0000-0002-6529-7736

Shumeyko O.A., National Transport University, Kyiv, Ukraine, shumeyko.ntu.edu.ua@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2897-060X

Постановка проблеми.

Одними з основних проблем сучасної космонавтики є підготовка пілотованих експедицій до планет Сонячної системи, зокрема до Місяця і Марсу. До рушійних систем пілотованих космічних апаратів висуваються жорсткі вимоги, з одного боку, щодо забезпечення порівняно невеликої тривалості перельоту, а з другого – щодо економічності та енергоефективності, з метою забезпечення транспортування необхідного корисного навантаження. Відповідно, подібні експедиції можливі лише в разі застосування перспективних рушійних систем, які забезпечують, з одного боку необхідний рівень реактивної тяги, а з другого високу економічність, надійність та енергоефективність. Стаття присвячена загальним проблемам математичного моделювання та оптимізації перспективних космічних рушійних систем на основі ядерних джерел енергії, які задовольняють зазначеним вимогам.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Технологічний рівень розробок в галузі космічної техніки дасть можливість здійснити пілотовані експедиції до Марсу у період з 2033 по 2039 [1-5]. З огляду на проблеми психологічного характеру, вплив космічного опромінювання, ефекти нульової гравітації, реалізація пілотованих експедицій висуває жорсткі вимоги, з одного боку, до часу виконання маневру, а з другого до його ефективності, з точки зору маси корисного навантаження [6,7]. Щоб задовольнити таким вимогам потрібні принципово нові, водночас, потужні і ефективні рушійні системи. Дослідження, проведені NASA [5], показали, що за станом технічної розробки, надійності і параметрами, таким вимогам можуть задовольнити перспективні рушійні системи, що функціонують на ядерних джерелах енергії. Розробка таких систем почалася ще в 50-х роках XX століття, а перспективи їх використання підтверджуються досвідом створення і тестування в наземних умовах кількох десятків рушійних систем даного типу [5-7]. Перед тим як перейти до розгляду проблем математичного моделювання і оптимізації робочих процесів в космічних рушійних системах з ядерними джерелами енергії, наведемо коротку характеристику космічних рушійних систем як об'єктів керування.

Опис будь-якої керованої системи передбачає встановлення її основних параметрів, які визначають якість функціонування системи, функцій керування, від вибору яких залежать зазначені параметри і обмежень, що накладаються на вибір функцій керування. Як відомо, реактивна тяга двигуна визначається формулою:

$$P = qV \quad (1)$$

де q – секундна масова витрата палива, V – ефективна швидкість витікання.

З цієї формули випливає, що для реалізації однієї і тієї ж величини тяги треба витратити тим менше палива, чим більшою є швидкість його витікання. Величина реактивної тяги співвідноситься з вагою рушійної системи, утворюючи безрозмірний параметр

$$a_0 = \frac{P}{M_\kappa g}, \quad (2)$$

відомий як тягоозброєність рушійної системи. В (2) M_κ – маса рушійної системи, g – прискорення вільного падіння.

Відповідно до загальноприйнятої класифікації [8], розрізняють рушійні системи великої тяги, для яких $a_0 \gg 1$ і рушійні системи малої тяги, для яких $a_0 \ll 1$.

До систем великої тяги відносяться рушійні системи на основі хімічних теплових ракетних двигунів – рідинних і твердопаливних. Реактивна тяга генерується за рахунок перетворення внутрішньої теплової енергії продуктів згоряння в їх кінетичну енергію в процесі витікання через реактивне сопло. За межами атмосфери ефективна швидкість витікання для таких систем визначається формулою

$$V = \gamma \sqrt{T} \quad (3)$$

де $\gamma = \sqrt{\frac{2R_0 k}{\mu(k-1)}}$; μ – молярна маса робочого тіла, R_0 – універсальна газова стала, k – співвідношення теплоємностей, T – температура на вході в сопло. Для даного типу робочого тіла γ – це константа. Для теплових ракетних двигунів великої тяги принциповим обмеженням є обмеженість температури:

$$T \in [0, T_{\max}] \quad (4)$$

$T_{\max}$ – максимально допустима температура на вході в сопло, що визначається складом палива та конструктивними особливостями сопла.

Обмеження (4) визначає обмеженість швидкості витікання в силу (3). Внаслідок цього факту теплові двигуни великої тяги відносяться до класу двигунів обмеженої швидкості витікання [8]. Для рідинних ракетних двигунів на паливі кисень-водень величина V може доходити до 4500 м/с, для інших двигунів цього класу величина ефективної швидкості витікання є меншою. Керування рушійними системами обмеженої швидкості витікання здійснюється за рахунок регулювання подачі компонентів палива до камери згоряння.

Величина ефективної швидкості витікання є значно більшою для рушійних систем малої тяги, отже, вони є значно економічнішими. До таких рушійних систем відносяться електричні ракетні двигуни (ЕРД), які працюють від окремого джерела потужності, яке входить до складу рушійної системи. Включення маси джерела енергії до маси рушійної системи M_κ призводить до виконання нерівності $a_0 \ll 1$. Для електричних ракетних двигунів малої тяги принциповим обмеженням є обмеженість електричної потужності її джерела:

$$N \in [0, N_{\max}] \quad (5)$$

Внаслідок (5) ЕРД малої тяги відносяться до класу двигунів обмеженої потужності [8]. Для двигунів обмеженої потужності величина V перевищує 20000 м/с [5]. Керування рушійними системами обмеженої потужності здійснюється за рахунок регулювання потужності та подачі робочого тіла до двигуна.

Питання оптимального керування робочими процесами в рушійних системах на основі двигунів обмеженої потужності та обмеженої швидкості витікання, а також – побудови оптимальних

траєкторій перельотів космічних апаратів, в тому числі – міжпланетних, з такими рушійними системами, добре вивчене і висвітлене в літературі (див, наприклад [12-14]). В той же час, існують рушійні системи, які не можуть бути віднесені до означених вище двох класів рушійних систем. Це – рушійні системи на основі ядерних ракетних двигунів (ЯРД) та дворежимні рушійні системи на основі ядерного джерела потужності, до складу яких входять ядерні ракетні двигуни та електричні ракетні двигуни, що живляться від цього джерела. Відзначимо, що відповідно до класифікації [8], ЯРД відносяться до двигунів обмеженої швидкості витікання. Нижче ми проведемо розгляд математичної моделі робочих процесів в ЯРД та покажемо що така класифікація не є точною.

Основними частинами ЯРД є (рис.1, [7]): ядерний реактор, в якому відбувається нагрівання робочого тіла, реактивне сопло, система подачі робочого тіла, бак для його зберігання. Для пілотованих КА над ядерним реактором додатково розміщується радіаційний захист. Для дворежимної рушійної системи передбачена можливість використання ядерного реактора як джерела електричної потужності для живлення бортових систем КА та ЕРД малої тяги. Керування величиною тяги ЯРД може здійснюватись регулюванням теплової потужності реактора і секундної масової витрати робочого тіла (рідкого водню, LH_2).

Будемо вважати, що вся теплова потужність іде на нагрів робочого тіла, температура якого на вході до реактора настільки низька, що може вважатися нульовою. Тоді будемо мати [8, Проблеми, 2005]:

$$N = C_p q T \quad (6)$$

де N – теплова потужність ядерного реактора, C_p – питома теплоємність робочого тіла при постійному тиску. Звідси, на основі співвідношень (1) і (3), для тяги двигуна P отримаємо:

$$P = \frac{\gamma N}{C_p \sqrt{T}} \quad (7)$$

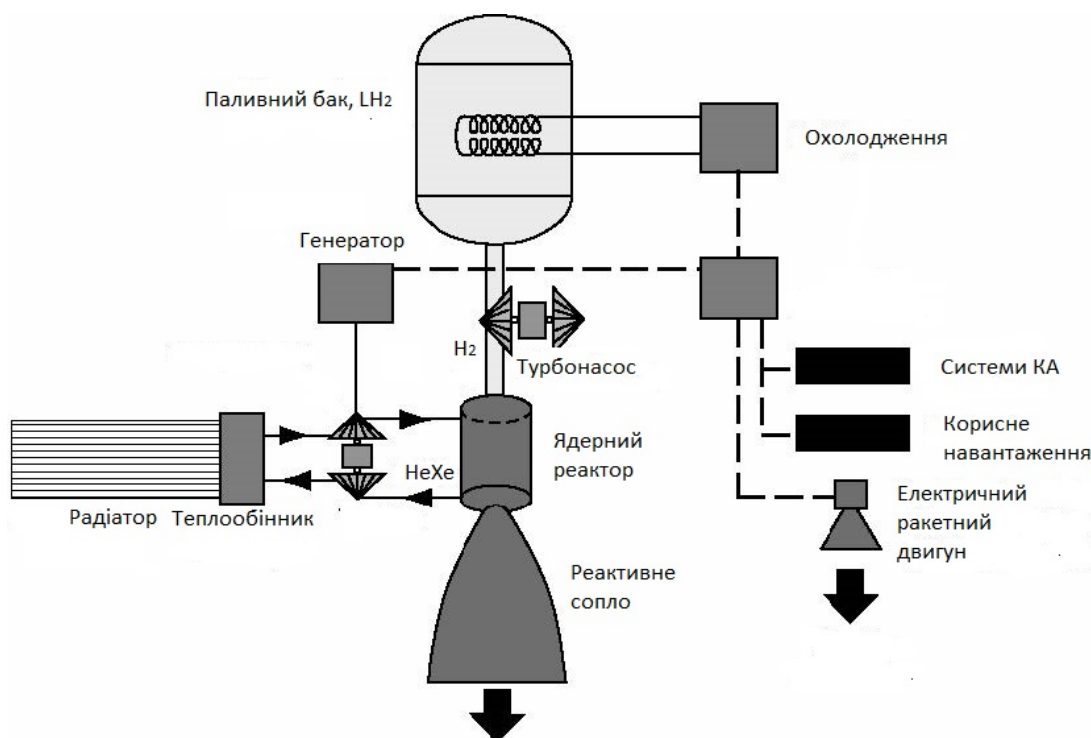


Рисунок 1 – Схема дворежимної рушійної системи на основі ядерного джерела потужності
Figure 1 – Scheme of bimodal propulsion system based on nuclear power source

Обмеження, що їм підкоряються робочі процеси у двигуні, мають вигляд:

$$N \in [N_{\min}, N_{\max}]; q \in [q_{\min}, q_{\max}]; T \in [T_{\min}, T_{\max}] \quad (8)$$

Значення $N_{\max}, T_{\max}, q_{\max}$ визначаються конструкцією двигуна, для $N_{\min}$ приймемо таку оцінку [15], величини $T_{\min}, q_{\max}$ визначаються з формули (6) через $N_{\min}, T_{\max}, q_{\max}$:

$$q_{\min} = \frac{N_{\min}}{C_p T_{\max}}, T_{\min} = \frac{N_{\min}}{C_p q_{\max}}; \quad (9)$$

З цим урахуванням систему обмежень на роботу двигуна остаточно запишемо:

$$N \in [N_{\min}, \min(N_{\max}, C_p T_{\max} q)], q \in [q_{\min}, q_{\max}]; \quad (10)$$

При цьому, N і q є функціями керування, внаслідок зміни яких регулюється реактивна тяга. Загальний вигляд множини допустимих керувань на площині (q, N) показано на рис. 2. При цьому значення керувань $q = q_{\max}$ відповідає максимуму тяги, а значення $q = q_D, q_D = N_{\max} / (C_p T_{\max})$ – максимуму ефективної швидкості витікання.

Таким чином, для ЯРД прямі обмеження накладені як на температури на вході до сопла, а отже і на швидкість витікання, так і на теплову потужність. В такому розумінні ЯРД є двигуном обмеженої швидкості витікання і обмеженої потужності. Крім того, тягоозброєність рушійних систем на основі ЯРД не задовольняє ні умов великої тяги $a_0 \gg 1$, ні умов малої тяги $a_0 \ll 1$. Таким чином, ЯРД не можна віднести до жодного з двох класів рушійних систем відповідно до [8]. З точки зору можливостей використання, передбачається, що ЯРД будуть використовуватися для маневрів, що відбуваються за межами атмосфери планет і тривають десятки хвилин [5]. Це значно звужує можливості застосування класичної імпульсної апроксимації для оптимізації траєкторій КА з ЯРД.

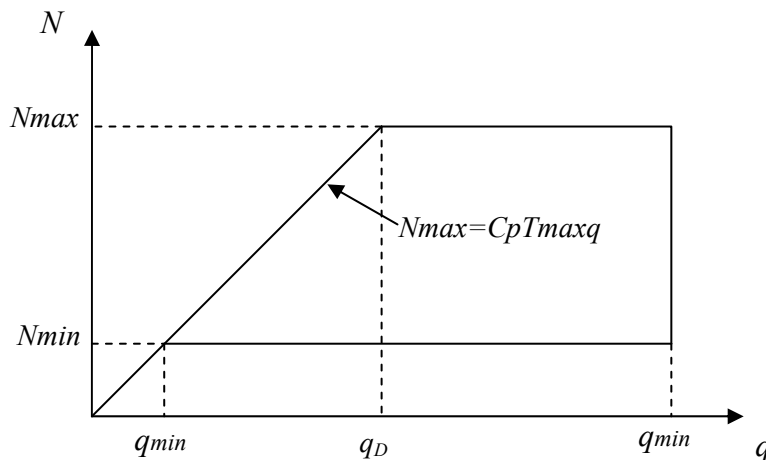


Рисунок 2 – Множина допустимих керувань тягою ЯРД
Figure 2 – Admissible control set for NRE

Дворежимні рушійні системи на основі ядерних реакторів призначені для поєднання переваг рушійних систем великої тяги (швидкість виконання маневрів) і малої тяги (ефективність виконання маневрів), що є принциповим, насамперед, у випадку пілотованих міжпланетних експедицій. Комбінування участі ЯРД та ЕРД при формуванні траєкторії можливе за рахунок оптимального розподілу характеристичної швидкості між цими ділянками. Наприклад, для траєкторії міжпланетного перельоту можна припустити, що вона складається з трьох ділянок (дві планетоцентричних та геліоцентрична ділянки) (рис.3). При цьому застосування потужних ЯРД передбачається для здійснення маневрів в сферах впливу планет старту і призначення (планетоцентричні ділянки) [10]. На планетоцентричних ділянках рух відбувається по гіперболічних планетоцентричних орбітах з асимптотичними швидкостями $\vec{v}_{\infty}^e, \vec{v}_{\infty}^m$, відповідно, для планети старту і

призначення. Рух на геліоцентричній ділянці здійснюється за допомогою ЕРД малої тяги. В разі відсутності ділянки малої тяги, рух відбувається за кеплеровою дугою, яка визначається геліоцентричними швидкостями $\vec{v}_{\infty l}^e$ і $\vec{v}_{\infty l}^m$ (показана штриховою лінією). При цьому $\vec{v}_{orb}^e$ і $\vec{v}_{orb}^m$ – орбітальні швидкості планет старту і призначення (Землі і Марсу). Маневр з малою тягою дозволяє зменшити паливні витрати на ділянках роботи ЯРД за рахунок зменшення асимптотичних швидкостей гіперболічних орбіт порівняно з випадком міжпланетного перельоту без ділянки малої тяги. Різниця між швидкостями $\vec{v}_{\infty l}^e - \vec{v}_{\infty}^e$ і $\vec{v}_{\infty l}^m - \vec{v}_{\infty}^m$ компенсується роботою ЕРД, двигуна більш економічного ніж ЯРД. При цьому включення ділянки малої тяги буде ефективним лише в тому випадку, коли маса зекономленого палива перевищить масу рушійної системи малої тяги. Задача оптимального комбінування великої та малої тяги полягає у розподілі масових витрат на генерування тяги (що включає паливні витрати і масу рушійної системи) між ділянками великої та малої тяги з метою максимізації корисного навантаження при заданих стартовій масі КА і часі виконання маневру [10,11]. Параметри, що оптимізуються і визначають розподіл паливних витрат, є вектори швидкостей $\vec{v}_{\infty}^e = (v_{\infty x}^e, v_{\infty y}^e)$ і $\vec{v}_{\infty}^m = (v_{\infty x}^m, v_{\infty y}^m)$.

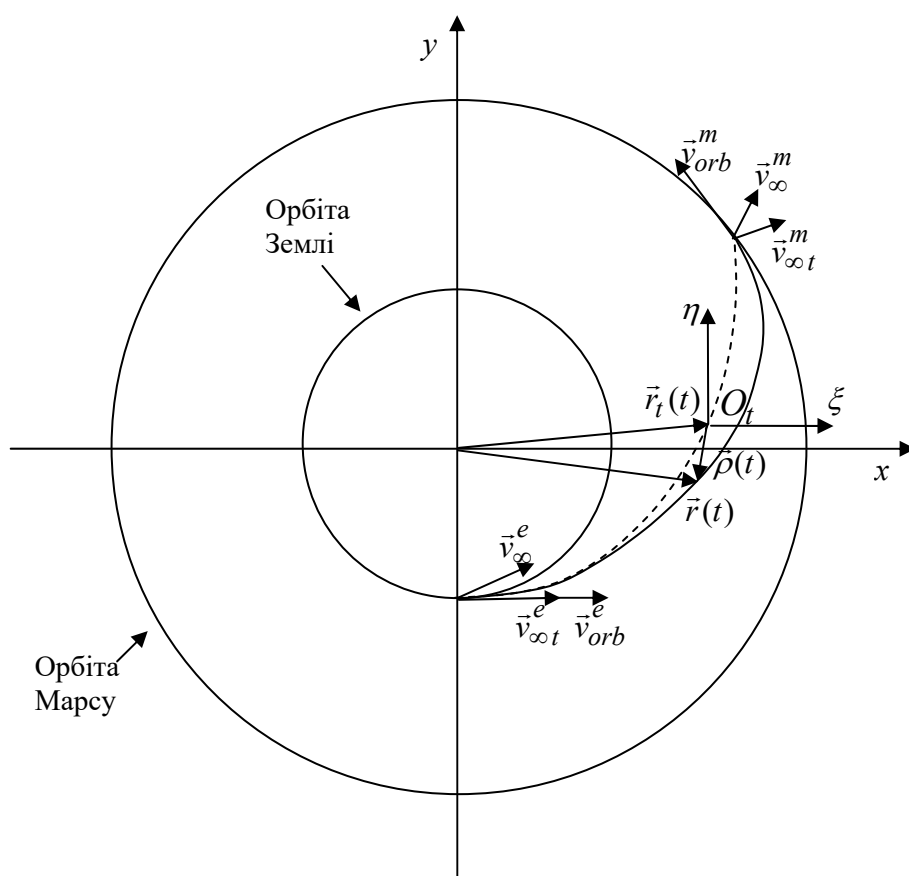


Рисунок 3 – Схема міжпланетного перельоту Земля-Марс
Figure 3 – Scheme of Earth-Mars interplanetary transfer

Висновки

Планування міжпланетних пілотованих експедицій до планет Сонячної системи у найближчому майбутньому передбачає використання рушійних систем на основі ядерних джерел енергії. Ядерні ракетні двигуни, як об'єкти керування, відносяться до окремого класу космічних рушійних систем, оскільки є двигунами обмеженої швидкості витікання і обмеженої потужності. Крім того, для розрахунку оптимальних траєкторій космічних апаратів з ЯРД не можуть прямо застосовуватися підходи, загальноприйняті при розрахунку оптимальних траєкторій КА ані з двигунами великої ані малої тяги. Врахування обмеженості тяги ЯРД робить необхідним розгляд задач оптимального керування рухом КА на активних ділянках траєкторії замість спрощеного підходу імпульсної апроксимації.

Наявність ядерного реактора, як джерела потужності, в складі ЯРД відкриває можливості включення до складу рушійної системи додаткових ЕРД малої тяги (разом з відповідними системами живлення, перетворення енергії та охолодження). Така модифікація рушійної системи буде ефективною в тому випадку, коли маса палива, заощадженого за рахунок використання ЕРД, перевищить масу зазначених додаткових компонентів рушійної системи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. National Research Council Report. (2014) Pathways to Exploration – Rationales and Approaches for a U.S. Program of Human Space Exploration The National Academy Press, Washington, D.C., www.nap.edu.
2. NASA. (2015) NASA's Journey to Mars: Pioneering Next Steps in Space Exploration. In: National Aeronautic Space Administration (October 2015).
3. SpaceX and E. Musk. (2019) Starship update. In: SpaceX presentation slides, presented by Elon Musk (October 2019). Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=3N7L8Xhkzqo>.
4. Lockheed Martin Corporation. (2019) IAC2019 – Moon to Mars. Retrieved from: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/2019-features/moon-mars-iac.html>.
5. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2021). Space Nuclear Propulsion for Human Mars Exploration. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25977>.- 79P.
6. Burke, L.M., Borowski, S.K., McCurdy D.R., Packard, Th.W. (2013), A One-year, Short-Stay Crewed Mars Mission Using Bimodal Nuclear Electric Propulsion (BNTEP) – A Preliminary Assessment, Conference Proceedings, NASA/TM-2013-216568, Retrieved from <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20140009579/downloads/20140009579.pdf>.
7. Zampino E.J., Cataldo R. (2004) The Challenge of Space Nuclear Propulsion and Power Systems Reliability Reliability and Maintainability, 2004 Annual Symposium – RAMS, DOI:10.1109/RAMS.2004.1285487, pp. 431-436.
8. Grodzovsky G.L., Ivanov Yu.N., Tokarev V.V. (1975) *Mehanika kosmicheskogo poliota. Problemy optimizatsii* [Mechanics of space flight. Optimization problems]. M: Nauka. 1975. 704P.
9. Taylor B.D. & Emrich W.J. (2016) Nuclear Thermal Propulsion: Engines and Missions 52nd AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, Salt Lake City, UT, July 25-27, 2016, AIAA Paper, 2016-4885.- 15P.
10. Kharytonov O.M. & Kiforenko B.M. (2011) Finite-thrust optimization of interplanetary transfers of space vehicle with bimodal nuclear thermal propulsion. *Acta Astronautica*, 69 (2011), pp. 223-233.
11. Kharitonov, A.M. (2013) Application of the Modified Method of Transporting Trajectory to Optimize Interplanetary Transfers Combining Low and High Thrust. *International Applied Mechanics*, Vol. 49, No 5, 2013, pp. 597-607.
12. Kiforenko, B.N. (2017) *Singulyarnye optimalnye upravleniya v mehanike kosmicheskogo poliota* [Singular optimal controls in the mechanics of space flight]. Kyiv Naukova dumka 177P.
13. Landau, D.F. & Longuski J.M. (2006), Trajectories for Human Missions to Mars, Part 1: Impulsive Trajectories, *Journal of Spacecrafts and Rockets*. Vol. 43, No. 5, pp/1036-1042, DOI: 10.2514/1.21954.
14. Landau, D.F. & Longuski J.M. (2006), Trajectories for Human Missions to Mars, Part 2: Low Thrust Transfers, *Journal of Spacecrafts and Rockets*. Vol. 43, No. 5, pp. 1043-1047, DOI: 10.2514/1.21954.
15. Kharitonov, A.M. (2005) K problem optimizatsii orbitalnyh manevrov kosmicheskiv apparatov s yadernymi raketnymi dvigatelyami [To the problem of optimization of orbital maneuvers of spacecrafts with nuclear rocket engines] *Problemy upravleniya i informatiki – Problems of control and computer science*, 2005, №5.-pp.120-135.

REFERENCES

1. National Research Council Report. (2014) Pathways to Exploration – Rationales and Approaches for a U.S. Program of Human Space Exploration The National Academy Press, Washington, D.C., www.nap.edu.
2. NASA. (2015) NASA's Journey to Mars: Pioneering Next Steps in Space Exploration. In: National Aeronautic Space Administration (October 2015).
3. SpaceX and E. Musk. (2019) Starship update. In: SpaceX presentation slides, presented by Elon Musk (October 2019). Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=3N7L8Xhkzqo>.

4. Lockheed Martin Corporation. (2019) IAC2019 – Moon to Mars. Retrieved from: <https://www.lockheedmartin.com/en-us/news/features/2019-features/moon-mars-iac.html>.
5. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2021). Space Nuclear Propulsion for Human Mars Exploration. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25977>.- 79P.
6. Burke, L.M., Borowski, S.K., McCurdy D.R., Packard, Th.W. (2013), A One-year, Short-Stay Crewed Mars Mission Using Bimodal Nuclear Electric Propulsion (BNTEP) – A Preliminary Assessment, Conference Proceedings, NASA/TM-2013-216568, Retrieved from <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20140009579/downloads/20140009579.pdf>.
7. Zampino E.J., Cataldo R. (2004) The Challenge of Space Nuclear Propulsion and Power Systems Reliability Reliability and Maintainability, 2004 Annual Symposium – RAMS, DOI:10.1109/RAMS.2004.1285487, pp. 431-436.
8. Grodzovsky G.L., Ivanov Yu.N., Tokarev V.V. (1975) *Mehanika kosmicheskogo poliota. Problemy optimizatsii* [Mechanics of space flight. Optimization problems]. M: Nauka. 1975. 704P.
9. Taylor B.D. & Emrich W.J. (2016) Nuclear Thermal Propulsion: Engines and Missions 52nd AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, Salt Lake City, UT, July 25-27, 2016, AIAA Paper, 2016-4885.- 15P.
10. Kharytonov O.M. & Kiforenko B.M. (2011) Finite-thrust optimization of interplanetary transfers of space vehicle with bimodal nuclear thermal propulsion. *Acta Astronautica*, 69 (2011), pp. 223-233.
11. Kharitonov, A.M. (2013) Application of the Modified Method of Transporting Trajectory to Optimize Interplanetary Transfers Combining Low and High Thrust. *International Applied Mechanics*, Vol. 49, No 5, 2013, pp. 597-607.
12. Kiforenko, B.N. (2017) *Singulyarnye optimalnye upravleniya v mehanike kosmicheskogo poliota* [Singular optimal controls in the mechanics of space flight]. Kyiv Naukova dumka 177P.
13. Landau, D.F. & Longuski J.M. (2006), Trajectories for Human Missions to Mars, Part 1: Impulsive Trajectories, *Journal of Spacecrafts and Rockets*. Vol. 43, No. 5, pp/1036-1042, DOI: 10.2514/1.21954.
14. Landau, D.F. & Longuski J.M. (2006), Trajectories for Human Missions to Mars, Part 2: Low Thrust Transfers, *Journal of Spacecrafts and Rockets*. Vol. 43, No. 5, pp. 1043-1047, DOI: 10.2514/1.21954.
15. Kharitonov, A.M. (2005) K problem optimizatsii orbitalnyh manevrov kosmicheskiv aparatov s yadernymi raketnymi dvigatelyami [To the problem of optimization of orbital maneuvers of spacecrafts with nuclear rocket engines] *Problemy upravleniya i informatiki – Problems of control and computer science*, 2005, №5.-pp.120-135.

РЕФЕРАТ

Харитонов Л.В. Математичне моделювання і оптимізація маневрів космічних апаратів з ядерними джерелами потужності / Л.В. Харитонов, О.Г. Куценко, О.М. Харитонов, О.А. Шумейко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

Об'єкт дослідження – рушійні системи космічних апаратів.

Мета роботи – опис математичних моделей та підходів до оптимізації робочих параметрів космічних рушійних систем на основі ядерного джерела енергії.

Метод дослідження – математичне моделювання, теорія оптимального керування, варіаційне числення.

В статті розглянуті підходи до математичного моделювання перспективних космічних рушійних систем на основі ядерних джерел енергії, призначених для здійснення пілотованих міжпланетних експедицій. З огляду на проблеми психологічного характеру, вплив космічного опромінювання, ефекти нульової гравітації, реалізація пілотованих експедицій висуває жорсткі вимоги, з одного боку, до часу виконання маневру, а з другого до його ефективності, з точки зору маси корисного навантаження. Показано, що таким вимогам можуть задовольнити дворежимні рушійні системи, здатні працювати в режимах великої та малої тяги з використанням спільного ядерного джерела енергії. Маневри великої тяги формують планетоцентричні ділянки траєкторії, маневр малої тяги реалізується на геліоцентричній ділянці. Розглянуті математичні моделі ядерних ракетних двигунів великої тяги та двигунів малої, як об'єктів керування. Показано, що ядерні ракетні двигуни великої тяги, як об'єкти керування, відносяться до окремого класу двигунів обмеженої

швидкості витікання і обмеженої потужності. Для цього класу визначені функції керування і обмеження, накладені на них.

Загальна задача оптимізації міжпланетного перельоту при комбінуванні великої та малої тяги сформульована як задача оптимізації розподілу затрат характеристичної швидкості між маневрами з великою та малою тягою. При цьому, урахування обмеженості тяги на ділянці великої тяги веде до постановки задачі оптимізації, як задачі оптимального керування динамічною системою з розривами, рух якої відбувається в двох фазових просторах. Для спрощення можливе застосування імпульсної апроксимації ділянок великої тяги. Для моделювання руху з малою тягою застосовується модель ідеального двигуна обмеженої потужності, застосування якої дозволяє розділити динамічну та параметричну частини задачі оптимізації. Показано, що для отримання аналітичного розв'язку динамічної частини задачі можна застосувати метод транспортуючої траєкторії. Реалізація даного підходу разом з застосування імпульсної апроксимації ділянок великої тяги зводить загальну задачу оптимального керування до задачі мінімізації функції кількох змінних. При цьому незалежними змінними, що визначаються при її розв'язанні, є компоненти векторів швидкостей космічного апарату на сферах впливу планет старту і призначення.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, РУШІЙНА СИСТЕМА ВЕЛИКОЇ ТЯГИ, РУШІЙНА СИСТЕМА МАЛОЇ ТЯГИ, МІЖПЛАНЕТНИЙ ПЕРЕЛІТ, ОПТИМІЗАЦІЯ.

ABSTRACT

Kharytonova L.V., Kutsenko O.G., Kharytonov O.M., Shumeyko O.A. mathematical modelling and optimization of maneuvers of spacecraft with nuclear power sources. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The paper focuses on the propulsion systems of space vehicles.

The purpose of the work is to describe mathematical models and approaches to optimizing the operating parameters of space propulsion systems based on a nuclear energy source.

The research method is mathematical modeling, optimal control theory, variational calculus.

The article discusses approaches to mathematical modeling of promising space propulsion systems based on nuclear energy sources intended for manned interplanetary expeditions. Due to psychological problems, the influence of cosmic radiation, the effects of zero gravity, the implementation of manned expeditions imposes strict requirements, on the one hand, on the time of the maneuver, and on the other hand, on its efficiency, from the point of view of the mass of the payload. It is shown that such requirements can be satisfied by bimodal propulsion systems capable of operating in high and low thrust modes using a common nuclear energy source. High-thrust maneuvers form planet-centric arcs of the trajectory, low-thrust maneuvers are implemented on the heliocentric arc. Mathematical models of high-thrust nuclear rocket engines and low-thrust engines as control objects are considered. It is shown that high-thrust nuclear rocket engines, as control objects, belong to a separate class of engines with limited specific impulse and limited power. Control functions and restrictions imposed on them are defined for this class. The general problem of interplanetary flight optimization with a combination of high and low thrust is formulated as a problem of optimizing the distribution of the Δv budget between the maneuvers with high and low thrust. At the same time, taking into account the finite-thrust limitation on the high thrust maneuver leads to the formulation of an optimization problem, as a problem of optimal control. According to the approach [12], the general optimization problem for interplanetary transfer is formulated as an optimal-control problem for a dynamic system with a discontinuous right-hand side and phase space change. For simplification, it is possible to use the impulse approximation of high thrust active arcs. A model of an ideal engine of limited power is used to simulate low-thrust motion, the use of which allows to separate the dynamic and parametric parts of the optimization problem. It is shown that the method of the transporting trajectory can be used to obtain an analytical solution of the dynamic part of the problem. The implementation of this approach together with the application of impulse approximation of high thrust active arcs reduces the general problem of optimal control to the problem of minimizing a function of several variables. For this problem the independent variables are the components of the spacecraft's velocity vectors on the spheres of influence of the starting and destination planets.

KEYWORDS: MATHEMATICAL MODEL, HIGH THRUST PROPULSION SYSTEM, LOW THRUST PROPULSION SYSTEM, INTERPLANETARY TRANSFER, OPTIMIZATION.

АВТОРИ:

Харитоновна Леся Василівна, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: kharytonova-lv@ukr.net, тел. +380508001412, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 347а, orcid.org/0000-0002-0108-6702

Куценко Олексій Григорович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, доцент кафедри комп'ютерних методів механіки і процесів керування, e-mail: alex_kutz@ukr.net, тел.+380973775563, Україна, 03127, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 4е, к. 402, orcid.org/0000-0001-5089-0409

Харитонов Олексій Михайлович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, доцент кафедри комп'ютерних методів механіки і процесів керування, e-mail: kharytonov@knu.ua, тел.+380504419162, Україна, 03127, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 4е, к.402, orcid.org/0000-0002-6529-7736

Шумейко Олексій Андрійович, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: shumeiko.ntu.edu.ua@gmail.com, тел. +380664455347, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 347а, orcid.org/0000-0003-2897-060X

AUTHOR:

Kharytonova Lesia V., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor, National Transport University, associate professor of The Department of Informative Systems and Technologies, e-mail: kharytonova-lv@ukr.net, tel. +380508001412, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka str. 1, of. 347a, orcid.org/0000-0002-0108-6702

Kutsenko Oleksii G., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor, Taras Shevchenko National University of Kyiv, associate professor of professor of the department of computer methods of mechanics and control processes, e-mail: alex_kutz@ukr.net, tel.+380973775563, Ukraine, 03127, Kyiv, Ave. Academician Glushkov, 4e, of. 402, orcid.org/0000-0001-5089-0409

Kharytonov Oleksii M. Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor, Taras Shevchenko National University of Kyiv, associate professor of the department of computer methods of mechanics and control processes, e-mail: kharytonov@knu.ua, tel.+380504419162, Ukraine, 03127, Kyiv, Ave. Academician Glushkov, 4e, of. 402, orcid.org/0000-0002-6529-7736

Shumeiko Oleksiy A., National Transport University, associate professor of The Department of Informative Systems and Technologies, e-mail: shumeiko.ntu.edu.ua@gmail.com, tel. +380664455347, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka str. 1, of. 347a, orcid.org/0000-0003-2897-060X

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мельниченко О.І., кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства Національного транспортного університету, Київ, Україна

Лимарченко О.С., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних методів механіки і процесів керування механіко-математичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

REVIEWER:

Melnichenko O.I., Candidate of Technical Sciences, Professor, head of the Department of production, repair and materials science, National Transport University, Kyiv, Ukraine

Lymarchenko O.S., Doctor of Technical Sciences, Professor, head of the Department of computer methods of mechanics and control processes, faculty of mechanics and mathematics, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

ВИБІР ТЯГОВОЇ БАТАРЕЇ ДЛЯ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТУ

Харламов С.А., Національний транспортний університет, Київ, Україна,
stanyslav.kharlamov@gmail.com, orcid.org/0009-0005-2358-850X

TRACTION BATTERY CHOICE FO ELECTRIC TRANSPORT

Kharlamov S.A., National Transport University (Kyiv), Ukraine, stanyslav.kharlamov@gmail.com,
orcid.org/orcid.org/0009-0005-2358-850X

Постановка проблеми. Нинішня енергетична економіка, заснована на викопному паливі, знаходиться під серйозною загрозою через ряд факторів, включаючи постійне зростання попиту на нафту, виснаження невідновлюваних ресурсів і залежність від політично нестабільних нафтовидобувних країн. Інший тривожний аспект сучасної економіки енергії, яка використовує викопне паливо, пов'язаний з викидами CO₂, які збільшуються з постійною швидкістю, що призводить до підвищення глобальної температури з пов'язаною серією різких змін клімату. Терміновість енергетичного оновлення вимагає використання чистих джерел енергії на набагато вищому рівні, ніж той, який зараз діє.

Проблему CO₂ та, як наслідок, забруднення повітря у великих містах можна вирішити лише шляхом заміни автомобілів з двигуном внутрішнього згоряння (ДВЗ) транспортними засобами з нульовим рівнем викидів, тобто електромобілями (EV) або транспортними засобами з контрольованими викидами, тобто повністю гібридні електричні транспортні засоби (HEV) та/або електричні транспортні засоби (PHEV).

Для вирішення проблем щодо заборони використання автобусів з дизельними та бензиновими двигунами внутрішнього згоряння на маршрутах громадського транспорту з 2036 року та подальшого забезпечення розвитку електромобілів, 24.02.2023 року Верховна Рада України прийняла Закон № 8172 «Про деякі питання використання транспортних засобів, оснащених електричними двигунами та внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо подолання паливної залежності і розвитку електрозарядної інфраструктури та електричних транспортних засобів».[1].

У всьому світі зростають інвестиції в використання відновлюваних джерел енергії, приділяючи особливу увагу вітровим і сонячним електростанціям (БЕЕ), які є найбільш зрілими технологіями. Переривчастість цих ресурсів вимагає вискоєфективних систем зберігання енергії. Електрохімічні системи, такі як батареї та суперконденсатори, які можуть ефективно накопичувати та доставляти енергію за потребою в автономних електростанціях, а також забезпечувати якість електроенергії та вирівнювання навантаження електричної мережі в інтегрованих системах, відіграють вирішальну роль у цьому. Дійсно, переваги використання електрохімічних систем зберігання були продемонстровані як для вітрових, так і для фотоелектричних REP[2]. Ефективність батарей у REP безпосередньо пов'язана з їх енергоефективністю та терміном служби. Насправді, завдяки високому значенню енергоефективності літєві батареї забезпечуватимуть коефіцієнт повернення енергії, вищий, ніж той, що забезпечується звичайними батареями, наприклад, свинцево-кислотні акумулятори [3]. На додаток до REP, літій-іонні батареї також розглядаються як джерела енергії вибору для сталого транспорту, оскільки вони вважаються найкращими варіантами, які можуть ефективно гарантувати прогресивне поширення HEV, PHEV та BEV на високих рівнях [4]. У HEV синергетичне поєднання ДВС з електрохімічною батареєю забезпечує високе використання палива з доведеними перевагами для економії палива, а отже, для контролю викидів, а також сприяє їздовим характеристикам, подібним, якщо не кращим, до характеристик автомобілів, що працюють на чистому бензині. Однак проблеми різного характеру все ще перешкоджають широкомасштабному розповсюдженню літій-іонних батарей для застосувань REP та EV. Кілька країн, включаючи Японію, Сполучені Штати та Європу, виділяють значні інвестиції для підтримки науково-дослідних програм,

спрямованих на вирішення цих проблем і, таким чином, сприяють розробці вдосконалених, ефективних літєвих батарей [5].

Перешкоди різного характеру все ще заважають цьому важливому кроку. Вони включають безпеку, термін служби, вартість, широкий діапазон робочих температур і доступність матеріалів.

З іншого боку, внутрішня перевага літєвої технології та її використання на цих ключових ринках, що розвиваються, спонукали світові зусилля вирішити ці проблеми.

Масштабування хімічного складу звичайних літій-іонних акумуляторів з огляду на їх застосування для екологічних транспортних засобів або для заводів, що використовують відновлювані джерела енергії, є проблематичним.

Аналіз відомих публікацій. Ранні роботи з LIB більше зосереджені на фізиці твердого тіла, тоді як ближче до кінця 20-го століття дослідники почали більше зосереджуватися на морфологічних аспектах (покриття поверхні, пористість, розмір і форма) електродних матеріалів.

Питанням розробки потужних, довговічних та безпечних літій-іонних акумуляторів присвячено багато робіт закордонних науковців, а саме: «30 років літій-іонним акумуляторам», Matthew Li, Jun Lu, Zhongwei Chen, Khalil Amine, 14.06.2018 р., «Літєві батареї: від ранніх стадій до майбутнього», Bruno Scrosati, K. M. Abraham, Walter Van Schalkwijk, Jusef Hassoun 20.06. 2013 р., «Літій-СО з тривалим терміном служби2 Батарея з вуглецевою нейтральністю», Alireza Ahmadi, Robert E. Warburton, Leila Majidi, Mohammad Asadi, Amir Chamaani, Jacob R. Jokisaari 08.22.2019 р.

У 2019 році лауреатами Нобелівської премії з хімії стали Джон Гуденаф, Стенлі Вітінгем та Акіра Йосіно, які винайшли літій-іонні акумулятори. [6]

Українські вчені також займалися вивченням енергетичної ємності тягових акумуляторних батарей, а саме: Дембіцький Валерій «Дослідження енергетичних показників транспортних засобів з електричним приводом» Академія технічних наук України, Андрусенко С.І. «Математична модель енергетичної ємності тягової акумуляторної батареї», Абрамов Д.В., Тарасов Ю.В., Ефимчук В.М., НТУ«ХП» «Автомобілебудування» та ін.

Метою даного дослідження є визначити найбільш перспективні аспекти для досягнення важливого рівня розвитку технології літєвих батарей. Проаналізувати переваги та недоліки типових матеріалів LIB, запропонувати оптимальні властивості матеріалу та рівня електродів для швидкої зарядки.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Літєві батареї є одним із великих успіхів сучасної електрохімії. Безсумнівно, вони відіграють відому роль на ринку споживчої електроніки без ризику заміни будь-яким іншим суперником, і завдяки інтелектуальній модифікації компонентів електрода та електроліту вони незабаром домінуватимуть на ринках електричного автомобільного транспорту та зберігання відновлюваної енергії.

Літєві батареї сьогодні є джерелом живлення для ринку портативної електроніки і вважаються найперспективнішою системою живлення для стійкого електричного автомобільного транспорту через їх унікальний енергетичний вміст.

Дійсно, літій-іонні акумулятори є найперспективнішими для використання як тягові батареї для електротранспорту. Визначимо їх переваги та недоліки:

Переваги: найбільша щільність енергії з усіх різновидів акумуляторів – як об'ємна, так і вагова, напруга живлення на елементі – 3,6В, що в 3 рази вище, ніж у NiMH і NiCd акумуляторів і майже в 2 рази вище, ніж для свинцево-кислотних акумуляторів, швидкий процес заряду батарей – до 90% ємності за 30-40 хвилин, високий показник ресурсу – понад 1000 циклів розряду/заряду, низький показник саморозряду – до 5% на місяць, дружність навколишнього середовища – можуть утилізуватися без попередньої переробки.

Недоліки: можливість вибуху при механічному пошкодженні або перезарядженні акумулятора, досить швидке старіння акумулятора – більшість акумуляторів різко знижують свої характеристики при зберіганні або використанні більше 5 років, висока вартість.

За останні 30 років було досягнуто значного комерційного та наукового прогресу в технологіях акумуляторів на основі літію. Від перших ітерацій літій-металевих анодів до поточних комерційних літій-іонних акумуляторів (LIB), історія літій-батарей сповнена проривів і кроків відстеження.

Науковці Дослідницького інституту Honda спільно з вченими з Каліфорнійського технологічного інституту та Лабораторії реактивного руху NASA розробили новий тип електроліту, який дозволить створювати батареї із високою щільністю зберігання заряду та низькою робочою температурою. Результати дослідження опубліковані у журналі Science. [7]

Головний науковий співробітник Інституту досліджень Honda та співавтор роботи Крістофер Брукс, визначили, що фторид-іонні акумулятори (FIB) пропонують новий хімічний склад із щільністю зберігання заряду вдесятеро більше, ніж у нинішніх літій-іонних батареях. Вони не схильні до перегріву, а видобуток сировини для таких батарей не такий руйнівний для навколишнього середовища, як екстракція літію або кобальту. [7] Батареї з твердим електролітом, що проводить іони фтору, існують давно, але вони працюють тільки за високої температури і, по суті, є проміжним етапом розвитку технології. Рідкий електроліт, розроблений Honda, дозволить робити більш безпечні та екологічні акумулятори. У своєму нинішньому розвитку твердотільних фторид-іонних акумуляторів для нормальної роботи потрібна висока температура – понад 150 градусів за Цельсієм.

Команді дослідників вдалося знайти метод отримання фторид-іонного електрохімічного осередку, здатного працювати при значно нижчій температурі. Це стало можливим завдяки створенню хімічно стабільного рідкого електроліту з високою провідністю іонів фтору і широкою робочою напругою. Об'єднавши його з композитним катодом, що використовує осердя з наноструктурою з міді, лантану та фтору, дослідники змогли запустити оборотний електрохімічний цикл при кімнатній температурі. У Honda розраховують, що в майбутньому батареї, створені на основі цього дослідження, можна буде використовуватися в автомобілях. [7]

Більше енергії за більш короткий час за менших витрат і підвищеної безпеки – дослідження батарей завжди прагнули покращити. Значного прогресу було досягнуто в області літій-іонних батарей (LIB) з моменту їх комерціалізації в 1991 році. [8, 9] LIB накопичують більше енергії, що означає, що їхня питома енергія може бути значно збільшена альтернативними катодними матеріалами, досягаючи, наприклад, 421 Вт/кг.–1 використання $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_2$ (NCM) порівняно з 279 Вт/кг.–1 оригінального LiCoO_2 (LCO).[10]

Крім того, використання твердотільних батарей (SSB), що складаються виключно з твердих компонентів, може дозволити застосовувати літій-металеві аноди (LMA), які можуть запропонувати більш високу густину енергії в порівнянні з батареями з графітовими анодами.[11]

Дійсно, SSB можуть також покращувати механічну стабільність осередку, [12] що робить його більш безпечним, особливо при використанні гнучких полімерних електролітів (ПЕ). Тим не менш, основною проблемою для широкого впровадження електромобілів є швидкість зарядки батарей, тобто LIB займають занадто багато часу для заправки в порівнянні з традиційними транспортними засобами з двигуном внутрішнього згорання. Виходячи з цього досвіду заправки (500-800 км) дальності на заправці всього за п'ять хвилин, очікують подібної практики від електромобілів.[13]

Отже, зарядка до 80% стану заряду (SOC) протягом 15 хвилин є метою Консорціуму передових батарей США (USABC).[14] Для досягнення можливостей швидкої зарядки щільність потужності PV акумуляторних батарей, що використовуються, повинно бути збільшено, що відбувається за рахунок зниження щільності енергії ВтV. Тому завжди є компроміси між широким діапазоном та швидкою зарядкою. Кінетичні моделі акумуляторних елементів показують, що надмірні можливості існують у кожній частині елемента батареї. Від перенесення іонів літію та електронів в електродах, перенесення заряду через межі фаз для транспортування через електроліт, поляризаційні ефекти, що обмежують швидкість зарядки, призводять до покриття металу Li, обмеженого використання активного матеріалу та підвищення температури.[15] Високовольтні зарядні пристрої постійного струму можуть забезпечувати пікову потужність до 350 кВт.[16, 17]. Porsche Taycan з акумулятором потужністю 93,4 кВт-год забезпечує максимальну потужність заряджання 270 кВт, тоді як середній показник під час заряджання становить 187 кВт. [18].

Насправді, підзарядка від 5% до 80% SOC займає 23 хв. Для порівняння, Tesla Model 3 з батареєю потужністю 75 кВт-год заряджається до 80% SOC за 27 хвилин за допомогою власного нагнітача Tesla, що забезпечує пікову потужність 250 кВт у третьому поколінні.

Отже, середня потужність зарядки становить близько 130 кВт, у своїй максимальне значення досягається лише протягом п'яти хвилин протягом початкових 20%.[19]

Звичайно, великі акумуляторні батареї заряджатимуться довше при заданій потужності зарядки. Значить, зарядний пристрій має бути покращено, а також для далеких транспортних засобів з великими акумуляторними батареями. [20]

Ці сучасні параметри, як і раніше, значно нижчі від того, що потрібно для досягнення мети USABC для екстремально швидкої зарядки (XFC): підзарядка протягом 15 хвилин.[14]

Нижче ми докладніше розглянемо матеріали, які застосовуються для досягнення цих значень, щоб визначити кроки з обмеження швидкості.

Розглядаючи приклад Tesla, $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Al}_{0.1}\text{O}_2$ використовуються катода (NCA)[21] у поєднанні з графітовими анодами. Ми припускаємо акумуляторну батарею потужністю 100 кВт-год, що забезпечує дальність руху 500 км. З об'ємом 400 л на системному рівні і 200 л на рівні комірки цей пакет досягає щільності енергії $500 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{л}$ на клітинному рівні. Використовуючи середню напругу 3,7, щільність заряду QV таким чином, становить $135 \text{ А} \cdot \text{ч} / \text{л}$.

Якщо припустити товщину електрода 200 мкм (нехтуючи струмознімачами і сепаратором), вийде QA виникає як $2,7 \text{ мА} \cdot \text{с} / \text{см}^2$, таким чином, приблизно $3 \text{ мА} \cdot \text{с} / \text{см}^2$.

Таким чином, необхідна щільність струму для заряджання становить $3 \text{ мА} \cdot \text{с} / \text{см}^2$ при 1C або $12 \text{ мА} \cdot \text{с} / \text{см}^2$ (4C), який буде потрібно для досягнення мети XFC в 15 хвилин зарядки.

У зв'язку з дослідженнями швидкої зарядки кілька ключових етапів були визначені як такі, що обмежують швидкість: а) дифузія іонів літію в активному матеріалі анода; б) дифузія іонів літію в активному матеріалі катода (CAM); в) літій-іонний транспорт в електролітній фазі твердої та д) кінетика переносу заряду на межах фаз. У цьому випадку ми визначаємо перенесення заряду як весь процес перенесення між електролітом і електродом, таким чином, він включає дезінсервацію у разі рідких електролітів, фактичне перенесення заряду через кордон розділу електроліт-електрод і, для наявності інтерфазу, також перенесення іонів через цю інтерфазу, що йде разом з двома процесами перенесення заряду через електроліт-інтерфазу та міжфазно-електродний кордон, відповідно.

Вплив літій-іонного транспорту в електроліті досить мало всередині сепаратора, але всередині пористих електродів воно відіграє важливу роль у швидкій зарядній здатності акумуляторного елемента.

З погляду матеріалів, покриття літію на графітовому аноді та дифузія літію в CAM в першу чергу обмежують швидкість. По суті, повільна дифузія літію в рідкому електроліті та активних матеріалах викликає справжні стадії обмеження швидкості. Морфологія, форма та орієнтація частинок активного матеріалу можуть покращити граничний вплив дифузії літію у твердому тілі, що пояснює, наприклад, недавню тенденцію до монокристалічного CAM.[22]

На рівні електродів важливе значення мають розподіл активних частинок за розміром, звивистість і пористість, оскільки перенесення літію на основі дифузії в масштабі електрода сильно залежить від цих параметрів в анодах і меншою мірою в катодах.[16-22] літій-іонна рухливість багато в чому залежить від SOC, [28-32] оскільки кристалічна структура і послідовність дифузійних стрибків зазвичай змінюються із вмістом літію. Хоча висока іонна провідність на матеріальному рівні не обов'язково призводить до швидкозаряджуваного електрода, якщо, наприклад, звивистість висока. Переходячи далі за шкалою розмірів на клітинний рівень, актуальність інженерних аспектів, наприклад, управління тепловими режимами та прикладного протоколу зарядки, має пріоритет над фізико-хімічними властивостями задіяних матеріалів.

$\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ може запропонувати значну перевагу у безпеці порівняно з графітовим анодом. Багато дослідників намагаються розробити високу потужність, тривалий термін служби та надзвичайно безпечні літій-іонні хімікати з $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ аноди для гібридних електромобілів (HEV). Літій- CO_2 батареї є привабливими системами зберігання енергії для задоволення потреб майбутніх великомасштабних застосувань, таких як електромобілі, через їх високу питому щільність енергії.

Тим не менш, серйозна проблема з $\text{Li}-\text{CO}_2$ батареї повинні досягти оборотного утворення та розкладання Li_2CO_3 та продукти викиду вуглецю. Повністю оборотний $\text{Li}-\text{CO}_2$ батарея розроблена із загальною вуглецевою нейтральністю з використанням MoS_2 нанопластів як катодного каталізатора у поєднанні з іонним рідким/диметилсульфоксидним електролітом. Ця комбінація матеріалів виробляє багатокомпонентний композит ($\text{Li}_2\text{CO}_3/\text{C}$) продукт. Батарея показує чудовий тривалий термін

служби 500 для фіксованого 500 мАч g–1 продуктивність на цикл, що набагато перевищує кращу стійкість до циклу, зареєстровану в Li-CO₂ батареї.[32]

Висновки. Літій-іонні акумулятори є найперспективнішими для використання як тягові батареї для електротранспорту. Переваги: найбільша щільність енергії з усіх різновидів акумуляторів – як об'ємна, так і вагова, напруга живлення на елементі – 3,6В, що в 3 рази вище, ніж у NiMH і NiCd акумуляторів і майже в 2 рази вище, ніж для свинцево-кислотних акумуляторів, швидкий процес заряду батарей – до 90% ємності за 30-40 хвилин, високий показник ресурсу – понад 1000 циклів розряду/заряду, низький показник саморозряду – до 5% на місяць, дружність навколишнього середовища – можуть утилізуватися без попередньої переробки. Швидка зарядка вважається ключовою вимогою широкого економічного успіху електромобілів.

Сучасні літій-іонні акумулятори (LIB) забезпечують високу щільність енергії, що забезпечує достатній запас ходу, але для заряджання потрібно значно більше часу, ніж у традиційних транспортних засобів. Численні властивості анодних, катодних і електролітних матеріалів, що застосовуються, впливають на швидку зарядку акумуляторного елемента.

Розглянуто фізико-хімічні основи різних комбінацій матеріалів, що визначають транспорт літію всередині електродів як найважливіші кроки обмеження швидкості швидкої зарядки. Дифузія літію в активних матеріалах за своєю природою уповільнює процес заряджання та викликає високі надлишкові можливості.

Крім того, поляризація концентрації повільним перенесенням літій-іонів у фазі електроліту в пористих електродах також обмежує швидкість заряджання. Обидва кінетичні ефекти відповідальні за покриття літію, що спостерігається на графітових анодах.

Проаналізовано переваги та недоліки типових матеріалів LIB, в результаті чого було запропоновано оптимальні властивості матеріалу та рівня електродів для швидкої зарядки.

Перспективи подальшого дослідження. В статті зазначено, що дослідження технологій зберігання енергії для транспортних засобів, що мають тягову установку з електричним двигуном потребують подальших досліджень.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/157-2019-п#Text>
2. Matthew Li, Jun Lu, Zhongwei Chen, Khalil Amine, *30 Years of Lithium-Ion Batteries*, 14.06.2018 <https://doi.org/10.1002/adma.201800561>
3. Bruno Scrosati, K. M. Abraham, *Walter Van Schalkwijk, Jusef Hassoun, Lithium Batteries: From Early Stages to the Future*, 20.06.2013 <https://doi.org/10.1002/9781118615515.ch2>
4. *Li₄Ti₅O₁₂ for powerful, long-lasting and safe Li-ion batteries* Zonghai Chen, I. Belharouac, Yang-Kook Sun, Khalil Amin Book editor(s): Bruno Scrosati, K. M. Abraham, Walter Van Schalkwijk, Youssef Hassoun First published: 20 June 2013
5. *Lithium-CO with a long service life² Carbon neutral battery*. Alireza Ahmadiparidari, Robert E. Warburton, Leila Majidi, Mohammad Asadi, Amir Chamaani, Jacob R. Jokisaari 08/22/2019
6. https://24tv.ua/tech/istoriya_stvorenniya_litii_ionnih_batarey_chim_troye_naukovtsiv_zasluzhili_nobelivsku_premiyu_z_himiyi_n1217263
7. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aat7070>
8. a) J. M. Tarascon, M. Armand, *Nature* 2001, 414, 359; b) A. Yoshino, K. Sanekika, T. Nakajima (Asahi Kasei Corp), US 4668595, 1986.
9. J. B. Goodenough, K.-S. Park, *J. Am. Chem. Soc.* 2013, 135, 1167.
10. A. Eftekhari, *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2019, 7, 3684.
11. a) J. Janek, W. G. Zeier, *Nat. Energy* 2016, 1, 16141; b) A. Manthiram, X. Yu, S. Wang, *Nat. Rev. Mater.* 2017, 2, 16103.
12. H. J. Gores, J. Barthel, S. Zugmann, D. Moosbauer, M. Amereller, R. Hartl, A. Maurer, in *Handbook of Battery Materials* (Eds: C. Daniel, J. O. Besenhard), Wiley-VCH, Weinheim, Germany 2011, pp. 525–626.
13. A. Adam, J. Wandt, E. Knobbe, G. Bauer, A. Kwade, *J. Electrochem. Soc.* 2020, 167, 130503.

- 14.A. Tomaszewska, Z. Chu, X. Feng, S. O’Kane, X. Liu, J. Chen, C. Ji, E. Endler, R. Li, L. Liu, Y. Li, S. Zheng, S. Vetterlein, M. Gao, J. Du, M. Parkes, M. Ouyang, M. Marinescu, G. Offer, B. Wu, *eTransportation* 2019, 1, 100011.
- 15.Y. Liu, Y. Zhu, Y. Cui, *Nat. Energy* 2019, 4, 540.
- 16.P. Entwistle, B. Schaper, *Porsche Taycans use IONITY High-Power Charging Stations on International Media Ride and Drive Event*, 2019, http://ionity.eu/_Resources/Persistent/cffc5959e6c98afcbca7d0abe575502911a3b26c/20190911_IONITY_Porsche_Taycan_EN.pdf (accessed: March 2021).
- 17.L. Ulrich, *IEEE Spectrum* 2020, 57, 30.
- 18.C. Kim, A. Lennon, World Premiere of the Porsche Taycan: The Sports Car for a Sustainable Future. PR No. 73/19, 2019, http://press.porsche.com/prod/presse_pag/PressResources.nsf/Content?ReadForm&languageversionid=1021391 (accessed: March 2021).
- 19.a) M. Holland, *Supercharger V3. Shocking Power & Smart Strategy By Tesla* (Charts!), cleantechnica.com/2019/03/08/superchargerv3-shocking-power-smart-strategy-by-tesla-charts/ (accessed: November 2020); b) M. Holland, *Tesla Model 3 On SuperCharger V3. Adds 50% Range In Under 12 Minutes! (Charts!)*, cleantechnica.com/2019/06/24/tesla-model-3-on-supercharger-v3-adds-50-range-in-under-12-minutes-charts/ (accessed: November 2020).
- 20.S. Ahmed, I. Bloom, A. N. Jansen, T. Tanim, E. J. Dufek, A. Pesaran, A. Burnham, R. B. Carlson, F. Dias, K. Hardy, M. Keyser, C. Kreuzer, A. Markel, A. Meintz, C. Michelbacher, M. Mohanpurkar, P. A. Nelson, D. C. Robertson, D. Scofield, M. Shirk, T. Stephens, R. Vijayagopal, J. Zhang, *J. Power Sources* 2017, 367, 250.
- 21.K. Du, H. Xie, G. Hu, Z. Peng, Y. Cao, F. Yu, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2016, 8, 17713.
- 22.a) J. Li, A. R. Cameron, H. Li, S. Glazier, D. Xiong, M. Chatzidakis, J. Allen, G. A. Botton, J. R. Dahn, *J. Electrochem. Soc.* 2017, 164, A1534; b) J. E. Harlow, X. Ma, J. Li, E. Logan, Y. Liu, N. Zhang, L. Ma, S. L. Glazier, M. M. E. Cormier, M. Genovese, S. Buteau, A. Cameron, J. E. Stark, J. R. Dahn, *J. Electrochem. Soc.* 2019, 166, A3031; c) Y. Liu, J. Harlow, J. Dahn, *J. Electrochem. Soc.* 2020, 167, 020512.
- 23.J. Landesfeind, J. Hattendorff, A. Ehrl, W. A. Wall, H. A. Gasteiger, *J. Electrochem. Soc.* 2016, 163, A1373.
- 24.S. Malifarge, B. Delobel, C. Delacourt, *J. Electrochem. Soc.* 2017, 164, E3329. [18] I. V. Thorat, D. E. Stephenson, N. A. Zacharias, K. Zaghib, J. N. Harb, D. R. Wheeler, *J. Power Sources* 2009, 188, 592.
- 25.A. M. Colclasure, A. R. Dunlop, S. E. Trask, B. J. Polzin, A. N. Jansen, K. Smith, *J. Electrochem. Soc.* 2019, 166, A1412.
- 26.H. Zheng, G. Liu, X. Song, P. Ridgway, S. Xun, V. S. Battaglia, *J. Power Sources* 2010, 157, A1060.
- 27.H. Zheng, L. Tan, G. Liu, X. Song, V. S. Battaglia, *J. Power Sources* 2012, 208, 52.
- 28.J. Kasnatscheew, U. Rodehorst, B. Streipert, S. Wiemers-Meyer, R. Jakelski, R. Wagner, I. C. Laskovic, M. Winter, *J. Electrochem. Soc.* 2016, 163, A2943.
- 29.M. S. Whittingham, *Chem. Rev.* 2004, 104, 4271.
- 30.B. L. Ellis, K. T. Lee, L. F. Nazar, *Chem. Mater.* 2010, 22, 691.
- 31.J. K. Ngala, N. A. Chernova, M. Ma, M. Mamak, P. Y. Zavalij, M. S. Whittingham, *J. Mater. Chem.* 2004, 14, 214.
- 32.J.-M. Kim, H.-T. Chung, *Electrochim. Acta* 2004, 49, 937

REFERENCES

1. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/157-2019-п#Text>
2. Matthew Li, Jun Lu, Zhongwei Chen, Khalil Amine, *30 Years of Lithium-Ion Batteries*, 14.06.2018 <https://doi.org/10.1002/adma.201800561>
3. Bruno Scrosati, K. M. Abraham, *Walter Van Schalkwijk, Jusef Hassoun, Lithium Batteries: From Early Stages to the Future*, 20.06.2013 <https://doi.org/10.1002/9781118615515.ch2>

4. *Li4Ti5O12 for powerful, long-lasting and safe Li-ion batteries* Zonghai Chen, I. Belharouac, Yang-Kook Sun, Khalil Amin Book editor(s): Bruno Scrosati, K. M. Abraham, Walter Van Schalkwijk, Youssef Hassoun First published: 20 June 2013
5. *Lithium-CO with a long service life2 Carbon neutral battery.* Alireza Ahmadiiparidari, Robert E. Warburton, Leila Majidi, Mohammad Asadi, Amir Chamaani, Jacob R. Jokisaari 08/22/2019
6. https://24tv.ua/tech/istoriya_stvorenniya_litii_ionnih_batarey_chim_troye_naukovtsiv_zasluzhili_nobelivsku_premiyu_z_himiyi_n1217263
7. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aat7070>
8. a) J. M. Tarascon, M. Armand, Nature 2001, 414, 359; b) A. Yoshino, K. Sanekika, T. Nakajima (Asahi Kasei Corp), US 4668595, 1986.
9. J. B. Goodenough, K.-S. Park, J. Am. Chem. Soc. 2013, 135, 1167.
10. A. Eftekhari, ACS Sustainable Chem. Eng. 2019, 7, 3684.
11. a) J. Janek, W. G. Zeier, Nat. Energy 2016, 1, 16141; b) A. Manthiram, X. Yu, S. Wang, Nat. Rev. Mater. 2017, 2, 16103.
12. H. J. Gores, J. Barthel, S. Zugmann, D. Moosbauer, M. Amereller, R. Hartl, A. Maurer, in Handbook of Battery Materials (Eds: C. Daniel, J. O. Besenhard), Wiley-VCH, Weinheim, Germany 2011, pp. 525–626.
13. A. Adam, J. Wandt, E. Knobbe, G. Bauer, A. Kwade, J. Electrochem. Soc. 2020, 167, 130503.
14. A. Tomaszewska, Z. Chu, X. Feng, S. O’Kane, X. Liu, J. Chen, C. Ji, E. Endler, R. Li, L. Liu, Y. Li, S. Zheng, S. Vetterlein, M. Gao, J. Du, M. Parkes, M. Ouyang, M. Marinescu, G. Offer, B. Wu, eTransportation 2019, 1, 100011.
15. Y. Liu, Y. Zhu, Y. Cui, Nat. Energy 2019, 4, 540.
16. P. Entwistle, B. Schaper, *Porsche Taycans use IONITY High-Power Charging Stations on International Media Ride and Drive Event*, 2019, http://ionity.eu/_Resources/Persistent/cffc5959e6c98afcbca7d0abe575502911a3b26c/20190911_IONITY_Porsche_Taycan_EN.pdf (accessed: March 2021).
17. L. Ulrich, IEEE Spectrum 2020, 57, 30.
18. C. Kim, A. Lennon, World Premiere of the Porsche Taycan: The Sports Car for a Sustainable Future. PR No. 73/19, 2019, http://press.porsche.com/prod/presse_pag/PressResources.nsf/Content?ReadForm&languageversionid=1021391 (accessed: March 2021).
19. a) M. Holland, *Supercharger V3. Shocking Power & Smart Strategy By Tesla* (Charts!), cleantechnica.com/2019/03/08/superchargerv3-shocking-power-smart-strategy-by-tesla-charts/ (accessed: November 2020); b) M. Holland, *Tesla Model 3 On SuperCharger V3. Adds 50% Range In Under 12 Minutes!* (Charts!), cleantechnica.com/2019/06/24/tesla-model-3-on-supercharger-v3-adds-50-range-in-under-12-minutes-charts/ (accessed: November 2020).
20. S. Ahmed, I. Bloom, A. N. Jansen, T. Tanim, E. J. Dufek, A. Pesaran, A. Burnham, R. B. Carlson, F. Dias, K. Hardy, M. Keyser, C. Kreuzer, A. Markel, A. Meintz, C. Michelbacher, M. Mohanpurkar, P. A. Nelson, D. C. Robertson, D. Scofield, M. Shirk, T. Stephens, R. Vijayagopal, J. Zhang, J. Power Sources 2017, 367, 250.
21. K. Du, H. Xie, G. Hu, Z. Peng, Y. Cao, F. Yu, ACS Appl. Mater. Interfaces 2016, 8, 17713.
22. a) J. Li, A. R. Cameron, H. Li, S. Glazier, D. Xiong, M. Chatzidakis, J. Allen, G. A. Botton, J. R. Dahn, J. Electrochem. Soc. 2017, 164, A1534; b) J. E. Harlow, X. Ma, J. Li, E. Logan, Y. Liu, N. Zhang, L. Ma, S. L. Glazier, M. M. E. Cormier, M. Genovese, S. Buteau, A. Cameron, J. E. Stark, J. R. Dahn, J. Electrochem. Soc. 2019, 166, A3031; c) Y. Liu, J. Harlow, J. Dahn, J. Electrochem. Soc. 2020, 167, 020512.
23. J. Landesfeind, J. Hattendorff, A. Ehrl, W. A. Wall, H. A. Gasteiger, J. Electrochem. Soc. 2016, 163, A1373.
24. S. Malifarge, B. Delobel, C. Delacourt, J. Electrochem. Soc. 2017, 164, E3329. [18] I. V. Thorat, D. E. Stephenson, N. A. Zacharias, K. Zaghib, J. N. Harb, D. R. Wheeler, J. Power Sources 2009, 188, 592.
25. A. M. Colclasure, A. R. Dunlop, S. E. Trask, B. J. Polzin, A. N. Jansen, K. Smith, J. Electrochem. Soc. 2019, 166, A1412.
26. H. Zheng, G. Liu, X. Song, P. Ridgway, S. Xun, V. S. Battaglia, J. Power Sources 2010, 157, A1060.

27. H. Zheng, L. Tan, G. Liu, X. Song, V. S. Battaglia, J. Power Sources 2012, 208, 52.
28. J. Kasnatscheew, U. Rodehorst, B. Streipert, S. Wiemers-Meyer, R. Jakelski, R. Wagner, I. C. Laskovic, M. Winter, J. Electrochem. Soc. 2016, 163, A2943.
29. M. S. Whittingham, Chem. Rev. 2004, 104, 4271.
30. B. L. Ellis, K. T. Lee, L. F. Nazar, Chem. Mater. 2010, 22, 691.
31. J. K. Ngala, N. A. Chernova, M. Ma, M. Mamak, P. Y. Zavalij, M. S. Whittingham, J. Mater. Chem. 2004, 14, 214.
32. J.-M. Kim, H.-T. Chung, Electrochim. Acta 2004, 49, 937

РЕФЕРАТ

Харламов С.А. Вибір тягової акумуляторної батареї для електротранспорту / С.А. Харламов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

У статті визначені найбільш перспективні аспекти для досягнення важливого рівня розвитку технології літєвих батарей.

Метою дослідження є визначення найбільш перспективних аспектів для досягнення важливого рівня розвитку технології літєвих батарей.

Мета роботи – запропонувати оптимальні властивості матеріалу та рівня електродів для швидкої зарядки літєвих батарей.

Об'єкт роботи – фізико-хімічні основи різних комбінацій матеріалів, що визначають транспорт літію всередині електродів.

Метод дослідження – аналіз оптимальних властивостей матеріалу та рівня електродів для швидкої зарядки.

В статті проведено аналіз результатів наукових досліджень українських та закордонних науковців, роботи яких присвячені питанням розробки потужних, довговічних та безпечних літій-іонних акумуляторів з новим типом електроліту.

У статті на основі проведеного аналізу пропонується вибір тягової батареї для використання в електротранспорті.

Важливо, що розглянуто переваги та недоліки типових матеріалів літій-іонних батарей.

Очевидно, що результати дослідження дозволять створювати батареї із високою щільністю зберігання заряду та низькою робочою температурою.

Таким чином, вирішення проблеми забруднення повітря у великих містах можливо шляхом заміни автомобілів з двигуном внутрішнього згоряння електричними транспортними засобами з літій-іонними акумуляторами.

Стаття рекомендована для фахівців з електротранспорту та профільного машинобудування, які займаються проблемами екологічної безпеки транспорту, зокрема електромобілів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТ, ТЯГОВА БАТАРЕЯ, ЕНЕРГЕТИЧНА ЕМНІСТЬ, ЗАРЯДНІ ПРИСТРОЇ, ЛІТІЙ-ІОННІ АКУМУЛЯТОРИ, РІДКИЙ ЕЛЕКТРОЛІТ.

ABSTRACT

Kharlamov S.A. Traction battery choice for electric transport. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 1 (55).

The article identifies the most promising aspects for achieving an important level of development of lithium battery technology.

The main objective goal of the article is to determine the most promising aspects for achieving an important level of development of lithium battery technology.

The purpose of the work is to propose optimal properties of the material and the level of electrodes for fast charging of lithium batteries.

The object of the work is the physical and chemical basis of various combinations of materials that determine the transport of lithium inside the electrodes.

The research method is an analysis of optimal material properties and the level of electrodes for fast charging.

The article analyzes the results of scientific research by Ukrainian and foreign scientists, whose work is devoted to the development of powerful, durable and safe lithium-ion batteries with a new type of electrolyte.

Based on the analysis, the article proposes the choice of a traction battery for use in electric transport. Importantly, the advantages and disadvantages of typical lithium-ion battery materials are discussed.

Obviously, the research results will allow creating batteries with high charge storage density and low operating temperature.

Thus, solving the problem of air pollution in large cities is possible by replacing cars with an internal combustion engine with electric vehicles with lithium-ion batteries.

The article is recommended for specialists in electric transport and specialized mechanical engineering, who deal with the problems of environmental safety of transport, in particular, electric cars.

The article identifies the most promising aspects for achieving an important level of development of lithium battery technology.

The advantages and disadvantages of typical LIB materials are analyzed, the optimal properties of the material and the level of electrodes for fast charging are proposed.

KEYWORDS: ELECTRIC TRANSPORT, TRACTION BATTERY, ENERGY CAPACITY, CHARGING DEVICES, LITHIUM-ION BATTERIES, LIQUID ELECTROLYTE

АВТОР:

Харламов Станіслав Анатолійович, аспірант, наукова спеціальність 274 «Автомобільний транспорт» Національний транспортний університет, e-mail: stanyslav.kharlamov@gmail.com, тел. +380992281768, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича -Павленка, 1, к. 306, <http://orcid.org/0009-0005-2358-850X>.

AUTHOR:

Kharlamov Stanyslav, postgraduate of scientific specialty 274 «Automotive transport», National Transport University, e-mail: stanyslav.kharlamov@gmail.com, tel. +380992281768, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 306, <http://orcid.org/0009-0005-2358-850X>.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Дембицкий В.М., кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, м. Луцьк, Україна.

Поляков В.М., професор кафедри автомобілів, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна.

REVIEWERS:

Dembitsky V.M., PhD in Technical Science, candidate of technical sciences, associate professor of the department of automobiles and transport technologies of the Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine.

Poljakov V.M., Professor of the Department of Automobiles, PhD in Technical Science, associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

МЕТОД АНАЛІЗУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ОПЕРАЦІЙ

Хмельов І.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, i.khmelov@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0002-9969-5230

Гальона І. І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, ntu.tt.inesa@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1484-1682

Даниленко І.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, inna.danulenko@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9674-2866

ANALYSIS METHOD OF TRANSPORT OPERATIONS' ENERGY EFFICIENCY

Khmelov I.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, i.khmelov@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0002-9969-5230

Halona I.I., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, ntu.tt.inesa@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1484-1682

Danylenko I.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, inna.danulenko@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9674-2866

Постановка проблеми у загальному вигляді. Висока енергоємність різних галузей господарства (в тому числі й автотранспортної системи) України продовжує залишатися найважливішим чинником, що істотно стримує підвищення конкурентоспроможності економіки держави. Враховуючи подорожчання енергетичних і технічних ресурсів транспорту, автотранспортні підприємства повинні займатися вирішенням комплексних задач, виходячи з точки зору не лише організації перевезень при мінімальних витратах, а й технологій перевезень, що забезпечують економію паливно-енергетичних ресурсів у натуральних одиницях [1]. За таких умов необхідні нові наукові підходи до аналізу і вибору автотранспортних засобів (АТЗ) на основі концепції збереження енергії та ресурсів. Вони повинні бути засновані на принципах підвищення транспортно-технологічної якості перевезень. Для оцінки цієї якості можуть використовуватися показники енергетичної ефективності та результативності технологічних впливів [2]. У даній роботі відповідне дослідження виконано для сегменту автопоїздів.

Умови ринкової економіки характеризуються нестабільністю цін ресурсів у часі, а також механізмів взаємодії попиту та пропозиції на автотранспортні послуги. У цих умовах конкурентні стратегії сталого розвитку (sustainable development) автомобільного транспорту можуть бути забезпечені на основі етапної реалізації концептуально-цілевих інновацій у його ресурсно-технічному та технологічному базисі, а також у процесах автомобільних перевезень. Методи обґрунтування таких інновацій формуються на основі науково-практичної концепції високотехнологічного та ресурсозберігаючого відтворення автотранспортних послуг [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження у галузі удосконалення організації та технології автомобільних перевезень, а також енергоресурсозбереження в транспортному процесі проводяться як у нашій країні, так і за кордоном. В Україні відомі роботи Воркута А.І., Веліканова Д. П., Говорушенка М. Я., Безбородової Г. Б., Кошарного М.Ф., Маяка М. М., Хабутдінова Р. А. та інших вчених. В літературі розрізняють організаційний і технологічний підходи до аналізу проектів перевезень. Недоліком сучасних методів аналізу автомобільних перевезень є те, що вони засновані на розрахункових схемах доставки вантажу. Основним припущенням цієї схеми є те, що у рухових операціях розглядається не функціонування АТЗ як складної машини з багатьма технічними параметрами та закономірностями робочих процесів, а присутність у транспортних терміналах кузова, який рухається.

Обмежена придатність методів теорії транспортного процесу до вирішення задач енергоресурсозбереження обумовлена її методологічним недоліком, оскільки в ній однобічно розглядається автомобіль як засіб перевезень. В основоположній розрахунковій схемі циклу перевезень етап руху, в якому реалізується споживання енергії та ресурсів, замінено умовним актом доставки вантажу з рівномірною (технічною) швидкістю. Звідси випливає, що аналіз споживчої енергоресурсозберігаючої якості автомобіля, виходячи з моделі його перевізного використання, в принципі неможливий. А за-

дача оцінки натурально-фізичного споживання автомобіля в транспортному процесі практично не може бути поставлена [4].

Внаслідок однобічності вартісного підходу, в економічній галузі прийнятий умовно-фізичний вимірник споживання за їздки – геометричний пробіг автомобіля [5]. При цьому, через недостатність інформації у вихідній розрахунковій схемі не враховується енергоресурсомісткість транспортної роботи в операції руху, яка направлена на забезпечення безпеки та продуктивності перевезень. На основі умовно-фізичного вимірника пробігу реалізується вартісна оцінка споживання автомобіля. Однобічність такої оцінки виключає можливість енергоресурсозберігаючого аналізу конструктивно-технічних новацій в майбутньому транспортному процесі. Отже, відсутня база знань для прогнозування енергоресурсозберігаючої якості майбутньої транспортної праці та управління нею. Відсутність відповідного методологічного забезпечення обумовлює низьку ефективність процесу вирішення найважливішої народногосподарської задачі – економії енергії та ресурсів шляхом конструктивно-технічних новацій при створенні автомобілів та формуванні типу рухомого складу.

Питання ефективності роботи АТЗ розглядаються у теоріях автомобіля, транспортних процесів і систем, експлуатаційних властивостей автомобіля [6], економіки вантажних автомобільних перевезень [7]. В кожній з цих теорій ставляться різні задачі, тому в них використовуються різні методи визначення ефективності роботи РС. Знання та рекомендації цих теорій є фрагментарними і не відповідають концепції збереження енергії та ресурсів, оскільки не враховують особливості (парадокси) транспорту як галузі матеріального виробництва.

Таким чином, концепція технологічно-сталого розвитку автомобільного транспорту не може бути реалізована за допомогою існуючих методів теорії транспортного процесу та економічного аналізу. Ці теорії є технологічно виродженими і не забезпечують можливість аналізу процесів енергетичного перетворення виробничих ресурсів тому, що вони базуються на логіці і методології споживання простих транспортних послуг в процесах доставки вантажів.

Існуючі методи визначення ефективності функціонування автомобілів (автопоїздів) засновані на критеріях противитратної ефективності доставки вантажів, які мають низку недоліків. По-перше, в них не враховується комплекс властивостей автотранспортного засобу як носія технічних ресурсів транспорту, прояви яких обумовлюють формування енергетичних процесів перетворення ресурсів і створення фізичного продукту транспорту [4]. По-друге, в теоріях транспортного процесу [5] та економіки транспорту [8] замість багатоетапного процесу перетворення технологічних ресурсів здебільшого розглядається простий акт перенесення їх вартості на витрати. По-третє, вимірювач облікової транспортної роботи (тонно-кілометр) не має належної фізичної суті, оскільки відбиває лише функціонування автомобіля як перевізного засобу (у розрахунковій схемі транспортного циклу транспортний засіб зазвичай вважається саморушним кузовом).

У зв'язку з вищезазначеним, в сучасних умовах розвитку ринку автотранспортних послуг виникає необхідність пошуку інших критеріїв для оцінки роботи рухомого складу, які повинні враховувати функціонування автопоїзда як носія технічних ресурсів транспорту.

Таким чином, існуючі науково-методичні підходи, загальнопоширені навчальні дисципліни та їх розділи вивчають окремі сторони функціонування транспортних засобів. Закономірності функціонування автомобіля як складної машини розглядаються в теорії автомобіля; управління автомобілем як засобом перевезень описується в теорії транспортних процесів і систем. Для оцінки ефективності автомобіля як носія технічних ресурсів транспорту доцільно використовувати енергетично нормалізовані схеми і математичні моделі теорії енергоресурсної ефективності автомобіля, розвинутої в роботах Хабутдінова Р. А. [1]. Слід відзначити, що поняття «енергоресурсна ефективність» відбиває енергетичну результативність автомобіля як носія технічних ресурсів транспорту у рухових операціях з урахуванням прояву комплексу його властивостей.

Виклад основного матеріалу дослідження. Операції руху автотранспортного засобу здійснюються у складній підсистемі «Термінал – Автомобіль – Водій – Дорога – Транспортний потік». У цій підсистемі витрачається 95% енергії, 100% технічних та трудових ресурсів. Теорія транспортних процесів і систем [5] враховує лише одну ланку цієї підсистеми – «Термінал – Автомобіль». За таких умов неможливо всебічно аналізувати споживання енергії та ресурсів.

Для довгострокового формування високотехнологічних схем ресурсозберігаючого відтворення транспортних послуг необхідні методи раціоналізації машинного змісту транспортних технологій з урахуванням реалізації складних функцій автопоїзда як носія технічних ресурсів транспорту. Ці функції обумовлюються його виробничо-технологічними властивостями, які проявляються в рухових операціях: динамічність, адаптивність, енерговитратність, продуктивність, транспортно-технологічна результативність, транспортна продуктивність. Сукупність цих властивостей і констру-

ктивних особливостей автотранспортного засобу, що забезпечують придатність його конструкції до енергоресурсної економізації технологій перевезень, називають транспортно-технологічною якістю автомобіля. Для забезпечення енерго- і ресурсозберігаючих технологій конструктивні параметри АТЗ повинні забезпечувати оптимальність таких показників транспортно-технологічної якості: транспортної енергетичної ефективності (Π_{ep}); енергетичної результативності технологічних впливів на вантажі (TB).

Для розробки математичної моделі показника енергетичної ефективності використано метод аналогій з еталонним прототипом АТЗ. Останній являє собою розрахункову модель ідеального АТЗ і не змінюється впродовж 20 – 30 років. Протягом цього періоду задача неперервного удосконалення АТЗ розглядається як процес наближення показників його транспортно-технологічної якості до еталонного прототипу [2].

Шляхом співставлення величин енергетичних показників АТЗ та його еталонного прототипу визначаються енергетичні коефіцієнти пробігу K_e та швидкості K_v . Вони підставляються у модель показника енергетичної ефективності АТЗ. Цей показник є відношенням транспортної енерговіддачі даного АТЗ у тестовій операції ρ до транспортної енерговіддачі еталонного АТЗ у еталонній операції ρ_{em} :

$$\Pi_e = \frac{\rho}{\rho_{em}} = \frac{K_v \gamma_{cm}}{K_e (\eta_q + \gamma_{cm})} \rightarrow \max, \quad (1)$$

де K_v – коефіцієнт швидкості (відношення середньої швидкості АТЗ в тестовому циклі до швидкості еталонного АТЗ);

γ_{cm} – коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності;

K_e – енергетичний коефіцієнт пробігу (відношення витрати палива даного АТЗ в циклі до витрати палива еталонного АТЗ, який рухається з постійною еталонною швидкістю);

η_q – коефіцієнт спорядженої маси АТЗ.

Для підвищення технологічної результативності рухомого складу конструктивні параметри автопоїзда повинні забезпечувати оптимальність показника енергетичної результативності технологічних впливів TB на вантажі [4]. Цей показник є проміжним на етапі визначення енергетичної ефективності транспортного засобу, але він дозволяє аналізувати результативність технологічних впливів, які складають сутність транспортних технологій. Таким чином, показник TB необхідно враховувати у комплексі з показником енергетичної ефективності. У багатofазовій операції руху автомобіля цей показник визначається як для окремих його фаз (TB_i), так і для тестового циклу в цілому (TBC):

$$TB_i = \frac{q \gamma_{cm} l_i}{P_{mi} t_i^2} \rightarrow \text{opt}, i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

де $q \gamma_{cm}$ – вантажопідйомність автомобіля (кг) та коефіцієнт її використання;

n – кількість фаз в операції руху;

l_i – довжина пробігу автомобіля у i -й фазі операції, м;

P_{mi} – середня сила тяги автомобіля у i -й фазі операції, Н;

t_i – час руху автомобіля у i -й фазі операції, с;

$$TBC = \sum_{i=1}^n TB_i \cdot m_i, \quad (3)$$

де m_i – частка пробігу автомобіля у i -тій фазі операції циклу.

У даній роботі проведено аналіз показника результативності технологічних впливів в залежності від зміни однієї з технічних характеристик автопоїзда (радіусу колеса), при цьому використано середньозважений (TBr) показник для операції розгону:

$$TB_r = \frac{\sum_{i=1}^n TB_i \cdot l_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \rightarrow opt. \quad (4)$$

Виконання умов (1) та (4) забезпечує придатність конструкції автотранспортного засобу до підвищення транспортно-технологічної результативності рухомого складу. В якості прикладу було досліджено вплив зміни радіусу колеса r автопоїзда DAF-95XF + SCHMITZ CARGOBULL S.CS UNIVERSAL на показники енергетичної ефективності та результативності технологічних впливів транспортного засобу.

Аналіз графіків показує, що при збільшенні радіусу колеса r енергетичні показники пробігу K_{ec} та швидкості K_{vc} повільно зростають (рис. 1). Показник паливної ефективності Π_{epq} стрімко зростає при $r = 0,45 \dots 0,56$ м, при $r > 0,56$ м зростання уповільнюється. Графік залежності $\Pi_{ep} = f(r)$ має екстремальний характер, набуваючи максимуму при $r = 0,55$ м.

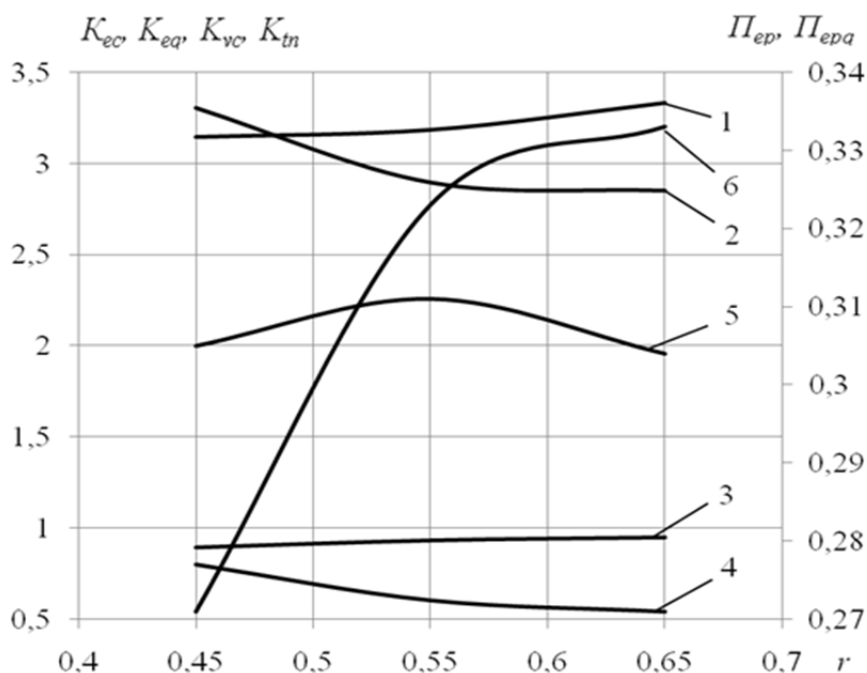


Рисунок 1 – Залежність показників енергетичної ефективності автопоїзда DAF-95XF + SCHMITZ CARGOBULL S.CS UNIVERSAL від радіусу колеса r (м):

1 – K_{ec} , 2 – K_{eq} , 3 – K_{vc} , 4 – K_{tm} , 5 – Π_{ep} , 6 – Π_{epq}

Figure 1 – The energy efficiency indicators' dependence on the wheel radius r (m) for the road train DAF-95XF + SCHMITZ CARGOBULL S.CS UNIVERSAL

Показники технологічного впливу TB на кожній передачі (i) визначаються шляхом імітаційного моделювання руху автомобіля в тестовій операції [3]. В основу математичної моделі функціонування автомобіля у тестовій операції покладено аналітичні залежності його дискретної кінематики, динаміки та енергетики. Для автоматизації розрахунків, на кафедрі «Транспортні технології» Національного транспортного університету під керівництвом проф. Хабутдінова Р. А. розроблено програмне забезпечення в середовищі Turbo Pascal, яке було використано при проведенні досліджень.

Змінюючи початкове значення радіусу колеса r в межах $\pm 20\%$, визначено показники результативності технологічного впливу автопоїзда при русі на кожній передачі TB_i і середньозважене значення для операції розгону (2) – (4). Для даної операційної карти розгін здійснюється при використанні чотирьох передач (криві 1, 2, 3, 4), для кожної з яких маємо відповідні значення TB ($TB1$, $TB2$, $TB3$, $TB4$). При зменшенні передаточного числа ($5,74 \rightarrow 1$) відбувається збільшення показника технологічного впливу (рис. 2). Чим вище передача, тим більшим є вплив величини r на приріст значення показника технологічного впливу TB . Криві 5 (TBr) і 7 (TBm) характеризують рівномірний рух авто-

поїзда при швидкостях відповідно 3 м/с та 14 м/с. Найбільший вплив величина r здійснює на значення TB при русі на найвищій передачі. Крім того, при збільшенні r до значення 0,57 м середньозважене TBC зростає, а при $r > 0,57$ м – зменшується. При значеннях $r < 0,55$ м перша та друга передачі не використовуються при розгоні автопоїзда.

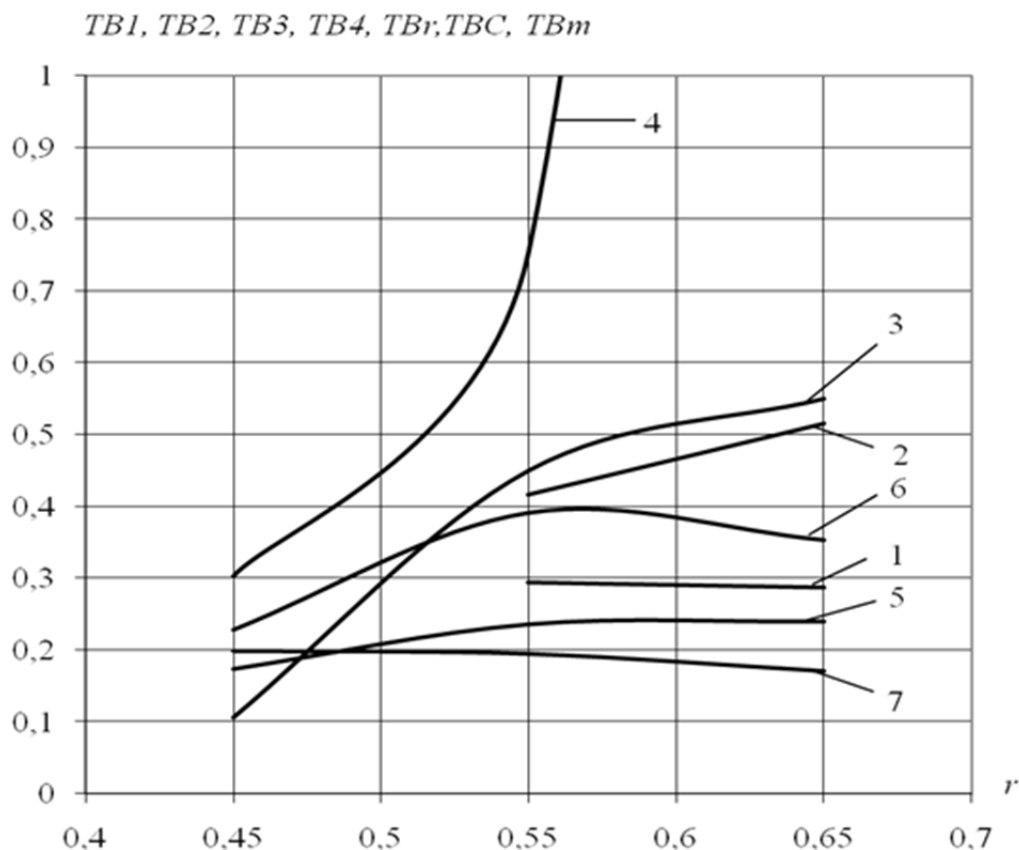


Рисунок 2 – Залежність показників результативності технологічного впливу автопоїзда DAF-95XF + SCHMITZ CARGOBULL S.CS UNIVERSAL від радіусу колеса r (м):

1 – $TB1$, 2 – $TB2$, 3 – $TB3$, 4 – $TB4$, 5 – TBr , 6 – TBC , 7 – TBm

Figure 2 – The technological impact efficiency indicators' dependence on the wheel radius r (m) for the road train DAF-95XF + SCHMITZ CARGOBULL S.CS UNIVERSAL

Висновки. 1. Запропоновано розрахункові схеми і математичні моделі для оцінки показника транспортно-технологічної якості автомобіля, які дозволяють аналізувати придатність його конструкції до забезпечення енергозберігаючих технологій автомобільних перевезень.

2. Сукупність методів удосконалення техніко-експлуатаційних та споживчих властивостей автомобіля дозволяє реалізувати наукову ідею технологічної концепції розвитку автотранспортної системи. Ця ідея виражається в необхідності комплексної енергетичної раціоналізації трьох факторів відтворення транспортних послуг: результативності технологічних впливів автотранспортних засобів на вантажі, процесів використання технологічних ресурсів транспорту, зміни конструктивних параметрів автомобілів у часі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. 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). – С. 389 – 398.
2. Хмельов І. В. Аналіз транспортно-технологічної якості автобусів // Актуальні напрями розвитку технічного та виробничого потенціалу національної економіки : монографія / за ред. В. О. Пінчук, Г. С. Прокудіна. – Дніпро, 2021. – С. 277–282.

3. Хабутдінов Р.А. Методологія концептуального управління технологічно-сталим розвитком на автотранспорті / Р.А. Хабутдінов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2022. – Вип. 1 (51). – С. 408 – 415.
4. Хмельов І. В. Метод техніко-технологічного аналізу автомобілів з урахуванням еволюції їх конструктивних параметрів / І. В. Хмельов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні : Науковий журнал. – Запоріжжя : Національний університет «Запорізька політехніка», 2021. – Вип. 2. – С. 81 – 85.
5. Основи теорії транспортних процесів і систем / Дмитриченко М. Ф., Яцківський Л. Ю., Ширяєва С. В., Докуніхін В. З. Київ : Видавничий Дім «Слово», 2009. – 336 с.
6. Автомобілі. Теорія експлуатаційних властивостей : навчальний посібник / В. В. Біліченко, О. Л. Добровольський, В. О. Огневий, Є. В. Смирнов. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 163 с.
7. Дмитрієв І.А. Економіка підприємств автомобільного транспорту: навчальний посібник для самостійної роботи та поточного контролю знань студентів закладів вищої освіти / І.А. Дмитрієв, О.С. Іванілов, І.Ю. Шевченко., І.М. Кирчата – Харків : ФОП Бровін О.В., 2018. – 308 с.
8. Копитко М. І. Управління інноваціями / М. І. Копитко. – Львів : ЛьвДУВС, 2019. – 292 с.

REFERENCES

1. Khabutdinov, R.A. (2022). Pryntsypy i metody kontseptualnoho pidvyshchennya enerhoresursnoyi efektyvnosti avtotransportnykh zasobiv i posluh v yikh zhyttyevykh tsyklakh [Principles and methods of conceptual improvement of energy resource efficiency of motor vehicles and services in their life cycles]. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky» – Bulletin of the National Transport University. Series "Technical Sciences", 3 (53), 389–398 [in Ukrainian].
2. Khmelov, I. V. (2021). Analiz transportno-tekhnologichnoyi yakosti avtobusiv [Analysis of the transport and technological quality of buses]. Aktualni napryamy rozvytku tekhnichnoho ta vyrobnychoho potentsialu natsionalnoyi ekonomiky : monohrafiya – Actual directions of development of the technical and production potential of the national economy : monograph, 277–282 [in Ukrainian].
3. Khabutdinov, R.A. (2022). Metodolohiya kontseptualnoho upravlinnya tekhnologichno-stalym rozvytkom na avtotransporti [Methodology of conceptual management of technologically sustainable development in motor vehicles]. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky» – Bulletin of the National Transport University. Series "Technical Sciences", 1 (51), 408–415 [in Ukrainian].
4. Khmelov, I. V. (2021). Metod tekhniko-tekhnologichnoho analizu avtomobiliv z urakhuvannyam evolyutsiyi yikh konstruktyvnykh parametriv [The method of technical and technological analysis of cars taking into account the evolution of their design parameters]. Novi materialy i tekhnolohiyi v metalurhiyi ta mashynobuduvanni – New materials and technologies in metallurgy and machine-building, 2, 81–85 [in Ukrainian].
5. Dmytrychenko, M.F., Yatskivskiy, L.Yu., Shiryayeva, S.V. & Dokunihin V.Z. (2009). Osnovy teorii i transportnykh protsesiv i system [Fundamentals of the theory of transport processes and systems]. Kyiv : Vydavnychyy Dim «Slovo» – Kyiv: Slovo Publishing House, 336 [in Ukrainian].
6. Bilichenko, V. V., Dobrovolskyi, O. L., Ognevyy, V. O., Smirnov, E. V. (2017). Avtomobili. Teoriya ekspluatatsiynykh vlastyvostey [Cars. Theory of operational properties]. Vinnytsia: VNTU, 163 [in Ukrainian].
7. Dmitriev, I.A., Ivanilov, O.S., Shevchenko, I.Yu., Kirchata, I.M. (2018). Ekonomika pidpryyemstv avtomobil'noho transportu [Economics of automobile transport enterprises]. Kharkiv: FOP Brovin O.V., 308 [in Ukrainian].
8. Kopytko, M. I. (2019). Upravlinnya innovatsiyamy [Management of innovations]. Lviv: LvDUVS, 292 [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Хмельов І. В. Метод аналізу енергетичної ефективності транспортних операцій / І. В. Хмельов, І. І. Гальона, І. В. Даниленко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К/ : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

В статті запропоновано метод аналізу енергетичної ефективності транспортних операцій відповідно до концепції збереження енергії та ресурсів.

Об'єкт дослідження – процес перевезення, в якому проявляється комплекс властивостей автопоїзда як носія технічних ресурсів транспорту.

Мета роботи – виявлення закономірностей впливу зміни конструктивних параметрів на транспортно-технологічну якість автопоїздів.

Методи дослідження – енергетичне вимірювання транспортної роботи та порівняння енергетичних характеристик автомобіля з його еталонним прототипом, методи теорії множин, а також методи теорії енергоресурсної ефективності автотранспортних засобів.

Основним недоліком існуючих методів обґрунтування і вибору автотранспортних засобів є те, що вони виходять із ідеї противитратної ефективності рухомого складу і не враховують важливу особливість майбутніх транспортних технологій – зміну параметрів техніки та збільшення енергетичної результативності машинних процедур технологій перевезень. Виявлено, що при виборі рухомого складу необхідно враховувати еволюцію конструктивних параметрів АТЗ, а також різноманіття умов перевезень. Новизна результатів полягає у виявленні взаємозв'язку характеристик технологічних процедур з енергетичною ефективністю автомобіля для підвищення енергоресурсної ефективності автомобільних перевезень.

Результати статті можуть бути використані для обґрунтування інвестиційних проектів перевезень, а також при організації тендерів для придбання рухомого складу.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – визначення раціонального варіанту конструкції автомобіля, який забезпечує оптимальність показників його функціональної ефективності і максимізацію ресурсовіддачі процесу перевезень для заданих умов (режимів) експлуатації.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОМОБІЛЬНЕ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, АВТОПОЇЗД, КОНСТРУКТИВНИЙ ПАРАМЕТР, ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЯКІСТЬ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ВПЛИВ.

ABSTRACT

Khmelov I. V., Halona I. I., Danylenko I. V. Analysis method of transport operations' energy efficiency. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The paper proposes the analysis method of transport operations' energy efficiency in accordance with energy and resources saving concept.

Object of study – the transportation process, in which the complex of truck's properties appears as transport technical resources' medium.

Purpose – to identify patterns of structural parameters changing over the trucks' transport-technological quality.

Method study – energy measurement and comparison of cars' energy characteristics with his reference prototype, methods of set theory and methods of the vehicles' energy-resource efficiency.

The main drawback of the existing methods of study and choice of vehicles is that they are based on the idea of the rolling stock's cost-effectiveness and do not reflect an important feature of future transport technologies – change the technology and increase the energy efficiency of machine procedures transportation technologies. It is found that the choice of rolling stock necessary to consider the evolution of the vehicles' structural parameters and variety of transportation conditions. The novelty is to identify the relationship of the technological procedures' characteristics to trucks' energy efficiency to improve the energy-resource efficiency of road transportation.

The results can be used to justify the investment transportation projects, as well as the organization of tenders for the purchase of rolling stock.

Forecast assumptions about the object of study – the definition of rational option car design that delivers its functional efficiency's optimal performance and maximizing the resources' output of transportation for given conditions (modes) of operation.

KEYWORDS: ROAD TRANSPORTATION, ROAD TRAIN, STRUCTURAL PARAMETER, TRANSPORT-TECHNOLOGICAL QUALITY, TECHNOLOGICAL IMPACT.

АВТОР:

Хмельов Ігор Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортних технологій, e-mail: i.khmelov@ntu.edu.ua, тел. +380442801938, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 432, orcid.org/0000-0002-9969-5230.

Гальона Інеса Іванівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортних технологій, e-mail: ntu.tt.inesa@gmail.com, тел. +380442801938, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 432, orcid.org/0000-0002-1484-1682.

Даниленко Інна Володимирівна, Національний транспортний університет, асистент кафедри транспортних технологій, e-mail: inna.danulenko@gmail.com, тел. +380442801938, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 432, orcid.org/0000-0001-9674-2866.

AUTHOR:

Khmelov Ihor V., Ph.D., associate professor, National Transport University, associate professor department of transport technologies, e-mail: i.khmelov@ntu.edu.ua, tel. +380442801938, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich-Pavlenko str., 1, orcid.org/0000-0002-9969-5230.

Halona Inesa I., Ph.D., associate professor, National Transport University, associate professor department of transport technologies, e-mail: ntu.tt.inesa@gmail.com, tel. +380442801938, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich-Pavlenko str., 1, orcid.org/0000-0002-1484-1682.

Danylenko Inna V., National Transport University, assistant department of transport technologies, e-mail: inna.danulenko@gmail.com, tel. +380442801938, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovich-Pavlenko str., 1, orcid.org/0000-0001-9674-2866.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мнацаканов Рудольф Георгійович, доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден, e-mail: mnatsakanov@ukr.net, тел. +380679714862, Київ, Україна.

Прокудін Георгій Семенович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Київ, Україна.

REVIEWER:

Mnatcakanov Rudolf G., Doctor of Technical Sciences Engineering (Dr.), professor, National Aviation University, department of maintaining the airworthiness of aircraft, Kyiv, Ukraine.

Prokudin Geordiy S., Ph.D., Dr.Sc. (Dr.), professor, National Transport University, professor, department of international freight transportation and customs control, Kyiv, Ukraine.

ОПТИМІЗАЦІЯ ГРАФІКА РОБОТИ ВОДІЇВ АВТОПІДПРИЄМСТВА З УРАХУВАННЯМ ЇХ ВЗАЄМОДІЇ В ТРАНСПОРТНОМУ ПРОЦЕСІ, З ОБМЕЖЕННЯМ ЄУТР

Хомин Н.Я., Національний транспортний університет, Київ, Україна,
nazar.khomyn0037@gmail.com, orcid.org/0009-0008-1906-3024

OPTIMIZATION OF THE WORK SCHEDULE OF THE DRIVERS OF THE AUTOMOBILE COMPANY TAKING INTO ACCOUNT THEIR INTERACTION IN THE TRANSPORTATION PROCESS, WITH THE LIMITATION OF EUTR

Khomin N.Y., National Transport University, Kyiv, Ukraine, nazar.khomyn0037@gmail.com,
orcid.org/0009-0008-1906-3024

Постановка проблеми. Міжміські й міжнародні перевезення вантажів в Європі є складними через суворі обмеження, які накладені на режими роботи й відпочинку екіпажів транспортних засобів. Виконуючи такі поїздки, водії зобов'язані дотримуватись вимог Європейської угоди про роботу транспортних екіпажів. Це приводить до безпеки на автострадах, – з одного боку, але, з іншого ускладнює ефективне використання основних засобів. Простої вантажівок, пов'язані з відпочинком, чи перервою у роботі водіїв, знижують продуктивність транспортних засобів, збільшують затримки в доставці вантажів. Дуже часто параметри маршрутів, де відбувається доставка, не співпадають з часовими обмеженнями розкладів руху. Трапляється також, що водії не мають змоги зупинитись для відпочинку через відсутність місць необхідного простою, або доставити вантаж у терміни, які відведені споживачем послуг, так звані, часові вікна. Усе це приводить до штрафних санкцій, або до втрати можливостей транспортних засобів.

Якщо розглядати роботу парку транспортних засобів, які пов'язані організаційно-технологічною взаємодією, мають єдине інформаційне забезпечення, то сформульована вище проблема є простішою для розв'язання. В цьому випадку загальний фонд часу водіїв сукупності транспортних засобів може бути рівномірніше розподілений між маршрутами, що дає змогу скоротити непродуктивні простої. У зв'язку з цим актуальним є узгодження регламентованих Європейською угодою режимів праці і відпочинку водіїв та множини транспортних завдань, які виконує парк вантажних автопоїздів.

Аналіз досліджень і публікацій. Про проблему узгодження роботи автотранспорту з іншими обслуговуючими ланками при забезпеченні вчасної та якісної доставки вантажів в місце призначення згадується в багатьох сучасних працях, у тому числі [0, 2, 3]. Вчені називають різні шляхи її вирішення, Зокрема, в роботі [1] наголошується, що узгодження роботи рухомого складу та, наприклад, навантажувально-розвантажувальних засобів можливе, якщо застосовувати так звані «плаваючі» розклади руху транспортних засобів, які дають змогу змінювати час подачі рухомого складу в певному діапазоні (наприклад, 2-5 %) внаслідок затримок транспорту або невчасного упорядкування роботи вантажної техніки.

У роботі Н. Шраменко досліджено вплив тривалості митних процедур на дотримання часу доставки з врахуванням вимог ЄУТР [4]. При цьому застосовано імітаційне моделювання, яке потребує чималу кількість початкових даних та довгий час спостережень. Митні процедури є дуже вагомим обмеженням і випадковим чинником, який важко передбачити, з одного боку, і який стримує вчасне прибуття в пункт призначення. Особливо це стосується в'їзду транспортних засобів і ввезення товарів на територію ЄС з України. Однак, потрібно відмітити тут присутність суб'єктивних чинників, які не становлять наукового інтересу для досліджень. Тому час виконання митних процедур можна вважати величиною в цілому передбачуваною.

Існує дуже багато праць, які пов'язані з маршрутизацією автомобілів, у тому числі на далекі відстані. Одні автори вважають її первинним етапом при складанні розкладів [5]. При цьому застосовуються відомі та модифіковані алгоритми: Дейкстри [6], мурашиний [9], відпалу [7] тощо. Більшість дослідників схиляються до того, що задача маршрутизації та складання розкладів має

розв'язуватись комплексно, особливо щодо пасажирського транспорту [7, 3]. Однак, застосування правил роботи водіїв міжнародних екіпажів значно ускладнюють формалізацію проблеми. Нижче подано огляд деяких спроб здійснити її.

Проблема маршрутизації транспортного засобу, що залежить від часу, визначається наступним чином [9]. Автопарк фіксованої місткості обслуговує клієнтів постійних вимог з центрального депо. Клієнти розподіляються за транспортними засобами та транспортними засобами, які маршрутизуються, щоб мінімізувати загальний час маршрутів. Час у дорозі між двома клієнтами або між клієнтом і депо залежить від відстані між пунктами та часу доби. Також можуть бути присутні часові вікна для обслуговування клієнтів. Залежна від часу задача комівояжера є окремим випадком задач маршрутизації, у якому доступний лише один транспортний засіб нескінченної місткості. Представлені формули змішаного цілочисельного лінійного програмування, які розглядають функції часу подорожі як ступінчасті функції. Характеристики та властивості таких задач виключають модифікацію більшості алгоритмів, які були розроблені для задачі маршрутизації транспортного засобу. Проблема маршрутизації транспортного засобу, залежного від часу визначається наступним чином. Автомобільний парк фіксованих потужностей обслуговує клієнтів з фіксованими вимогами з центрального депо. Клієнти призначені для транспортних засобів, а транспортні засоби маршрутизовані таким чином, щоб загальний час маршрутів було мінімізовано. Час подорожі між двома клієнтами або між клієнтом і депо залежить від відстані між пунктами та часом дня. Також можуть бути присутні часові вікна для обслуговування клієнтів. Характеристики та властивості задачі виключають модифікацію більшості алгоритмів, розроблених для проблеми маршрутизації транспортного засобу [10].

Модель, представлена в статті [12], є дуже гнучким і може бути налаштована для розгляду різних наборів правил, встановлених урядовими положеннями та профспілковими договорами. Представлено підхід до динамічного програмування, а його ефективність демонструється для регулювання робочого часу в Сполучених Штатах і в Європейському Союзі [13]. У даній роботі досліджується проблема планування мінімальної тривалості водія вантажівки (MD-TDSP), яка є проблемою визначення графіка, що відповідає чинному законодавству, в якому вся робота починається в межах одного з відповідних часових вікон і має мінімальну тривалість. У MD-TDSP, водій вантажівки може приймати відпочинкові періоди лише на місцях або в місцях відпочинку. Більшість попередніх підходів до планування водіїв вантажних автомобілів дозволили водіям вантажних автомобілів будь-коли відпочити. Проте розгляд місця розташування відповідних місць відпочинку є особливо важливим, якщо використовуються автомагістралі, а водії вантажних автомобілів повинні продовжувати керувати автомобілем до досягнення наступної відповідної зони відпочинку. Ця стаття показує, як в рамках підходу до розгляду можуть розглядатися факультативні правила в Європейському Союзі, які дозволяють робити перерви та періоди відпочинку в двох частинах [2].

У [7] сформульована єдина модель маршрутизації вантажівки з часом, що залежать від часу, правилами НОС, кількома місцями доставки та вікнами обслуговування. Мета полягає в мінімізації загального часу, необхідного для обслуговування певної кількості клієнтів. У цій роботі є модель, що залежить від часу вантажівки та планування вантажівки з часовими вікнами та правилами «Години обслуговування» (НОС). Використано жадібну евристику, щоб генерувати хороші початкові рішення проблеми, які були додатково вдосконалені за допомогою імітаційного відпалу.

У роботі [14] розглядається проблема маршрутизації транспортного засобу з динамічним часом пересування через потенційне перевантаження трафіку. Розроблений підхід вводить переважно компонент трафіку, заснований на теорії масового обслуговування.

Багато моделей складання розкладів базуються на використанні технології Петрі-об'єктного моделювання. Імітаційні моделі, на відміну від аналітичних, здатні враховувати специфічні деталі функціонування елементів системи. Кожний метод має свої переваги моделювання, тому важливо мати таку формалізацію системи, яка б дозволяла застосовувати обидва підходи. [11]

При розгляді запитів на перевезення на великі відстані тривалість періодів відпочинку та перерв впливає на загальний час, необхідний для виконання. У Європейському Союзі Регламент (ЄС) № 561/2006 визначає правила, що стосуються кількості, тривалості та часових інтервалів, коли необхідно вживати періоди відпочинку та перерви. У даному дослідженні запропоновано дві змішані цілі лінійні моделі програмування та стратегії оптимізації, які разом з алгоритмом перетворення

дозволяють планувати діяльність водія відповідно до цього правила для даної послідовності розташування клієнтів та інших зупинок, які необхідно відвідати. Одна з моделей враховує всі правила, включаючи розширені правила, а інша враховує регулярні вимоги. Кожне місцезнаходження клієнта має один або декілька часових вікон, серед яких має бути зроблений вибір. Особливістю є розгляд «м'яких» часових вікон, які досі не вивчалися в цьому контексті. Якщо часові вікна не можуть бути виконані, отриманий графік надає диспетчеру важливу інформацію, необхідну для встановлення кращого графіка. У режимі онлайн-перепланування запізнення може бути виявлено на ранній стадії, так що можна реорганізувати графік або обговорити час прибуття з клієнтами до того, як зв'язок та витрати збільшаться, а подальші затримки або скасування неминучі. На додаток до математичних моделей, був розроблений міопічний алгоритм, який може тільки "побачити" маршрут до наступного припинення клієнта і відповідного часового вікна клієнта заздалегідь і планує діяльність водія відповідно. Прості стратегії були обрані для інтеграції додаткових правил. Тестові приклади були отримані з реальних даних і включали маршрути транспортних засобів протягом одного тижня. Проведено аналіз чисельних результатів, отриманих за допомогою математичних моделей та міопічного алгоритму, за часом виконання, затримкою та загальним часом руху [12].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Спільним недоліком усіх розглянутих вище праць є те, що у них автори намагались формалізувати такі процеси транспортування, які важко формалізуються. Тому використовувалась велика кількість змінних, а алгоритми були складними і не давали точного розв'язку.

Формулювання мети і постановка завдання. Метою наших досліджень було спростити формулювання задачі, але при цьому враховувати, що буде застосована маршрутизація декількох транспортних засобів одночасно і врахована їх ефективна взаємодія. Ми виходили з того, що для виконання більшості замовлень на міжнародні вантажні перевезення перевізник може вибирати один з альтернативних маршрутів, які можуть відрізнятися довжиною, наявністю заторів і перешкод, отже швидкістю руху. Кожен з альтернативних маршрутів також може мати різну кількість транспортних пунктів, де може бути здійснені відпочинок, перерва, заправка, навантаження, чи розвантаження транспортного засобу.

Застосовано такі припущення.

1. Водії закріплені за транспортними засобами і не змінюють їх до кінця горизонту планування.
2. Тривалості операцій навантаження/розвантаження, митного контролю, руху вздовж заданої магістралі у визначений час є величинами, які можна з достатньою точністю передбачити.
3. Відпочинок водіїв може бути передбачений тільки у наперед визначених місцях, таких як фіксована стоянка, мотель, автозаправка. Вони не можуть виконуватись обабіч траси.
4. Оскільки маршрути, які розглядаються, не перевищують 500 км, то кожним транспортним засобом керує один водій.

Виклад основного матеріалу. Альтернативні маршрути можна урізноманітнити розробкою варіантів допустимих розкладів роботи і відпочинку водіїв. Їх отримано при застосуванні допустимих можливих опцій, як це зроблено в роботі [12]:

- поділу часу перерв керування;
- поділу часу міжзмінного відпочинку;
- зменшення часу щодобового відпочинку;
- збільшення щоденного часу керування.

Зауважимо, що останні дві опції зменшують час роботи водіїв на наступних транспортних циклах, тому варіанти розкладів відрізняються своїми перевагами і недоліками.

Для прикладу покажемо варіанти виконання вантажних перевезень за маршрутом Львів (Україна) – Бидгощ (Польща). На рисунку 1 показана карта маршруту з Google Map, на якій вказано три альтернативні траси, які проходять відповідно, по магістралях E40, E371, E372.

Кожна з магістралей характеризується рівнем інтенсивності потоку і часом її проїзду, а також наявністю тимчасових перешкод у вигляді ремонтних робіт чи інших заторів. Виконання замовлення включає операції підготовки в місці відправлення вантажівки, доїзд до місця завантаження у Львові, руху по окремих ділянках магістралі, митних процедур, заправок паливом, розвантаження у пункті призначення. На рисунку 2 подано варіанти розкладів виконання замовлення при наявності одного водія.

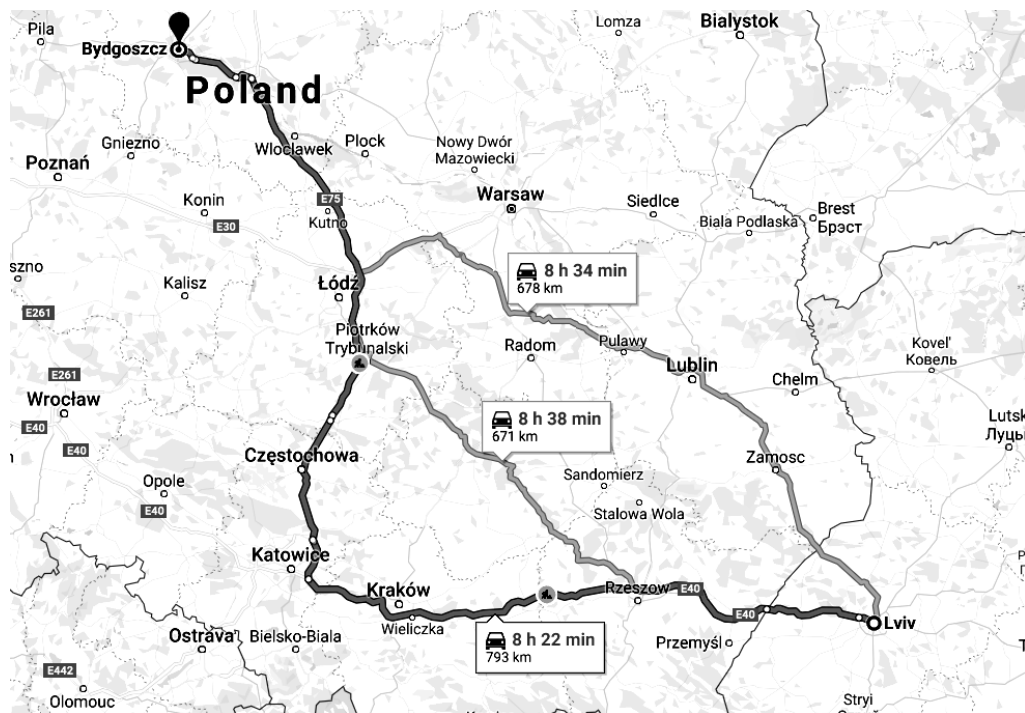


Рисунок 1 – Карта маршруту
Figure 1 – Is a map of the route

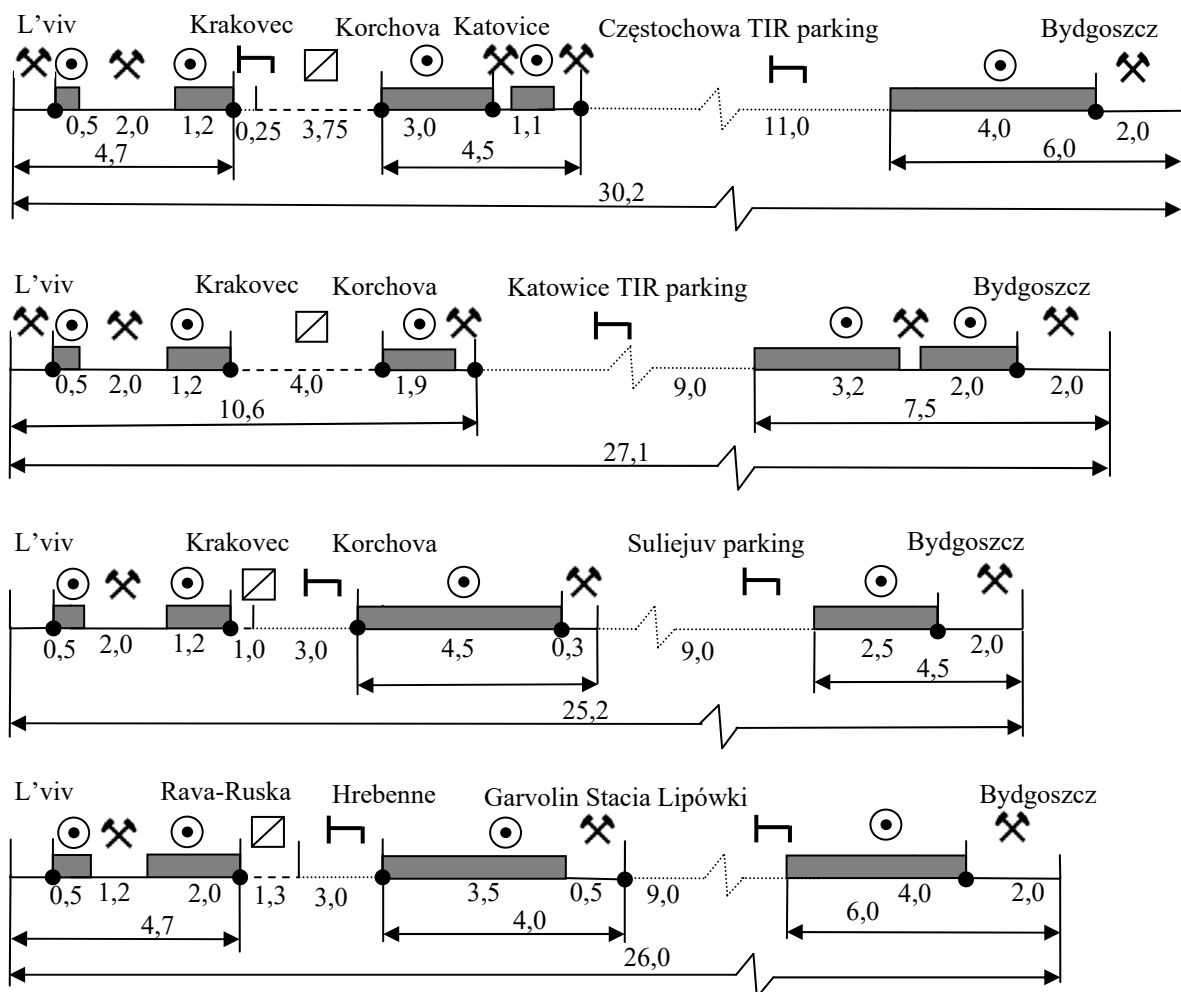


Рисунок 2 – Варіанти розкладів роботи водіїв
Figure 2 – Variants of drivers' work schedules

Варіант на рис.2а стосується проїзду по магістралях Е40, Е75, через Краків, Катовіце, Ченстохова, Лодзь. Тривалість навантаження у всіх варіантах – 2 години. Тривалість простою на митниці Краківць-Корчова – 4 години. У зв'язку з тим, що більшість часу простою на митниці – це очікування початку митних процедур, то даний на рис. 2а розклад включає першу частину розділеної перерви в керуванні – 15 хв. для того, щоб сумістити непродуктивні простої. Час міжзмінного відпочинку тут не скорочується. Тривалість керування збільшена до 10,2 годин. Загальна тривалість циклу становить 29,5 год. Після цього циклу водій може виконувати наступний нескорочений робочий цикл. Такий самий маршрут, але виконаний за продовженою робочою зміною приводить до скорочення тривалості циклу на 2,5 години – 27,1 год. (рис. 2.б).

Але у цьому випадку час виконання наступних замовлень, або ж руху до пункту наступного завантаження може бути довшим через необхідність застосувати вимогу ст. 6, п. 2. і 3 ЄУТР. Інші розклади також побудовані з дотриманням вимог і приписів (рис. 2.с-d). Якщо після виконання рейсу А. Львів-Бидгощ для водія даного транспортного засобу поставити завдання інших рейсів, то вони будуть виконуватись з різним успіхом, який залежить від:

- а) вибраного варіанту розкладу А;
- б) вибраного варіанту наступного розкладу В.

Це дає підстави сформулювати і розв'язати задачу, яка полягає в комбінуванні можливих альтернатив, враховуючи такі умови:

- а) наявну кількість вільних транспортних засобів;
- б) допустимий горизонт планування;
- с) наявні замовлення.

Задача формулюється так. На період часу T задана множина замовлень P , кожне p_i з яких можна виконати k альтернативними маршрутами і розкладами, які побудовані попередньо. Альтернативні варіанти виконання кожного із замовлень є несумісними в часі. Серед усіх альтернативних маршрутів і відповідних розкладів виконання одного і того ж замовлення потрібно вибрати, щонайбільше, один. Загалом потрібно знайти таку послідовність виконання перевезень заданою кількістю автотransпортних засобів m , при якій загальна тривалість проекту в рамках горизонту планування T , буде мінімальною, а усі обмеження режимів праці і відпочинку водіїв, а також щодо терміновості замовлень будуть дотримані. Фактично у цій задачі потрібно комплексно виконати такі дії:

- а) розподілити наявні транспортні засоби по завданнях, при цьому умова обов'язкового залучення усіх m з них не ставиться;
- б) вибрати раціональну послідовність виконання замовлень кожним із залучених автопоїздом; виконання усіх відомих замовлень не вимагається;
- с) вибрати найбільш придатний маршрут і схему організації праці та відпочинку водіїв для даного замовлення.

Кожне i -те замовлення може мати такі характеристики:

а) часові вікна $[t_{b,i}, t_{e,i}]$, де $t_{b,i}$ – момент часу, не раніше якого його потрібно розпочати у пункті його відвантаження; $t_{e,i}$ – момент часу, до якого його потрібно завершити; впродовж горизонту планування кожне замовлення може мати декілька часових вікон;

б) $t_{o,i}$ – фактичний момент початку виконання i -го замовлення;

в) $t_{f,i}$ – фактичний момент завершення у кінцевому пункті його доставки;

г) t_i^k – математичне сподівання тривалості виконання замовлення за альтернативним розкладом k , $k=1..m$, обчислене з припущенням, що водій, який виконував його, попередньо завершив щотижневий цикл керування, і мав відповідний період відпочинку, тобто t_i^k не залежить від попередньо виконаної роботи.

Оскільки $t_i^k \leq T$, то впродовж горизонту планування кожен з автомобілів може виконати не менше, ніж одне замовлення декілька замовлень, якщо це не суперечить конвенціям про міжнародні перевезення, наприклад, про заборону каботажних перевезень без відповідної ліцензії []. Якщо замовлень є декілька, то, Щоб розпочати виконання першого з них, потрібно подати транспортний засіб в той пункт, де i -те замовлення є сформоване не пізніше директивного моменту $t_{e,i}$. Час, необхідний водієві, для виконання замовлень потрібно узгодити з правилами ЄУТР. Вибір варіантів

розкладу залежить від тривалості руху і простоювання. Отже, потрібно врахувати тривалість нульових пробігів, а також час руху і перерв у поїзді між пунктами i, j :

$$t_{i,j}^k = t_{i,j.mov}^k + t_{i,j.br}^k + t_{i,j.rest}^k + t_{i,j.serv}^k, \quad (1)$$

де $t_{i,j.mov}^k$ – час руху вантажівки між пунктами i та j за k варіантом розкладу;

$t_{i,j.br}^k$ – тривалість перерв для відпочинку водія;

$t_{i,j.res}^k$ – тривалість щоденного відпочинку водія;

$t_{i,j.serv}^k$ – тривалість інших робіт, таких як заправка автомобіля паливом, навантаження /розвантаження, митний контроль, ремонт і обслуговування автомобіля в дорозі та інші операції, які вимагають витрат робочого часу водія.

Для виконання наступного j -го замовлення транспортний засіб потрібно подати для завантаження в сусідній транспортний пункт, де є відповідний запит, або ж завантажити у тому ж таки пункті, де попередньо відбулося розвантаження. Замовлення i, j можуть бути пов'язані часовими зв'язками, у зв'язку з необхідністю дотримання допустимого розкладу. Це можна узагальнити з допомогою такої величини, яка показує співвідношення моментів початку відповідних i -го та j -го транспортного процесу (виконання замовлення) за k варіантом розкладу:

$$a_{i,j}^k = t_{o,j} - t_{o,i} + t_{i,j}^k, \quad (2)$$

або для оберненої послідовності виконання:

$$a_{j,i}^k = t_{o,i} - t_{o,j} + t_{j,i}^k, \quad i, j = \overline{1, P}. \quad (3)$$

Усю множину P відомих замовлень можна відобразити з допомогою змішаного графа $A(G, U, V)$, де G – множина вершин, $\{g_1, g_2, \dots, g_{p-1}, g_p\}$, в якій $g_2 \dots g_{p-1}$ символізують моменти початку виконання замовлень. Вершина g_1 – фіктивна, представляє формальний момент початку усього проекту. Вершина g_p – фіктивна, символізує кінець планового циклу тривалістю T . U – множина дуг, кожна з яких відображає часовий зв'язок $a_{i,j}^k$ між моментами початку виконання i -го та j -го замовлення за k -м варіантом маршруту, одним і тим ж транспортним засобом. Дуги графа A – зважені. Якщо існує замовлення, то воно відображається у графі A дугою ваги $a_{i,j} > 0$. При цьому повинна виконуватись вимога (2), або (3). Крім того, з допомогою дуг задаються часові обмеження проекту. Так, дуги $a_{1,i}$ – це найбільш ранні моменти можливого початку виконання кожного i -го замовлення. Кожна дуга $a_{i,P}$ – це часовий зв'язок, «чиста» тривалість виконання i -го замовлення так, що ніби транспортний засіб до початку завантаження перебував у i -му пункті уже, і на марний, чи нульовий пробіг, а також на відпочинок водія не витрачено часу. Очевидно, що:

$$a_{i,P} \leq a_{i,j}. \quad (4)$$

Умова (4) виконуватиметься для будь-яких i та j .

Дуга з від'ємною вагою, $-a_{i,1}$ відображає часові обмеження для виконання i -го замовлення. Наприклад, $-a_{P,1}$ – це дозволений час для виконання усіх відомих замовлень (як правило, він збігається з періодом T). Усі дуги $-a_{P,i}$ відображають директивні моменти найбільш пізнього закінчення i -х замовлень. Усі ж інші неіснуючі, або несуттєві зв'язки відображені дугами з вагою $-\infty$. У моделі графа A (рис. 3) задана, також, множина V – ребер (зв'язки без стрілок, або з обопільними стрілками), кожному $[i, j]$ з яких поставлена у відповідність пара ваг $a_{i,j}, a_{j,i}$.

Якщо між вершинами i, j є ребро, то це означає їх часову взаємозалежність і відповідні i , та j замовлення виконуватимуться в довільному порядку. Шляхом в графі $A(Q, U, V)$ називається послідовність дуг $U_k = \{(g_1, g_i), (g_i, g_j), \dots, (g_x, g_p)\}$, де всі вершини різні, а початкова і кінцева – можуть збігатись. Контур – це замкнутий шлях в графі A . Вагою шляху назвемо суму ваг дуг, що

входять до нього. Вага шляху виражається чисельно в межах інтервалу $(-\infty, +\infty)$, тобто є дійсним числом. В зв'язку з цим використовується термін контур, або шлях додатної (або від'ємної) ваги. Шлях найбільшої додатної ваги в графі A , що з'єднує i, j вершини, позначимо $\mathcal{G}_{ij}$. Якщо в графі A не існує шляху з вершини i у вершину j через ліквідацію деяких ребер, то $\mathcal{G}_{ij} = -\infty$.

До процесу перевезення може бути задіяно m транспортних засобів. Вони повинні працювати синхронно, виконуючи по декілька замовлень послідовно. Це означає, що у графі A потрібно знайти m ланцюгів, які починаються у вершині g_1 , проходять через деякі вершини графа, які стосуються наявних замовлень і закінчуються у вершині g_p . Шукані ланцюги мають проходити по тих вершинах, для яких $q_{x,y} > 0$. Якщо ланцюг доходить до вершини y , а далі нема жодного шляху у графі A з невід'ємною, або ненульовою вагою, то ланцюг при цьому прямує до вершини g_p .

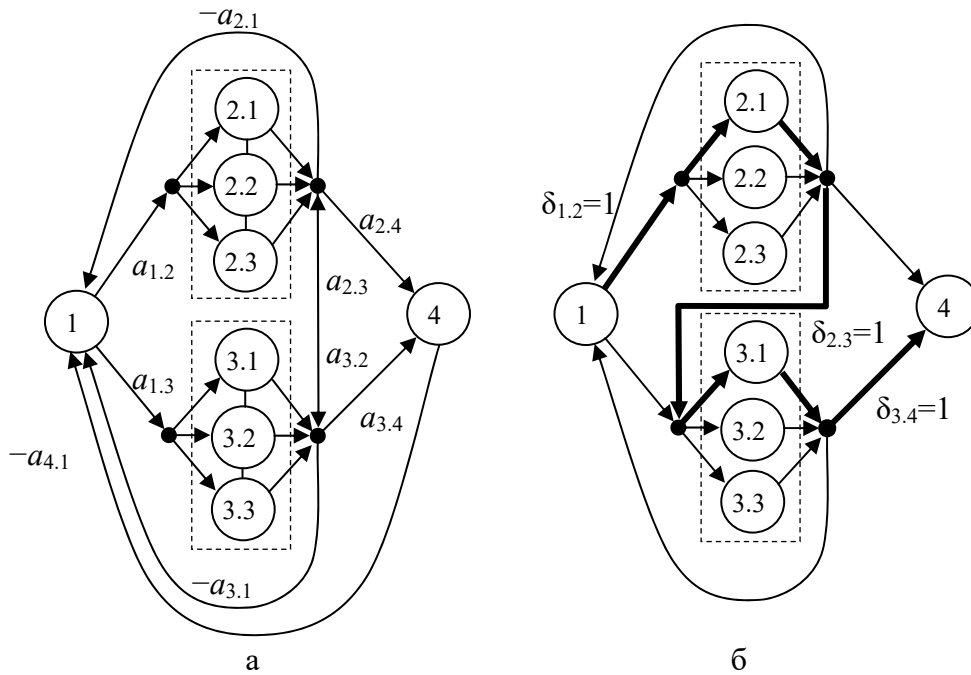


Рисунок 3 – Модель складання розкладу виконання замовлень на перевезення вантажів:
а) змішаний граф з відміченими на ньому вагами a_{ij} відповідних дуг; б) орієнтований граф без циклів і контурів додатної ваги з відміченими змінними δ_{ij}

Figure 3 – The model of the schedule of execution of cargo transportation orders:
a) a mixed graph with the weights a_{ij} of the corresponding arcs marked on it; b) directed graph without cycles and contours of positive weight with marked variables δ_{ij}

Транспортний цикл для цього автомобіля вважатимемо завершеним, незважаючи на те, що резерв часу на виконання інших, ще не виконаних замовлень є. Задача має такі особливості порівняно з відомою задачею багатьох комівояжерів. Період T не є наперед заданою величиною й не шукається найкоротше його числове значення. Кількість заданих транспортних засобів може не дорівнювати кількості реально задіяних до перевезення; крім того, щоб формалізувати дефіцит перевізних спроможностей парку транспортних засобів при заданому потоку замовлень, задаються фіктивні транспортні засоби, таким чином, з усіх знайдених формальних шляхів у графі A вибираються найкращі; інші, менш вдалі приписують фіктивним транспортним засобам.

Формальний зміст задачі побудови розкладу полягає у тому, що потрібно знайти шляхи $\mathcal{G}_{ij}$ для усіх, $i, j=1 \dots P$. Ваги цих шляхів визначають моменти найбільш раннього початку виконання кожного i -го замовлення [18]. Для того, щоб шуканий розклад $\{t_{o,1}, t_{o,2}, \dots, t_{o,p}\}$ був однозначним (не було часового неузгодження), потрібно дотримуватися умови

$$a_{i,j} \geq t_{o,j} - t_{o,i}. \quad (5)$$

Момент початку виконання будь-якого i -го замовлення шукається із співвідношення [12]:

$$t_{o,i} = \max_j \{0, g_{i,j}\}, \quad 1 < j < p, \quad (6)$$

Момент завершення будь-якого i -го замовлення знаходимо з виразу:

$$t_{f,i} = t_{o,i} + a_{i,p} < t_{e,i}, \quad (7)$$

Розклад, для якого для всіх замовлень й усіх автомобілів виконується умова (5) називається активним, а величина $t_{f,i}$, що розрахована за (6), буде найбільш раннім завершенням i -го замовлення. Існує взаємно однозначна відповідність між множиною всіх активних розкладів, що побудовані з графа A і множиною $\hat{P}(A)$ всіх графів, які не містять контурів додатної ваги [18]. Отже, однозначним вважаємо розклад, що породжений графом $A(G, U, V)$ і не містить контурів додатної ваги, а значить і ребер V . Застосовано послідовний аналіз варіантів з перебором усіх графів з множини $\hat{P}(A)$, і пошуком серед них оптимального за критерієм (4). Для організації такого пошуку, з метою уникнути непродуктивного перебору неоптимальних варіантів, використано процедуру послідовного розбивання $\hat{P}(A)$ на підмножини.

Між вершинами графа A , які відносяться до однієї підмножини k , встановлені ребра, які означають їх незалежність. Однак фактично ці вершини відображають взамовиключні альтернативи одного і того ж замовлення, хоча й мають різні часові зв'язки. Такі відношення неможливо відобразити в графічній моделі з допомогою дуг, або ребер. Наприклад, на рис. 3 є обведені штриховою лінією вершини, які означають різні маршрути, або різні розклади. Між ними проставлено ребра, хоча має бути встановлений жорсткий взамовиключний зв'язок. Це означає, що розклад виконання замовлень має будуватись по шляху в графі, який проходить лише через одну з трьох вершин 2.1 / 2.2 / 2.3 і, відповідно 3.1 / 3.2 / 3.3. Для реалізації цього введено додаткові змінні $\delta_{i,j,k} \in \{0,1\}$. Якщо шлях проходить у графі через вершину $g_{i,k}$, то усі інші вершини підмножини k мають бути ізольовані з використанням змінної δ_{ij} так:

$$\sum_{j=1}^P \sum_{k=1}^s \delta_{1,j,k} = 1, \quad (5)$$

де s – кількість альтернативних шляхів виконання j -го замовлення.

Алгоритм розв'язування задачі є таким. Множину замовлень G також розбито на k непорожніх підмножин G_k , $k=1,2,\dots,s$, кожна з яких відображає унітарне замовлення. В задачі потрібно побудувати розклад виконання заданих замовлень на перевезення, тобто для кожної поїздки з вантажем $i \in G$ вказати момент її початку $t_{o,i}$, і момент закінчення $t_{f,i}$, а також номер автопоїзда M_k , на якому вона повинна виконуватись. Оптимальним вважається розклад для якого виконується умова:

$$F(t_{o,1}, t_{o,2}, \dots, t_{o,p}) \rightarrow \min \quad (6)$$

де F – функція мети, що є, у даному випадку, загальною тривалістю проекту. Враховуючи введені змінні (5), обчислення критерію буде таким:

$$T_{pr} = \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^P \sum_{k=1}^s \delta_{i,j,k} \cdot a_{i,j,k} \rightarrow \min. \quad (7)$$

Зміст операцій з графом A полягає в наступному.

1. Ототожнити усі вершини, які входять у кожную підмножину $k=1\dots s$ в одну. Вершини будь-якої множини k будуть об'єднані, а усі зв'язки їх з іншими вершинами, що не належать цій множині, будуть еліміновані, крім вершини, з якою проведено утотожнення. Наприклад, підмножина 2 графа

початкової моделі, що на рис 3 а, містить 3 вершини: 2.1, 2.2, 2.3. В результаті ототожнення у підмножині еліміновано вершини 2.2 і 2.3, які стають ізольованими, оскільки змінні $\delta_{i,2.2}$ та $\delta_{i,2.3}$ набувають нульових значень, тобто усі зв'язки цих вершин також знищуються. Представником множини стає вершина 2.1, зв'язки якої з іншими вершинами графа залишаються.

2. Видалити контури додатної ваги графа A . Для цього потрібно забезпечити виконання таких обмежень:

$$\sum_{j=1}^n \delta_{i,j} - \sum_{i=1}^n \delta_{i,j} = 0, \quad (8)$$

що означає, що кількість дуг, які входять до будь-якої i -ї вершини графа A , крім кінцевої, повинна дорівнювати кількості дуг, які з неї виходять;

$$\sum_{j=1}^P \delta_{1,j,k} = M, \quad (9)$$

яке означає, що кількість дуг, які виходять з початкової фіктивної вершини, повинна дорівнювати кількості наявних транспортних засобів, які можуть виконувати перевезення;

$$\sum_{i=1}^P \delta_{i,P,k} = -M, \quad (10)$$

яке означає, що кількість дуг, які заходять в кінцеву фіктивну вершину, має дорівнювати кількості наявних транспортних засобів M .

З іншого боку, ця задача пов'язана з часовим впорядкуванням робіт (замовлень) і розподілом їх між наявними транспортними засобами. Тому її можна віднести за відомими класифікаційними ознаками до задач складання циклічних унітарних розкладів для потокового виконання операцій проекту декількома засобами [9]. Плануючи виконання перевезень, потрібно розробити, з одного боку, найкоротший за марним пробігом маршрут руху для кожного транспортного засобу, який буде задіяний в процесі, а з іншого – найкращий розклад виконання замовлень для сукупності автопоїздів з мінімальними непродуктивними простоями при наявності часових обмежень, тобто без затримок. Враховуючи структуру і властивості типового транспортного процесу у середніх і великих транспортних системах, таку задачу потрібно віднести до оптимізаційних [10]. За складністю алгоритму пошуку оптимального розв'язку вона відноситься до поліноміальних задач, тобто для неї існує детермінований алгоритм пошуку успішного точного, або наближеного розв'язку за поліноміальний час [9]. Враховуючи те, що такі задачі можуть бути сформульовані лише для невеликої кількості замовлень на горизонті планування міжнародних перевезень, то розмір задачі і, відповідно, її складність не будуть значними.

Результат застосованого впорядкування початкового графа – орієнтований граф без циклів. Окремі результати оптимізації за розробленим алгоритмом подано на рис. 3 б. Потовщеними стрілками показані дуги на результуючих графах, які входять до критичного шляху, тобто такі, за якими обчислюються моменти ранніх закінчень виконання замовлень $t_{o,i}$.

Результати досліджень. Запропонований алгоритм було застосовано для такого прикладу. Розглядалися замовлення на міжнародні перевезення вантажів у пакетах автомобільним транспортом на маршрутах:

А) Львів (Україна) - Бидгощ (Польща); В) Львів-Вроцлав (Польща), С) Брно (Чехія)-Львів; Д) Катовіце (Польща) – Львів; Е) Краків (Польща)-Львів; Ф) Брно-Краків. Для виконання цих перевезень можуть бути використані 5 вантажних автопоїздів, які розташовані на виробничій базі під містом Львовом. Виконання кожного замовлення може бути здійснено із застосуванням різних схем організації праці і відпочинку водія, а також різних маршрутів. Показники тривалості різних варіантів цих замовлень подано в таблиці 1. Горизонт планування – 56 годин, що відповідає одному тижню роботи. Кожним транспортним засобом керує один водій. Відпочинок і перерва водія може здійснюватись тільки у фіксованих транспортних пунктах. Тривалість простою на митному контролі в пунктах пропуску на кордоні Україна-Польща – 4 год. Тривалість навантаження/розвантаження автопоїзда для усіх замовлень є однакова – 2 години. наведені в таблиці параметри маршрутів обчислені.

Як видно з таблиці тривалість рейсу є в прямій залежності від тривалості роботи водія. Тривалості рейсів тут обчислені з припущенням, що транспортний цикл виконується на початку тижневого циклу і попередньо водій не скорочував щотижневого відпочинку.

Якщо для одного транспортного засобу призначити декілька завдань (замовлень) то тривалість виконання кожного з них відрізнятиметься від тої, що подана в табл.1. Тому для моделювання процесу було складено матрицю переходів від виконання одного транспортного завдання до іншого. Час, необхідний для початку виконання нового замовлення складається з таких елементів:

- a) час нульового пробігу до місця першого завантаження;
- b) час простою, пов'язаного з щоденним відпочинком водія;
- c) час простою, пов'язаний перервами у керуванні;
- d) час очікування початку часових вікон.

Для того, щоб, наприклад, знайти перехідну тривалість від замовлення A1 (Львів-Бидгощ) до замовлення E1 (Краків-Львів), визначимо залишковий робочий час водія після виконання замовлення A1 згідно з табл. 1. Тривалість цього циклу становить 25,2 год., у тому числі робота водія – 13 годин, розподілений відпочинок $3 + 9 = 12$ годин. Керування транспортним засобом – 8,2 годин. Оскільки водій не перевищив дозволу нормативну тривалість робочого часу, то у нього залишився резерв часу для того, щоб добратись в Краків для завантаження. Часове вікно в Кракові – [32, 44]. Крім того, після останнього міжзмінного відпочинку на маршруті A1, Львів-Бидгощ використано 4,5 годин робочого часу разом з 2 години розвантаження у Бидгощі. Час руху за маршрутом Бидгощ-Краків – 5,2 год. по трасі A1. Це означає, що впродовж чинної зміни водій зможе виконати поїздку до Кракова. У Кракові транспортний засіб має вибір: розпочати 11 годинний відпочинок і завантажитись, або ж простояти близько 40 хвилин до початку завантаження, завантажитись упродовж 2 годин і відправитись на міжзмінний відпочинок. У першому випадку витрачається зайвий час на простоювання, тому доцільно вибрати другий, згідно з яким тривалість перехідного процесу до завантаження становить: $5,2 + 11 = 16,2$ годин. Після початку виконання циклу A1 до початку E1 минає 41,4 години, що вкладається у друге часове вікно.

Таблиця 1 – Параметри виконання замовлень із дотриманням правил ЄУТР
Table 1 – Parameters of execution of orders in compliance with EUTR rules

Позначення	Початковий-кінцевий пункти	Часові вікна, годин	Тривалості виконання, годин	Тривалість роботи водія, годин	Тривалість керування, годин
A	Львів-Бидгощ	[24; 32] [48; 56]	1) 25,2 2) 26 3) 27,1 4) 29,5	1) 13 2) 15 3) 16 4) 19	1) 8,2 2) 11 3) 7,7 4) 10,2
B	Львів-Вроцлав	[12; 20] [29; 38]	1) 19,52 2) 20,31 3) 23,1 4) 29,2	1) 10,5 2) 12 3) 4)	1) 6,5 2) 6,5 3) 8,2 4) 8,2
C	Брно-Львів	[32; 42]	1) 16,7 2) 21 3) 25 4) 31,4	1) 2) 3) 4)	1) 2) 3) 4)
D	Катовіце-Львів	[0; 12] [25; 37] [49; 61]	1) 11 2) 14 3) 16	1) 2) 3)	1) 2) 3)
E	Краків-Львів	[10; 22] [32; 44]	1) 9,5 2) 12,5 3) 14	1) 2) 3)	1) 2) 3)
F	Брно-Країв	[0; 12] [20; 32] [46; 58]	1) 10 2) 11 3) 12,5	1) 2) 3)	1) 2) 3)

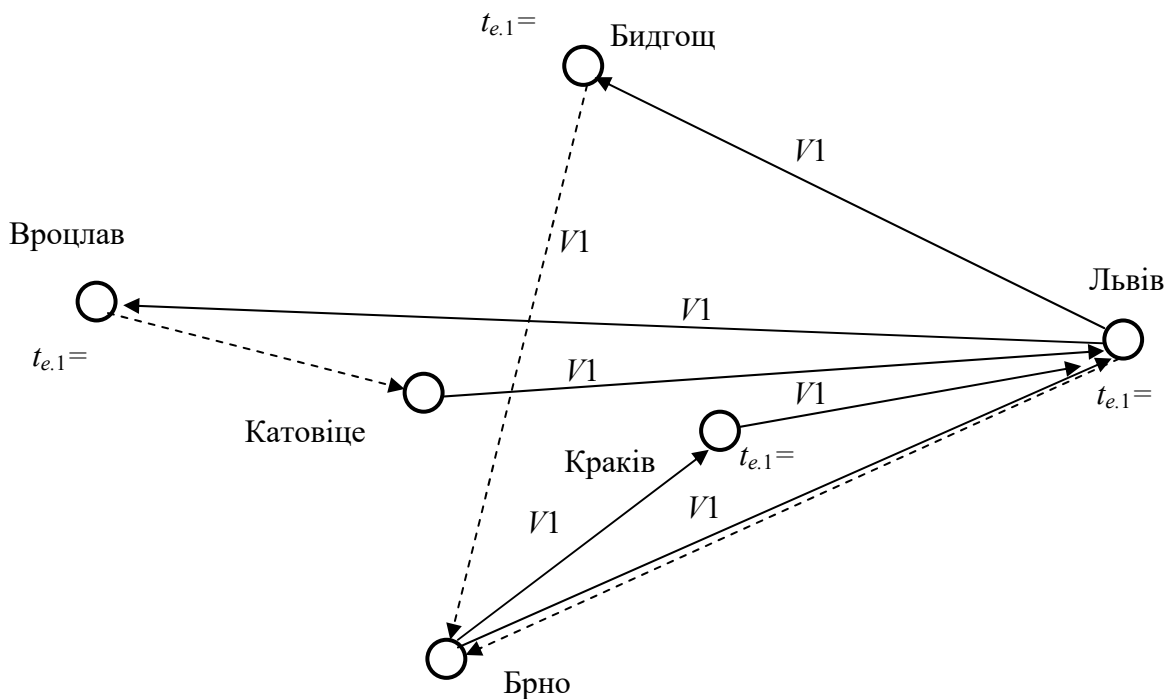


Рисунок 4 – Результати оптимізації міжнародних маршрутів з врахуванням норм ЄУТР
Figure 4 – Results of optimization of international routes taking into account EUTR norms

Висновки та перспективи подальших досліджень. Умови ЄУТР значно ускладнюють розроблення і дотримання найкоротших за тривалістю розкладів руху ТЗ, незважаючи на позитивні функції, які вони виконують. Проте, якщо поєднати окремі задачі вибору маршрутів, розподілу транспортних засобів на маршрути і складання послідовності виконання замовлень, оптимізації розкладів в єдину комплексну задачу, то це розширює пошук ефективних рішень.

Збільшення змінних задачі складання розкладів ускладнює процедуру пошуку гарантованого точного розв'язку. Динамічне програмування, яке застосовувалось донедавна в таких випадках, знижує точність розв'язків. Натомість використання змішаних графів та бінарних змінних робить задачу розроблення розкладу водіїв сукупності транспортних засобів такою, що дає гарантований точний розв'язок. Складання розкладів для парку автомобілів мають вищий якісний рівень, якщо їх отримувати комплексно з маршрутизацією і розподілом автомобілів по відомих замовленнях. Це досягається за рахунок інтегративного ефекту і отримання більшої кількості альтернативних рішень.

Формалізація задачі складання розкладу для одиничного маршруту не є успішним, оскільки тут необхідна дуже велика кількість змінних. Якщо враховувати обмеження на режими роботи і відпочинку водіїв, то складання розкладу з прив'язкою до конкретного маршруту є задачею, яка є складною і не має точного розв'язку.

Складання розкладу роботи транспортного екіпажу для виконання одиничного замовлення не дає в цілому успішного результату, оскільки при виконанні наступних замовлень

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бондарев С. І. Обґрунтування математичної моделі розрахунку тривалості оборотного рейсу при виконанні міжнародних автоперевезень Scientific Journal «ScienceRise» №3/2(3)2014 DOI: 10.15587/2313-8416.2014.27461 7-10.
2. The minimum duration truck driver scheduling problem Goel, A. EURO J Transp Logist (2012) 1: 285. <https://doi.org/10.1007/s13676-012-0014-9>
3. Taran, I & Litvin V. Determination of rational parameters for urban bus route with combined operating mode. Transport Problems 2018, V.13 Issue 4. 157-171 DOI: 10.20858/tp.2018.13.4.14
4. Шраменко ВПЛИВ ТРИВАЛОСТІ МИТНОГО ОФОРМЛЕННЯ НА СТРОК ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ

5. Hokey Min Combined Truck Routing and Driver Scheduling Problems under Hours of Service Regulations Final Report August 20, 2009
6. G. Prokudin, O. Chupaylenko, O. Dudnik, O. Prokudin, A. Dudnik, V. Svatko 2018 APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR THE OPTIMIZATION OF ITINERARY WHEN DELIVERING CARGO BY AUTOMOBILE TRANSPORT Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 2/3 (92) 2018 51-59
7. Vedit Divyang Shah Time Dependent Truck Routing and Driver Scheduling Problem with Hours of Service Regulations Northeastern University Boston, Massachusetts December 19, 2008
8. European agreement concerning the work of crews of vehicles engaged in international road transport (AETR) (Consolidated version*)
9. В.Д. ДАНЧУК, В.В. СВАТКО ОПТИМІЗАЦІЇ ПОШУКУ ШЛЯХІВ ПО ГРАФУ В ДИНАМІЧНІЙ ЗАДАЧІ КОМІВОЯЖЕРА МЕТОДОМ МОДИФІКОВАНОГО МУРАШИНОГО АЛГОРИТМУ System Research & Information Technologies, 2012, № 2 78-86.
10. Jean-Yves Potvin, Ying Xua, Ilham Benyahia Vehicle routing and scheduling with dynamic travel times doi:10.1016/j.cor.2004.09.015 J.-Y. Potvin et al. / Computers & Operations Research 33 (2006) 1129–1137
11. Stetsenko I.V. State equations of stochastic timed Petri Nets with Informational relations // Cybernetics and Systems Analysis. – 2012. – 48, N 5. – P. 784–797.
12. Bernhardt, A.; Melo, Teresa; Bousonville, Thomas; Kopfer, Herbert (2016) : Scheduling of driver activities with multiple soft time windows considering European regulations on rest periods and breaks, Schriftenreihe Logistik der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der htw saar, No. 12, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der htw saar, Saarbrücken
13. Goel, A. and Vidal, T. (2014). Hours of service regulations in road freight transport: An optimization-based international assessment. Transportation Science, 48(3):391–412.
14. Vehicle routing with dynamic travel times: a queueing approach T. Van Woensela, L. Kerbacheb, H. Peremansc and N. Vandaed European Journal of Operational Research · January 2008
15. Chryssi Malandraki, Mark S. Daskin Time Dependent Vehicle Routing Problems: Formulations, Properties and Heuristic Algorithms Transportation Science Volume 26, Issue 3 August 1992 Pages 161-260 <https://doi.org/10.1287/trsc.26.3.185>
16. W Maden et al. Vehicle routing and scheduling with time-varying data: A case study W Maden¹, R Eglese² and D Black² Journal of the Operational Research Society (2010) 61, , No. 3 515—522
17. Goel, A. The minimum duration truck driver scheduling problem EURO J Transp Logist (2012) December 2012, Volume 1, Issue 4, pp 285–306. <https://doi.org/10.1007/s13676-012-0014-9>
18. Танаев В. С., Сотсков Ю. Н., Струсович В. А. Теория расписаний. Многостадийные системы. Москва: Наука. 1989. 328 с.

REFERENCES

1. Bondarev S. I. Justification of the mathematical model for calculating the duration of a return trip when performing international road transportation Scientific Journal "ScienceRise" No. 3/2(3) 2014 DOI: 10.15587/2313-8416.2014.27461 7-10.
2. The minimum duration truck driver scheduling problem Goel, A. EURO J Transp Logist (2012) 1: 285. <https://doi.org/10.1007/s13676-012-0014-9>
3. Taran, I & Litvin V. Determination of rational parameters for urban bus route with combined operating mode. Transport Problems 2018, V.13 Issue 4. 157-171 DOI: 10.20858/tp.2018.13.4.14
4. Shramenko THE INFLUENCE OF THE DURATION OF CUSTOMS CLEARANCE ON THE DELIVERY TIME OF CARGO IN INTERNATIONAL COMMUNICATION
5. Hokey Min Combined Truck Routing and Driver Scheduling Problems under Hours of Service Regulations Final Report August 20, 2009
6. G. Prokudin, O. Shupaylenko, O. Dudnik, O. Prokudin, A. Dudnik, V. Svatko 2018 APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR THE OPTIMIZATION OF ITINERARY WHEN DELIVERING CARGO BY AUTOMOBILE TRANSPORT Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 2/ 3 (92) 2018 51-59

7. Vidit Divyang Shah Time Dependent Truck Routing and Driver Scheduling Problem with Hours of Service Regulations Northeastern University Boston, Massachusetts December 19, 2008
8. European agreement concerning the work of crews of vehicles engaged in international road transport (AETR) (Consolidated version*)
9. V.D. DANCHUK, V.V. SWATKO OPTIMIZATION OF GRAPH PATH SEARCH IN THE DYNAMIC TRAVELER'S PROBLEM USING THE MODIFIED ANT ALGORITHM System Research & Information Technologies, 2012, No. 2 78-86.
10. Jean-Yves Potvin, B. Ying Xua, Ilham Benyahia Vehicle routing and scheduling with dynamic travel times doi:10.1016/j.cor.2004.09.015 J.-Y. Potvin et al. / Computers & Operations Research 33 (2006) 1129–1137.
11. Stetsenko I.V. State equations of stochastic timed Petri Nets with Informational relations // Cybernetics and Systems Analysis. – 2012. – 48, N 5. – P. 784–797.
12. Bernhardt, A.; Melo, Teresa; Bousonville, Thomas; Kopfer, Herbert (2016) : Scheduling of driver activities with multiple soft time windows considering European regulations on rest periods and breaks, Schriftenreihe Logistik der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der htw saar, No. 12, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der htw saar, Saarbrücken
13. Goel, A. and Vidal, T. (2014). Hours of service regulations in road freight transport: An optimization-based international assessment. *Transportation Science*, 48(3):391–412.
14. Vehicle routing with dynamic travel times: a queuing approach T. Van Woensela,*, L. Kerbacheb, H. Peremansc and N. Vandaed *European Journal of Operational Research* • January 2008
15. Chryssi Malandraki, Mark S. Daskin Time Dependent Vehicle Routing Problems: Formulations, Properties and Heuristic Algorithms *Transportation Science* Volume 26, Issue 3 August 1992 Pages 161-260 <https://doi.org/10.1287/trsc.26.3.185>
16. W Maden et al. Vehicle routing and scheduling with time-varying data: A case study W Maden¹, R Eglese² and D Black² *Journal of the Operational Research Society* (2010) 61, , No. 3 515-522
17. Goel, A. The minimum duration truck driver scheduling problem *EURO J Transp Logist* (2012) December 2012, Volume 1, Issue 4, pp 285–306. <https://doi.org/10.1007/s13676-012-0014-9>
18. Tanaev V. S., Sotskov Y. N., Strusevych V. A. The theory of painting. Multi-stage systems. Moscow: Nauka. 1989. 328 p.

РЕФЕРАТ

Хомин Н.Я. Оптимізація графіка роботи водіїв автопідприємства з урахуванням їх взаємодії в транспортному процесі, з обмеженням ЄУТР / Н.Я. Хомин // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

Проаналізовано можливі варіанти режимів праці та відпочинку водіїв вантажівок на міжнародному сполученні. Розроблено модель оптимізації плану роботи автопарку. Ця модель є дворівневою, тобто загальний граф містить підграфи, які розроблені з несумісними вершинами, для визначення активного та найкоротшого часового розкладу на відміну від відомих методів оптимізації. Кожен із підграфів відображає альтернативний маршрут і розклад вантажівок. Модель також містить обмеження на загальний час циклу та активний період доступності точок розвантаження, так звані часові вікна. Щоб перетворити початковий граф на граф без циклів, застосовано цілочисельні двійкові змінні. Для знаходження найкоротшого розкладу використовується цілочисельне програмування з гарантовано оптимальним рішенням. Отримані результати дійсні, відповідають правилам Європейської угоди. Вони вказують на те, що вибір найкращого графіка руху окремої машини на єдиному маршруті не є найкращим рішенням для всього автопарку та всього потоку замовлень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РЕЖИМ РОБОТИ ВОДІЇВ, МАРШРУТИЗАЦІЯ, РОЗКЛАД РОБОТИ.

ABSTRACT

Khomin N.Y. Optimization of the work schedule of the drivers of the automobile company taking into account their interaction in the transportation process, with the limitation of EUTR. *Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal.* – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

Possible variants of work and rest regimes of truck drivers on international traffic have been analyzed. A model for the optimization of the fleet operation plan has been developed. This model is two-level, that is, the general graph contains subgraphs that are designed with incompatible vertices to determine the active and shortest time schedule, unlike known optimization methods. Each of the subgraphs displays an alternative route and truck schedule. The model also contains constraints on the total cycle time and the active period of availability of unloading points, so-called time windows. Integer binary variables are applied to transform the initial graph into a cycle-free graph. Integer programming with a guaranteed optimal solution is used to find the shortest schedule. The obtained results are valid and comply with the rules of the European Agreement. They indicate that choosing the best schedule for an individual car on a single route is not the best decision for the entire fleet and the entire order flow.

KEY WORDS: DRIVERS' WORK MODE, ROUTING, WORK SCHEDULE.

АВТОРИ:

Хомин Назар Якович, аспірант, Національний транспортний університет, e-mail: nazar.khomyn0037@gmail.com. тел. +380672791112, Україна, 02000, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1.

AUTHORS:

Khomin Nazar Yarkovich, PhD student, National Transport University, e-mail nazar.khomyn0037@gmail.com. tel. +380672791112, Ukraine, 02000, Kyiv, str. Mykhailo Omelyanovich-Pavlenko, 1.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мельниченко О.І., кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, Київ, Україна.

Данченко О. Б., доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних наук та системного аналізу Черкаського державного технологічного університету, Черкаси, Україна.

REVIEWER:

Melnychenko O.I., candidate of technical sciences, professor, National Transport University, Head of Department of Manufacturing, Repair and Materials Engineering, Kyiv, Ukraine.

Danchenko O.B., Ph.D., Technical (Dr.), Professor, Professor of Computer Science and Systems Analysis of Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ЛАНЦЮГА ПОСТАЧАННЯ В МІСЬКИХ УМОВАХ

Шевченко А.Т., Національний транспортний університет, Київ, Україна, alisashevchenko505@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2008-7150

Ткаченко І.О., Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, Україна, iryna.tkachenko2017@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5350-0776

ANALYSIS OF RESEARCH ON THE IMPLEMENTATION OF GREEN SUPPLY CHAIN IN URBAN CONDITIONS

Shevchenko A.T., National Transport University, Kyiv, Ukraine, alisashevchenko505@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2008-7150

Tkachenko I.O., O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine, iryna.tkachenko2017@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5350-0776

Постановка проблеми. Транспортна галузь тісно пов'язана з усіма сферами життєвого функціонування кожного жителя міста. Стрімкий розвиток сфер послуг призвів до поспішливого збільшення автомобілізації, що, в свою чергу, в значній мірі, відобразилося на екологічному стані не тільки на локальному та регіональному рівні, а й на глобальному. Ця тенденція змушує компанії перелаштовувати та змінювати свою діяльність, розвивати альтернативні напрямки перевезень та впроваджувати сучасні технології.

Враховуючи той факт, що ланцюг постачання охоплює більшу частину життєвого циклу товару є необхідність його видозміни до екологічного в міських умовах задля поліпшення стану навколишнього середовища. Тому ця тема є актуальною та потребує дослідження.

Аналіз публікацій. Дослідженнями впровадження екологічного ланцюга постачання в міських умовах присвячені праці вітчизняних та іноземних вчених таких, як: Петруня, Ю. Ю., Пасічник, Т. О., Хуберман А., Куперман Н.. Проте більшість науковців зосереджуються на управлінні ланцюгом постачання, а впровадження альтернативного ланцюга постачання в контексті покращення екологічного стану потребує більш детального розгляду.

Формулювання цілей статті. Метою статті є аналіз досліджень впровадження екологічного ланцюга постачання в міських умовах задля покращення екологічного стану навколишнього середовища на міському рівні.

Виклад основного матеріалу дослідження. Управління ланцюгами постачання на сьогоднішній день, не обмежується виключно виробництвом та продажем товарів за доступними цінами, конкурентними ресурсами, споживчим попитом, інвестиціями та регулюванням. Компаніям доводиться враховувати соціальні та екологічні наслідки функціонування ланцюга постачання, які стали фактором впливу на уряд, клієнтів і підприємства. Окрім економічної вигоди слід враховувати такі фактори як добробут громадян, заходи пов'язані зі зменшенням негативного впливу на навколишнє середовище та оптимізацію виробництва.

Згідно дослідження компанії Llamasoft, що займається проєктуванням ланцюгів поставок, найбільше викидів вуглекислого газу від одиниці товару, а саме, від 65% до 95%, приходить не на виробництво товару, а саме на ланцюг постачання. Його вплив на навколишнє середовище може включати токсичні відходи, забруднення води, втрату біорізноманіття, вирубку лісів, довгострокову шкоду екосистем, небезпечні викиди в повітря, а також парникові гази та нераціональне споживання енергії. Цей факт провокує пошук альтернативних варіантів функціонування системи [11].

Це провокує компанії до надання переваги у співпраці з постачальниками з більш сталою, екологічною діяльністю та дотримання наступних положень при виборі своїх постачальників:

- суспільна орієнтованість діяльності (забезпечення прав людини у робочому середовищі, неприпустимість дискримінації, примусової праці; створення безпечних та здорових умов праці, недопущення нещасних випадків; прозорість системи управління, неприпустимість корупції);
- екологічна стійкість (охорона навколишнього середовища, запобігання виникнення несприятливого впливу на нього, постійне покращення екологічних показників; контроль викидів вуглецю, скорочення прямого та непрямого вуглецевого сліду; управління використанням водних та інших ресурсів, їх очищенням та циркуляцією; утилізація небезпечних відходів).

Такі ініціативи від найбільших світових виробників не тільки зменшують їх вплив на середовище, а й стимулюють їх постачальників та менші підприємства впроваджувати подібні підходи та ресурсозберігаючі технології. Більшість організацій починають свій перехід на відновлювальну модель бізнесу у межах своєї операційної діяльності: поступово переходять на відновлювальні джерела енергії чи гібридні види транспорту, зменшують використання паперу та пластику в упакуванні, скорочують витрати електроенергії та води.

У 2006 році вчені Національного управління океанічних і атмосферних досліджень (NOAA) представили щорічний індекс парникових газів (Annual Greenhouse Gas Index), щоб допомогти політикам, освітянам і громадськості зрозуміти вплив рівня парникових газів з часом. Його скорочено називають AGGI, він оновлюється щовесни, коли збираються та аналізуються зразки повітря з усієї земної кулі за попередній рік.

AGGI відстежує вуглекислий газ, метан, закис азоту та хлорфторвуглеці, заборонені Монреальським протоколом, оскільки вони пошкоджують захисний озоновий шар Землі. На ці чотири основних парникових газів припадає приблизно 96 % посиленого впливу на потепління клімату з 1750 року. На рисунку 1 представлені графіки викиди парникових газів по підвидам протягом періоду часу з 1975 по 2020 роки [19].

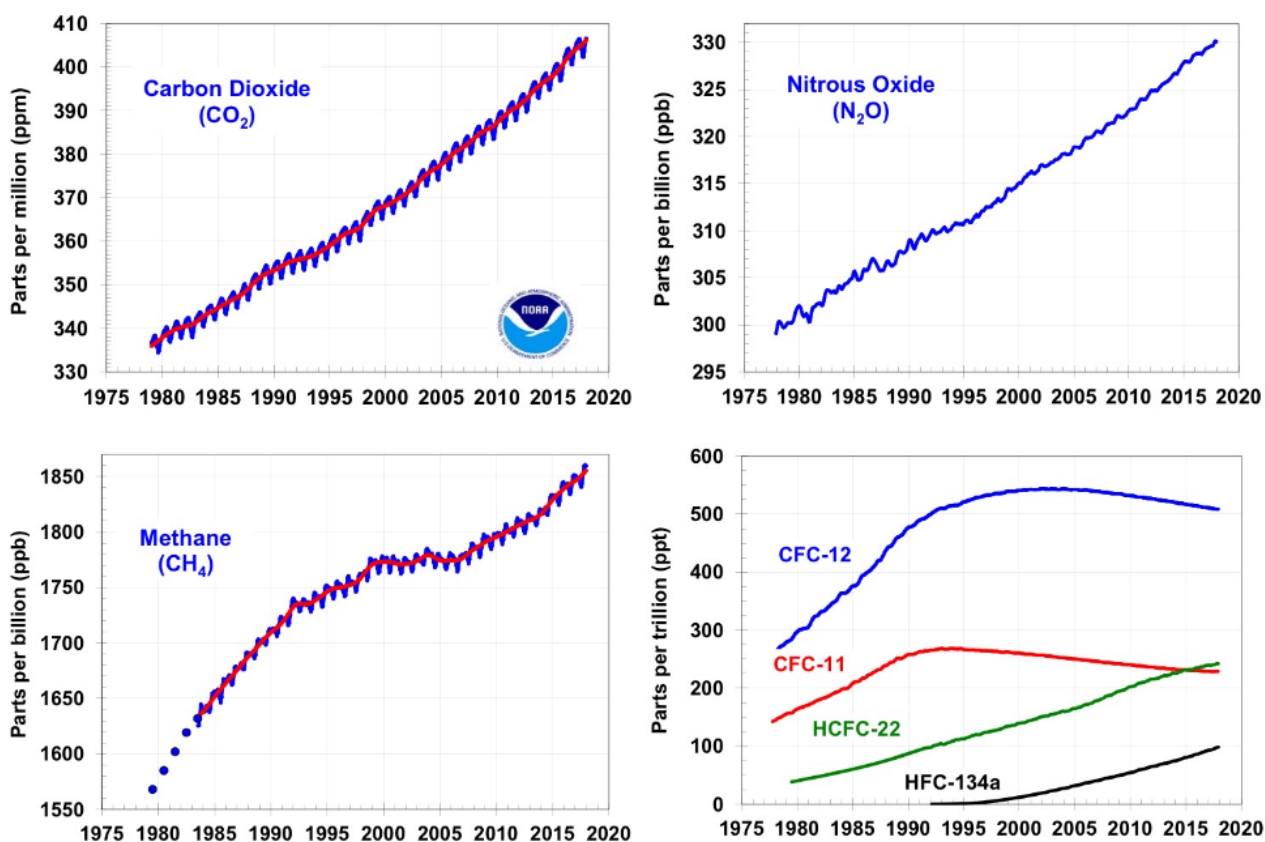


Рисунок 1 – Графіки викидів парникових газів по підвидам
Picture 1 – Graphs of greenhouse gas emissions by subcategory

Рациональним вирішенням проблеми формування екологічного ланцюга постачання є використання сучасної методології під назвою Cradle-to-cradle design (відомої також як 2CC2, C2C, cradle 2 cradle, regenerative design). Вона була розроблена на початку XXI століття професором Майклом Браунгартом разом з архітектором Вільямом МакДоноу. Суть теорії у використанні системи виробництва товару «від колиски до колиски» на відміну від поточної системи «від колиски до могили». Методологія C2C базується на концепції «відходи = їжа», тобто те, що вважається відходами, може стати «їжею» в новому циклі виробництва продукції. C2C припускає, що промисловість повинна захищати та збагачувати екосистеми та біологічний метаболізм природи, а також підтримувати безпечний, продуктивний технічний обмін для високоякісного використання та циркуляції органічних і технічних поживних речовин. Це цілісна економічна, промислова та соціальна структура, яка прагне створити системи, які є не тільки ефективними, але й по суті безвідходними [20].

З практичної точки зору C2C вимагає, щоб продукти були розроблені таким чином, щоб гарантувати, що всі матеріали можна класифікувати в одну з двох циклічних систем

1. Біологічний цикл – матеріали, які природним чином біологічно розкладаються та можуть бути повернуті в екологічну систему. Прикладами таких матеріалів є натуральні волокна та біопластик;
2. Технологічний цикл – метали, пластмаси на масляній основі та хімікати є прикладами цінних матеріалів, які можна переробити або повторно використати для отримання тієї ж або кращої якості в закритих системах, якщо їх не змішувати.

Сертифікат Cradle to Cradle (Cradle to Cradle Certified tm) – це міжнародна сертифікація сировини та продуктів, які можна повністю використовувати повторно таким чином, щоб зберегти або навіть збільшити їх цінність. Це можна реалізувати шляхом повторного використання частин для нових продуктів або у формі здатності до біологічного розкладання, яка забезпечує природу поживними речовинами. Тому склад матеріалів надзвичайно важливий, як і їх походження. Є п'ять рівнів сертифікації, які можуть отримати продукти: базовий, бронзовий, срібний, золотий і платиновий. Щоб отримати сертифікат, продукт повинен відповідати наступним п'яти вимогам:

- здоров'я матеріалу: всі компоненти матеріалу проходять токсикологічну та екотоксикологічну експертизу для заміни шкідливих речовин нешкідливими;
- повторне використання матеріалів: частини продукту повинні бути придатні для переробки в рамках біологічного або технологічного циклу. Чим вища сертифікація, тим більше деталей, які можна переробити, містить продукт;
- відновлювана енергетика та управління викидами вуглецю: 100% енергії для виробництва має надходити з відновлюваних джерел енергії;
- керування водою: вода є цінним ресурсом для всього живого, і з нею потрібно поводитися відповідним чином у процесі виробництва. Чим вищий рівень сертифікації, тим більш придатною для пиття повинна бути вода після того, як вона пройшла процес виробництва;
- соціальна справедливість: під час бізнес-процесу до всіх людей і екосистем ставляться з повагою, і постійно прогресує для досягнення позитивного впливу на людей і планету.

На практиці C2C – це радикальне переосмислення процесу проектування, оскільки воно охоплює весь життєвий цикл продукту, а не лише фазу використання. Проект є частиною циклічної економіки, яка є ширшою концепцією. Циркулярна економіка спрямована на формування економічної системи в екологічно чистий спосіб шляхом мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище. Це включає більший набір проблем і охоплює розробку продуктів і послуг цілісно.

Іншу концепцію впровадження екологічного ланцюгу постачання в міських умовах описують вчені Домінік Займон, Джонатан Таян та Роберт Сруфе у своїй праці «Впровадження сталого управління ланцюгом поставок: реактивна, кооперативна та динамічна моделі». Слід зазначити, що єдиної, універсальної моделі не існує. Кожна галузь і кожна компанія працює в певному середовищі і створює свою власну унікальну систему управління ланцюгом поставок. Однак існує низка універсальних явищ, які впливають на цю сферу, і які є важливими з точки зору впровадження екологічного ланцюгу постачання. Їх зазвичай характеризують як три моделі: реактивну, кооперативну та динамічну, які поєднують економічні цілі з благом суспільства та навколишнього середовища. Вибір щодо конкретної моделі залежить від стратегічних намірів, ресурсів і можливостей компаній, які спільно створюють ці ланцюги поставок [18].

Реактивна модель, що зображена на рисунку 1, є найпростішим підходом до реалізації, де зовнішній тиск невеликий, а внутрішні ресурси можуть бути обмеженими. В даній моделі використовується мінімальний набір практик впровадження. Пропоновані критичні практики включають управління відходами, водними ресурсами, споживання енергії та скорочення викидів, використання нешкідливих та нетоксичних матеріалів, переробку продукції та оцінку стійкості постачальника.

Реалізація такої моделі передбачає наступні підходи до функціонування екологічного ланцюга постачання такі, як обмеження у споживанні природних ресурсів, використання якісних компонентів задля подовження терміну експлуатації товару, пошук альтернативних матеріалів, що будуть менш токсичними у використанні та матимуть нижчий негативний вплив на навколишнє середовище. Також, слід зазначити, що оптимізація пакування та його реорганізація теж мають екологічний підхід. Ця модель являє собою не тільки екологічний підхід до використання, а й впливає на покращення економічних показників [9].

Наступною є кооперативна модель, що представлена на рисунку 3. Дана модель являє собою зміну мислення від реактивного до кооперативного, в якому компанія розглядає впровадження екологічного ланцюга постачання як можливість для бізнесу, а не реакцію на задоволення зовнішніх

вимог. Таким чином, впровадження розглядається як стратегічна бізнес-відповідальність разом з ресурсами, виділеними для інтеграції практик екологічного ланцюга постачання з його учасниками та бізнес-процесами.



Рисунок 2 – Структура реактивної моделі
Picture 2 – Structure of reactive model

Стратегія, представлена в цій моделі, використовує найкращі практики реактивного підходу та розширює їх до додаткових аспектів реалізації, які мають значний вплив на зовнішнє середовище. Найважливіші вдосконалення, запропоновані кооперативною моделлю, включають, як розробку спільної місії, бачення та цілей, так і стратегію управління ланцюгом поставок із сприйняттям багато взаємоузгоджених елементів і процесів, найважливішими з яких є: повна зосередженість на потребах внутрішніх і зовнішніх клієнтів, розвиток основних цінностей і впровадження стандарту, прийнятого і визнаного підприємства, які спільно створюють ланцюг поставок, визначають прозорі правила та процедури управління та зосереджуються на потребах клієнта та зовнішнього середовища [15]. Слід зазначити, що політика сталого управління ланцюгом поставок є стратегічною декларацією для організацій, які спільно створюють ланцюг поставок, і визначає дії для всіх підприємств цього ланцюга. Однак модель має бути впроваджена та розроблена таким чином, щоб ланцюг постачання міг досягти набору визначених цілей.

Кооперативна модель рекомендована для компаній, що мають на меті водночас підвищити економічну ефективність і впровадити стійкі рішення в ланцюзі поставок. Екологічний розвиток, у цьому випадку, може починатися із зусиль, спрямованих на вдосконалення практик управління для підвищення економічних та операційних показників, що призводить до покращених соціальних результатів. І навпаки, інтеграція соціальних проблем у діяльність приносить підприємствам економічні вигоди як прямо, так і опосередковано.

Останньою моделлю впровадження екологічного ланцюга постачання є динамічна, що зображена на рисунку 4. Ця модель має найбільший потенціалом позитивного впливу на навколишнє середовище, суспільство та екосистему. Динамічна модель ще більше розширює сферу вирішення проблем до етичної відповідальності та створення цінності в динамічному середовищі.

Використання даної моделі передбачає визначення екологічних характеристик продукту та врахування цього в процесі проектування на початковій стадії його розробки, широке використання вторинної переробки та пошук більш екологічних альтернативних компонентів, дизайну та енергозбереження продуктів. Важливим компонентом моделі є вторинне використання матеріалів продукції, так звана, переробка, що передбачає відновлення матеріалів з найменшою шкодою для навколишнього середовища, щоб служити сировиною для наступних компонентів виробництва продукції, такої ж або схожої якості.



Рисунок 3 – Структура кооперативної моделі
Picture 3 – Structure of cooperative model

Ця модель схиляється до циклічного управління ланцюгом поставок як концепції, яка мінімізує кількість відходів і максимізує можливість повторного використання матеріалів. Нові показники продуктивності включають рівень екологічного дизайну, відносини з громадою, екологічний імідж та маркетинг. З акцентуванням на соціальному аспекті екологічного розвитку та інноваційному екологічному дизайну, динамічна модель може перетворити ланцюг постачання на конкурентну перевагу в зміні бізнес-середовища для компанії [13]. Динамічна модель у застосуванні до ланцюгів постачання може створити чіткі цінності як у бізнесі, так і в соціальному контексті. У бізнес-контексті, зміцнюючи внутрішній екологічний менеджмент і менеджмент соціальної відповідальності, компанії можуть покращити екологічні та соціальні показники. Компанії, які тісно співпрацюють з постачальниками, можуть сприяти підвищенню корпоративної екологічної ефективності.

Використовуючи динамічну модель можливо досягнути позитивних і багатограних змін у функціонуванні екологічного ланцюга постачання, що позитивно вплине на суспільство та споживачів. Це, у свою чергу, призведе до покращення економічного становища всього ланцюга постачання та компанії в цілому.

Всі підходи, що можливі до використання компаніями задля впровадження екологічного ланцюга постачання повинні враховувати особливості її функціонування або нюанси реалізації. Наявні дані показують, що різні аспекти екологічних і соціальних практик на різних рівнях діяльності ланцюгів постачання і впровадження механізмів можуть допомогти в подальшій інтеграції сталого розвитку компанії.

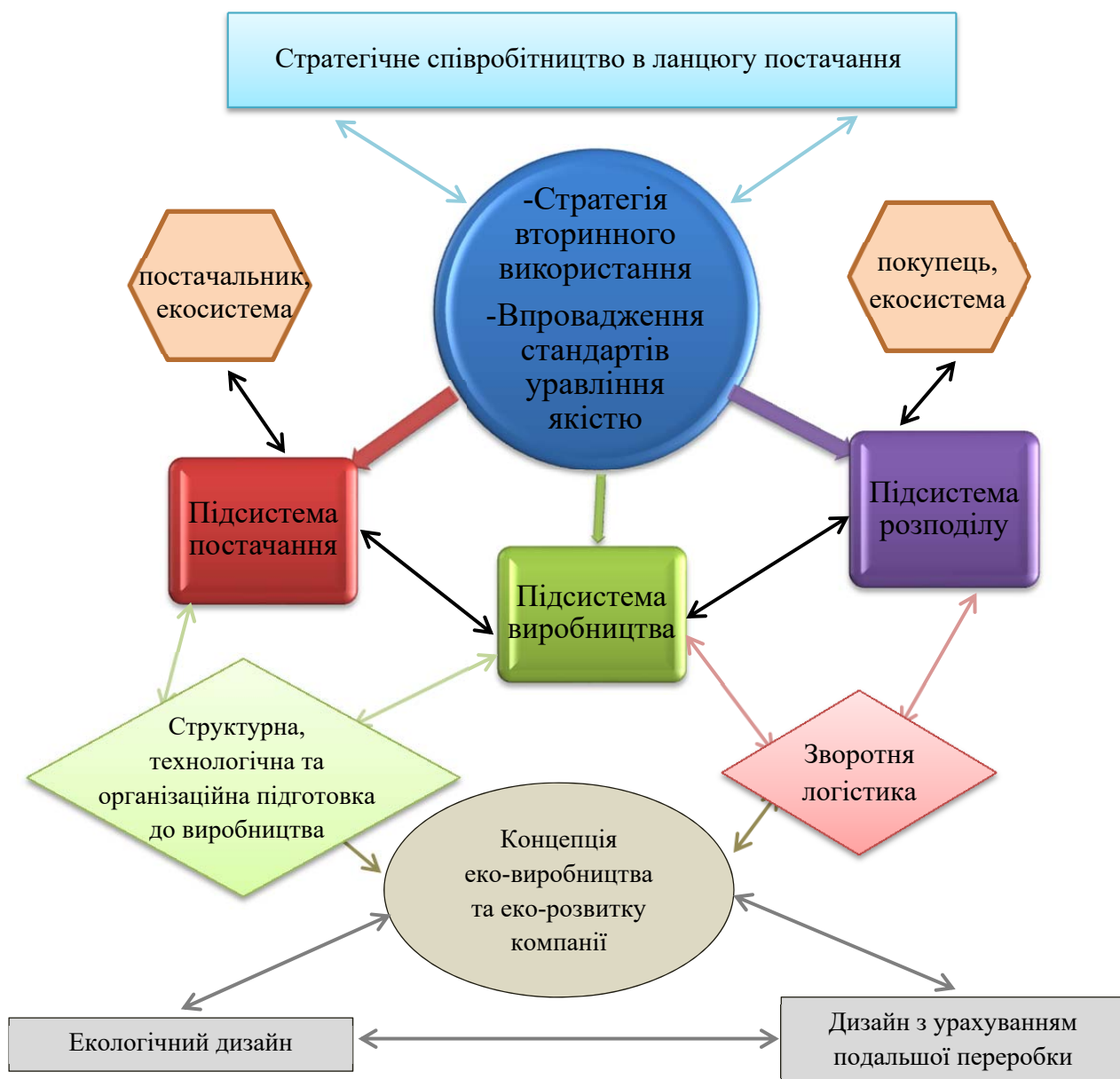


Рисунок 4 – Структура динамічної моделі
Picture 4 – Structure of dynamic model

Висновки. Проаналізувавши дослідження впровадження екологічного ланцюга постачання з різними підходами у використанні можна дійти висновку, що побудова або перетворення ланцюга постачання для включення показників екологічної та соціальної сталості є корпоративною стратегією майбутнього. Оскільки більша частина впливу компаній, напевно, полягатиме саме в її ланцюгу постачання, логічним було б рішення інтегрувати його якомога раніше, враховуючи нюанси внутрішньої діяльності, розробки нових продуктів і розробки бізнес-моделей. Задля розповсюдження даної стратегії постачальникам технологій, компаніям, громадянам і політикам необхідно співпрацювати, щоб розробити єдину політику та інфраструктуру для стимулювання екологічних і соціальних показників, економічного зростання та мотивації до ефективних змін бізнес-моделей для покращення стану навколишнього середовища.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Петруня, Ю. Ю., Пасічник, Т. О. Вплив сучасних технологій на логістику та управління ланцюгами поставок. Маркетинг та управління інноваціями. 2018. № 1. С. 130-139;
2. Фалович В. А., Крикавський Є. В. Екологічність як одна із емерджентних властивостей відповідального ланцюга поставок інвестиційних товарів. Матеріали доповідей міжнародної наук.-практ. конференції «Формування та розвиток інноваційного потенціалу економіки України. Ужгород: Видавничий дім «Гельветика», 2017. С.116 – 118;

3. Analysis of barriers of sustainable supply chain management in electronics industry: An interpretive structural modelling approach – Rakesh R. Menon, V. Ravi, 2014, 44, 325–346;
4. M. Acciaro, T. Vanelslander, C. Sys, C. Ferrari, A. Roumboutsos, G. Giuliano, – Environmental sustainability in seaports: a framework for successful innovation – *Management*, 41 (5) (2014), pp. 480-500;
5. Dominik Zimon, Jonah Tyan, Robert Sroufe Chapter 2 – intelligent transportation systems // *Implementing Sustainable Supply Chain Management: Reactive, Cooperative, and Dynamic Models*, 2019. pp. 21-41;
6. Luthra, S.; Garg, D.; Haleem, A. Green supply chain management: Implementation and performance—a literature review and some issues. *J. Adv. Manag. Res.* 2014, 11, 20–46;
7. Costanza, R.; Daly, L.; Fioramonti, L.; Giovannini, E.; Kubiszewski, I.; Mortensen, L.F.; Wilkinson, R. Modelling and measuring sustainable wellbeing in connection with the UN Sustainable Development Goals. *Ecol. Econ.* 2016, 130, 350–355;
8. Bahinipati, B.K.; Panigrahi, S.S. A framework for sustainable supply chains: Evaluation of implementation barriers. *Int. J. Intell. Enterp.* 2018, 5, 231–265;
9. Ansari, Z.N.; Kant, R. Exploring the Framework Development Status for Sustainability in Supply Chain Management: A Systematic Literature Synthesis and Future Research Directions. *Bus. Strategy Environ.* 2017, 26, 873–892;
10. Qorri, A.; Mujkic, Z.; Kraslawski, A. A conceptual framework for measuring sustainability performance of supply chains. *J. Clean. Prod.* 2018, 189, 570–584;
11. Dubey, R.; Gunasekaran, A.; Papadopoulos, T.; Childe, S.J.; Shibin, K.T.; Wamba, S.F. Sustainable supply chain management: Framework and further research directions. *J. Clean. Prod.* 2017, 142, 1119–1130;
12. Kalmykova, Y.; Sadagopan, M.; Rosado, L. Circular economy—From review of theories and practices to development of implementation tools.. 2018, 135, 190–201;
13. Zimon, D.; Domingues, P. Proposal of a Concept for Improving the Sustainable Management of Supply Chains in the Textile Industry. *Fibers Text. East. Eur.* 2018, 128, 8–12;
14. Yun, G.; Yalcin, M.G.; Hales, D.N.; Kwon, H.Y. Interactions in sustainable supply chain management: A framework review. *Int. J. Logist. Manag.* 2018, 30, 1–35;
15. De Vries, H.J.; Bayramoglu, D.K.; van der Wiele, T. Business and environmental impact of ISO 14001. *Int. J. Qual. Reliab. Manag.* 2012, 29, 425–435;
16. De Angelis, R.; Howard, M.; Miemczyk, J. Supply chain management and the circular economy: Towards the circular supply chain. *Prod. Plan. Contr.* 2018, 29, 425–437;
17. Darkow, I.L.; Foerster, B.; von der Gracht, H.A. Sustainability in food service supply chains: Future expectations from European industry experts toward the environmental perspective. *Supply Chain Manag.* 2015, 20, 163–178;
18. Lu, H.E.; Potter, A.; Sanchez Rodrigues, V.; Walker, H. Exploring sustainable supply chain management: A social network perspective. *Supply Chain Manag.* 2018, 23, 257–277;
19. NOAA Research news, 2020. [Електронний ресурс] : NOAA’s greenhouse gas index – Режим доступу: <https://research.noaa.gov/article/ArtMID/587/ArticleID/2359/NOAA%E2%80%99s-greenhouse-gas-index-up-41-percent-since-1990>;
20. Sustainability guide 2018. [Електронний ресурс] : Cradle to cradle – Режим доступу: <https://sustainabilityguide.eu/methods/cradle-to-cradle/>.

REFERENCES

1. Petrunia, Yu. Yu., Pasichnyk, T. O. Vplyv suchasnykh tekhnolohii na lohistyku ta upravlinnia lantsiuhamy postavok. *Marketynh ta upravlinnia innovatsiiamy*. 2018. № 1. S. 130-139;
2. Falovych V. A., Krykavskyi Ye. V. Ekolohichnist yak odna iz emerdzhentnykh vlastyvostei vidpovidalnoho lantsiuha postavok investytsiinykh tovariv. *Materialy dopovidei mizhnarodnoi nauk.-prakt. konferentsii «Formuvannia ta rozvytok innovatsiinoho potentsialu ekonomiky Ukrainy. Uzhhorod: Vydavnychiy dim «Helvetyka»*, 2017. S.116 – 118;
3. Analysis of barriers of sustainable supply chain management in electronics industry: An interpretive structural modelling approach – Rakesh R. Menon, V. Ravi, 2014, 44, 325–346;
4. M. Acciaro, T. Vanelslander, C. Sys, C. Ferrari, A. Roumboutsos, G. Giuliano, – Environmental sustainability in seaports: a framework for successful innovation – *Management*, 41 (5) (2014), pp. 480-500;
5. Dominik Zimon, Jonah Tyan, Robert Sroufe Chapter 2 – intelligent transportation systems // *Implementing Sustainable Supply Chain Management: Reactive, Cooperative, and Dynamic Models*, 2019. pp. 21-41;

6. Luthra, S.; Garg, D.; Haleem, A. Green supply chain management: Implementation and performance—a literature review and some issues. *J. Adv. Manag. Res.* 2014, 11, 20–46;
7. Costanza, R.; Daly, L.; Fioramonti, L.; Giovannini, E.; Kubiszewski, I.; Mortensen, L.F.; Wilkinson, R. Modelling and measuring sustainable wellbeing in connection with the UN Sustainable Development Goals. *Ecol. Econ.* 2016, 130, 350–355;
8. Bahinipati, B.K.; Panigrahi, S.S. A framework for sustainable supply chains: Evaluation of implementation barriers. *Int. J. Intell. Enterp.* 2018, 5, 231–265;
9. Ansari, Z.N.; Kant, R. Exploring the Framework Development Status for Sustainability in Supply Chain Management: A Systematic Literature Synthesis and Future Research Directions. *Bus. Strategy Environ.* 2017, 26, 873–892;
10. Qorri, A.; Mujkic, Z.; Kraslawski, A. A conceptual framework for measuring sustainability performance of supply chains. *J. Clean. Prod.* 2018, 189, 570–584;
11. Dubey, R.; Gunasekaran, A.; Papadopoulos, T.; Childe, S.J.; Shibin, K.T.; Wamba, S.F. Sustainable supply chain management: Framework and further research directions. *J. Clean. Prod.* 2017, 142, 1119–1130;
12. Kalmykova, Y.; Sadagopan, M.; Rosado, L. Circular economy—From review of theories and practices to development of implementation tools.. 2018, 135, 190–201;
13. Zimon, D.; Domingues, P. Proposal of a Concept for Improving the Sustainable Management of Supply Chains in the Textile Industry. *Fibers Text. East. Eur.* 2018, 128, 8–12;
14. Yun, G.; Yalcin, M.G.; Hales, D.N.; Kwon, H.Y. Interactions in sustainable supply chain management: A framework review. *Int. J. Logist. Manag.* 2018, 30, 1–35;
15. De Vries, H.J.; Bayramoglu, D.K.; van der Wiele, T. Business and environmental impact of ISO 14001. *Int. J. Qual. Reliab. Manag.* 2012, 29, 425–435;
16. De Angelis, R.; Howard, M.; Miemczyk, J. Supply chain management and the circular economy: Towards the circular supply chain. *Prod. Plan. Contr.* 2018, 29, 425–437;
17. Darkow, I.L.; Foerster, B.; von der Gracht, H.A. Sustainability in food service supply chains: Future expectations from European industry experts toward the environmental perspective. *Supply Chain Manag.* 2015, 20, 163–178;
18. Lu, H.E.; Potter, A.; Sanchez Rodrigues, V.; Walker, H. Exploring sustainable supply chain management: A social network perspective. *Supply Chain Manag.* 2018, 23, 257–277;
19. NOAA Research news, 2020. [Elektronnyi resurs] : NOAAs greenhouse gas index – Rezhym dostupu: <https://research.noaa.gov/article/ArtMID/587/ArticleID/2359/NOAA%E2%80%99s-greenhouse-gas-index-up-41-percent-since-1990>;
20. Sustainability guide 2018. [Elektronnyi resurs] : Cradle to cradle – Rezhym dostupu: <https://sustainabilityguide.eu/methods/cradle-to-cradle/>.

РЕФЕРАТ

Шевченко А.Т. Аналіз досліджень впровадження екологічного ланцюга постачання в міських умовах. / А.Т.Шевченко, І.О. Ткаченко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

Стрімкий розвиток сфер послуг призвів до поспішливого збільшення автомобілізації, що, в свою чергу, в значній мірі, відобразилося не тільки на локальному та регіональному, а й на глобальному рівні на екологічному стану. Ця тенденція змушує компанії перелаштовувати та змінювати свою діяльність, розвивати альтернативні напрямки перевезень та впроваджувати сучасні технології.

Враховуючи той факт, що ланцюг постачання охоплює більшу частину життєвого циклу товару є необхідність його видозміни до екологічного, в міських умовах задля поліпшення стану навколишнього середовища. Тому ця тема є актуальною та потребує дослідження.

Метою роботи є оцінка досліджень впровадження екологічного ланцюга постачання в міських умовах.

В статті проведено аналіз існуючих стратегій впровадження, реорганізації та побудови екологічного ланцюга постачання таких, як методологія Cradle-to-cradle design та концепція «Впровадження сталого управління ланцюгом поставок: реактивна, кооперативна та динамічна моделі».

Встановлено, що задля ефективного впровадження екологічного ланцюга постачання необхідно враховувати особливості його функціонування та нюанси реалізації. Різні аспекти екологічних і соціальних практик на різних рівнях діяльності ланцюгів постачання і впровадження механізмів можуть допомогти в подальшій інтеграції сталого розвитку компанії.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЛАНЦЮГ ПОСТАЧАННЯ, ЕКОЛОГІЧНИЙ ЛАНЦЮГ ПОСТАЧАННЯ, ВПРОВАДЖЕННЯ, СТАН НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА, МОДЕЛЬ.

ABSTRACT

Shevchenko A.T. Tkachenko I.O. Analysis of studies on the implementation of ecological supply chain in urban conditions. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The rapid development of the service sector has led to a rapid increase in motorization, which, in turn, has had a significant impact not only on the local and regional, but also on the global level, on the environmental condition. This trend forces companies to rearrange and change their activities, develop alternative routes of transportation and introduce modern technologies.

Given the fact that the supply chain covers most of the product's life cycle, there is a need to change it to an ecological one in urban conditions to improve the environment. Therefore, this topic is relevant and needs research.

The purpose of the work is to evaluate research on the implementation of ecological supply chain in urban conditions.

The article analyzes existing strategies for the implementation, reorganization and construction of an ecological supply chain, such as the Cradle-to-cradle design methodology and the concept of "Implementation of sustainable supply chain management: reactive, cooperative and dynamic models".

It was established that for the effective implementation of the ecological supply chain, it is necessary to take into account the peculiarities of its functioning and the nuances of its implementation. Different aspects of environmental and social practices at different levels of supply chain activity and the implementation of mechanisms can help in the further integration of sustainable development of the company.

KEY WORDS: SUPPLY CHAIN, GREEN SUPPLY CHAIN, IMPLEMENTATION, STATE OF THE ENVIRONMENT, MODEL.

АВТОРИ:

Шевченко Аліса Тарасівна, Національний транспортний університет, PhD студентка кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, e-mail: alisashevchenko505@gmail.com, тел. +38(063)416-71-71, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 435, orcid.org/0000-0003-2008-7150

Ткаченко Ірина Олександрівна, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, доцент кафедри транспортних систем і логістики, Харків, Україна, e-mail: iryna.tkachenko2017@gmail.com, тел. +38 (099) 940-57-59, 61022, Україна, м. Харків, вул. Маршала Бажанова 17, orcid.org/0000-0002-5350-0776

AUTHORS:

Alisa Shevchenko., National Transport University, PhD student, department of transport systems and road safety, e-mail: alisashevchenko505@gmail.com, phone.+38(063)416-71-71, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka Str. 1, of. 435, orcid.org/0000-0003-2008-7150.

Iryna Tkachenko., O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Associate Professor of Transport Systems and Logistics, Kharkiv, Ukraine, e-mail: iryna.tkachenko2017@gmail.com, tel. +38 (099) 940-57-59, 61022 17 Marshala Bazhanova St., Kharkiv, Ukraine, orcid.org/0000-0002-5350-0776

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Вікович Ігор Андрійович, д-р. техн. наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна, e-mail: 79013, м. Львів, Львівська область, вул. С.Бандери, 12, 6-й н.к., кім. 208, Email: wиковigor@gmail.com.ua, тел. +38 (032) 258-26-59.

Прокудін Георгій Семенович, д-р техн. наук, професор Національний транспортний університет Україна, e-mail: p_g_s@ukr.net, тел. +38 (044) 280-84-02, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 430а.

REVIEWER:

Vikovich Ihor A., Doctor of Engineering, Professor, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, e-mail: 79013, 12 S. Bandery str., 6th academic building, room. 208, Email: wиковigor@gmail.com.ua, tel. +38 (032) 258-26-59.

Prokudin Geogriy Semenovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University of Ukraine, e-mail: p_g_s@ukr.net, tel. +38 (044) 280-84-02, 1 M. Omelyanovych-Pavlenko Str., Kyiv, 01010.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИТОРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Ширяєва С.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, svitlana007@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9696-635X

Дяченко І.О., Національний транспортний університет, Київ, Україна, makievskairina77@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5404-3423

RESEARCH OF PROBLEMS OF TRANSPORT AND FORWARDING ACTIVITIES IN MODERN CONDITIONS

Shiryayeva S.V., Candidate of Sciences (Engineering), National Transport University, Kyiv, Ukraine, svitlana007@gmail.com, orcid.org/0000-0001-9696-635X

Diachenko I.A., National Transport University, Kyiv, Ukraine, makievskairina77@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5404-3423

Постановка проблеми. На сучасному етапі ускладнення функціонування транспортних систем і підвищення вимог до транспортних операцій за критеріями: безпеки, надійності, стійкості й конкурентоспроможності, особливу актуальність має проблема ефективного надання транспортно-експедиторських послуг клієнтам. В умовах воєнного стану в Україні існує багато проблем транспортно-експедиторської діяльності, такі як: підвищення вартості перевезень вантажів, високий ризик псування або втрати вантажу, банкрутство, зниження прибутків підприємств та інші. Хоча ця тема є дуже розповсюдженою, вона ще досі потребує подальших досліджень і вивчень.

Аналіз останніх публікацій по проблемі. Транспортно-експедиторська галузь є дуже актуальною і важливою, як для фізичних і юридичних осіб, так і для науковців. Дослідженням проблематики цього питання займалися українські науковці, такі як: Окландер М. [1], Тюріна Н. М. [2], а також низка зарубіжних науковців, таких як: Кендалла Л.К., Кейнса Дж. М., Ліндерта П.Х., Альдертонна П.М., Бенсона Д., Уайтхеда Дж., Гехтбарга А.

Формулювання цілей дослідження (постановка завдання). Метою дослідження є аналіз транспортно-експедиторської діяльності та впливу зовнішніх та внутрішніх проблем на надання транспортно-експедиторських послуг. Розробка відповідних заходів щодо усунення негативних факторів впливу на транспортно-експедиторські послуги та надання рекомендацій щодо підвищення ефективності роботи транспортно-експедиторських підприємств.

Виклад основних результатів та їх обґрунтування.

Згідно з діючим Законом України «Про транспортно-експедиторську діяльність» (від 1 липня 2004 р. № 1955-IV) юридично визначені такі поняття:

Транспортно-експедиторська діяльність – підприємницька діяльність із надання транспортно-експедиторських послуг з організації та забезпечення перевезень експортних, імпорتنних, транзитних або інших вантажів;

Транспортно-експедиторська послуга – робота, що безпосередньо пов'язана з організацією та забезпеченням перевезень експортного, імпортного, транзитного або іншого вантажу за договором транспортного експедирування;

Експедитор (транспортний експедитор) – суб'єкт господарювання, який за дорученням клієнта та за його рахунок виконує або організовує виконання транспортно-експедиторських послуг, визначених договором транспортного експедирування [3].

У міру формування сучасних форм масового виробництва і споживання товарів, що відрізняються особливо великими обсягами, широким асортиментом, складними структурними взаємозв'язками і широкою географією, роль експедиторів в транспортному процесі незмінно зростає. Тепер потрібно не тільки доставити вантаж з найменшими витратами, але і забезпечити доставку вантажів «від дверей до дверей» і «точно в строк», витримуючи високі стандарти обслуговування, скорочуючи витрати на зберігання, збільшуючи показники ефективності роботи рухомого складу, враховуючи всі проблеми сьогодення.

Транспортний експедитор є відповідальним за всі ланки доставки, самостійно оцінює і вибирає найбільш ефективні варіанти перевезення вантажів. Низькі вхідні бар'єри на ринок

транспортно-експедиторських послуг і, відповідно, висока конкуренція серед малих і середніх транспортно-експедиторських підприємств (ТЕП) також впливають на темпи інноваційного розвитку організації доставки вантажів.

В сучасних умовах компанія, що надає транспортно-експедиторські послуги, має багато проблем. Вони зумовлюють більшість ризиків, які виникають в ході діяльності підприємства. У період воєнних дій в Україні, найчастіше виникають, такі ризики, як:

- військові дії й цивільні заворушення;
- непередбачене зниження обсягу заявок на перевезення;
- відмова клієнта від навантаження (коли транспортний засіб вже прибув на місце навантаження);
- ризики із податковою діяльністю;
- затримка рухомого складу;
- форс-мажорні ситуацій, які не визначені в договорі між клієнтом і експедитором;
- зміна транспортного законодавства в період угоди;
- невиконання точних зобов'язань експедитора перед клієнтом по різних причинах;
- розрив контракту через дії влади країни, в якій знаходиться контрагент;
- підвищення вартості перевезення;
- зменшення прибутку по майбутніх операціях;
- втрата цінової конкурентоспроможності;
- банкрутство контрагентів;
- сплата штрафів за несвоєчасно доставлений вантаж контрагента;
- несвоєчасна сплата транспортних послуг клієнтами;
- брак ліквідності;
- недотримання умов договору;
- невірнo оформлена документація;
- вирішення проблем в судовому (арбітражному) порядку;
- псування або втрата вантажу.

Отже, логічно постає потреба виділення окремих проблем, які впливають на рівень ефективності транспортно-експедиторської діяльності в цілому. Щоб їх структурувати, розділимо всі проблеми на дві категорії – зовнішні та внутрішні. Для мінімізації ризиків виконаємо дослідження внутрішніх та зовнішніх проблем транспортно-експедиторської діяльності [4].

Внутрішні проблеми – це фактори, що діють безпосередньо всередині підприємства, серед них такі як: рівень кваліфікації персоналу; рівень розвитку та функціонування організаційної структури компанії; наявність та можливості матеріальних ресурсів; рівень інформаційного забезпечення тощо. Внутрішні проблеми діяльності транспортно-експедиторських підприємств та заходи їх вирішення наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Внутрішні проблеми транспортно-експедиторської діяльності та заходи їх вирішення

Table 1 – Internal problems of transport and forwarding activities and measures to solve them

№	Проблеми	Заходи їх вирішення
1	Нестабільність економічного підприємства на ринку транспортно-експедиторських послуг	фінансово-становища Аналіз і оптимізація доходів та витрат
2	Недостатній рівень забезпечення та розвитку інформаційних систем компанії	Впровадження інформаційних автоматизованих систем і технологій
3	Обмежений обсяг та номенклатура послуг, що надаються	Розширення спектру послуг, які надаються на рівні компанії
4	Незначна лояльність клієнтської бази	Залучення до роботи нових клієнтів та підписання довгострокових контрактів про співпрацю
5	Обмеженість географії перевезень	Розробка нових оптимальних маршрутів доставки вантажів

№	Проблеми	Заходи їх вирішення
6	Низький рівень інноваційної діяльності	Вдосконалення існуючого технологічного процесу чи розробка нового підходу до надання транспортно-експедиторських послуг
7	Низька активність участі у національних та міжнародних асоціаціях транспортно-експедиторських організацій	Проходження професійних курсів та отримання сертифікатів міжнародного зразка
8	Неконтрольованість витрат в ланцюзі поставок	Зменшення собівартості доставки шляхом покращення контактів з перевізниками

Зовнішні проблеми мають макроекономічний характер та тісно взаємопов'язані із політикою держави майже у всіх сферах. До них можна віднести економічні фактори, що впливають на діяльність компаній та їх фінансову успішність. Економічні аспекти також деколи створюють перепони, або ж навпаки стимулюють розвиток діяльності.

Аналіз зовнішніх проблем транспортно-експедиторських підприємств дає можливість прогнозування, розробки плану дій на випадок непередбачених обставин, розробки заходів, які дозволять перетворити проблеми на будь-які вигідні можливості.[5]

До зовнішніх факторів впливу віднесемо ті, які залежать напряду від держави. По-перше, це ремонт та модернізація існуючих автомобільних шляхів України, особливо тих, що мають міжнародне значення та є частинами транспортних коридорів. По-друге, будівництво нових терміналів та розподільчих комплексів і модернізація вже існуючих. Більш детально зовнішні проблеми та заходи для їх вирішення наведено в табл.2.

Таблиця 2 – Зовнішні проблеми транспортно-експедиторської діяльності та заходи їх вирішення

Table 2 – External problems of transport and forwarding activities and measures to solve them

№	Проблеми	Заходи їх вирішення
1	Воєнний стан в Україні	Перебудова звичних ланцюгів постачання. Вдалим рішенням для відновлення країни стане інтеграція української економіки до економічної системи ЄС
2	Транспортна інфраструктура	Розробити критерії пріоритетності – це допомога фінансово та відновлювальні роботи (будівництво, реконструкція, ремонт).
3	Застарілий рухомий склад	Впровадження на державному рівні стандартів якості
4	Низька конкурентоспроможність	Забезпечити експедиторам знижки до базових тарифів для прозорості й доступності тарифів при наданні транспортно-експедиторських послуг
5	Застарілі методи організації транспортного процесу	Реалізувати концепцію віртуального офісу, коли клієнт зможе отримувати через Інтернет усі послуги з перевезень, що дозволить досягти кооперації всіх суб'єктів транспортного ринку
6	Завищена вартість надання послуг перевізниками	Мінімізація загальної вартості виконання замовлення для клієнта з урахуванням часу доставки, що вказується в заявці, при якому транспортно-експедиторське підприємство отримує максимальний прибуток
7	Помилки та «збої» в роботі транспортно-експедиторської діяльності	Стандартизація роботи в транспортно-експедиторській діяльності
8	Ризик втрати або псування вантажу	Страховання відповідальності перевізника/експедитора, шляхом добровільного страхування вантажу

Отже, для покращення ефективності здійснення транспортно-експедиторської діяльності в Україні у сучасних умовах запропоновано заходи, які усунуть внутрішні та зовнішні проблеми.

Висновки. До початку 2022 р. транспортно-експедиторська діяльність перебувала на рівні задоволення базових потреб споживачів. Вихід на якісно новий рівень можливий, завдяки: покращенню показників безпеки, якості, сервісу та ефективності перевезень вантажів.

Враховуючи специфіку діяльності, транспортно-експедиторські компанії є посередником між клієнтом та перевізником, а отже вони приймають на себе всі проблеми пов'язані як з однією стороною, так і з іншою. Визначено, що зовнішні та внутрішні проблеми несуть загрозу для ефективного функціонування транспортно-експедиторського підприємства

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Окландер М. А. Логістика: підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2008. 346 с
2. Тюріна Н. М. Логістика : навч. посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2015. 392 с.
3. Стаття 16 Закону України «Про транспортно-експедиторську діяльність» від 1 липня 2004 р. № 1955-IV.
4. Парубець О. М. Дослідження проблем та перспектив розвитку експорту транспортних послуг України / О. М. Парубець // Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Серія «Економіка» : науковий журнал. – 2018. – № 9(37). – С. 21–24.
5. Головацька С. І. Методичний інструментарій внутрішнього контролю у системі контролінгу витрат підприємства. Вісник ЛТЕУ. Економічні науки. 2020. Вип. 61. С. 78-83.

REFERENCES

1. Oklander M. A. Logistics: a textbook. Kyiv: Center for Educational Literature, 2008. 346 с
2. Tyurina N. M. Logistics: a textbook. Kyiv: Center for Educational Literature, 2015. 392 с.
3. Article 16 of the Law of Ukraine «On Transport and Forwarding Activities» dated July 1, 2004 No. 1955-IV.
4. Research of problems and prospects of development of export of transport services of Ukraine / Parubets O. M. // Scientific notes of the National University of Ostroh Academy. Series «Economics»: scientific journal. – 2018. – No. 9(37). – P. 21-24.
5. Methodical tools of internal control in the system of cost control of the enterprise. Bulletin of LTEU. Economic Sciences. 2020. Issue 61. C. 78-83.

РЕФЕРАТ

Ширяєва С.В. Дослідження проблем транспортно-експедиторської діяльності в сучасних умовах / С.В. Ширяєва, І.О. Дяченко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

В статті досліджено проблеми транспортно-експедиторської діяльності України в сучасних умовах. Виконано аналіз внутрішніх та зовнішніх проблем, які впливають на надання підприємством транспортно-експедиторських послуг. Запропоновано заходи вирішення проблем та покращення ефективності здійснення транспортно-експедиторської діяльності.

Об'єкт дослідження – процес надання транспортно-експедиторських послуг.

Мета роботи – аналіз проблем транспортно-експедиторської діяльності та розробка заходів щодо підвищення ефективності роботи транспортно-експедиторських підприємств.

Метод дослідження – аналітичний.

Для покращення ефективності надання транспортно-експедиторських послуг та усунення проблем, які впливають на транспортно-експедиторську діяльність, було запропоновано заходи, які вирішують внутрішні та зовнішні проблеми.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИТОРСЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ, ПРОБЛЕМИ, ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИТОРСЬКІ ПОСЛУГИ.

ABSTRACT

Shyriaieva S.V., Diachenko I.O. Research of problems of transport and forwarding activity in modern conditions. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

The article examines the problems of transport and forwarding activity of Ukraine in modern conditions. The analysis of internal and external problems affecting the provision of transport and forwarding

services by the enterprise was carried out. Measures to solve problems and improve the efficiency of transport and forwarding activities are proposed.

The object of research is the process of providing transport and forwarding services.

The purpose of the work is to analyze the problems of transport and forwarding activities and develop measures to increase the efficiency of the work of transport and forwarding enterprises.

The research method is analytical.

In order to improve the efficiency of the provision of transport and forwarding services and to eliminate problems that affect the transport and forwarding activities, measures were proposed that solve internal and external problems.

KEY WORDS: TRANSPORT AND FORWARDING ACTIVITIES, PROBLEMS, TRANSPORT AND FORWARDING SERVICES

АВТОРИ:

Ширяєва Світлана Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортних технологій, e-mail: svitlana007@gmail.com, моб. тел.: +38(050)8855299, Україна, 01010, Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 432, orcid.org/0000-0001-9696-635X.

Дяченко Ірина Олексіївна, Національний транспортний університет, e-mail: makievskairina77@gmail.com, моб. тел.+38(096)9571646, Україна, 01010, Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 432, orcid.org/0000-0002-5404-3423.

AUTORS:

Shyriaieva Svitlana V., National Transport University, Candidate of Sciences (Engineering), Associate Professor of the Department of Transport Technologies, e-mail: svitlana007@gmail.com, +38(050)8855299, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 432, orcid.org/0000-0001-9696-635X.

Diachenko Iryna A., National Transport University, e-mail: makievskairina77@gmail.com, +38(096)9571646, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 432, orcid.org/0000-0002-5404-3423.

РЕЦЕНЗЕНТИ :

Мельниченко О.І., кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри виробництва, ремонту та матеріалознавства, Київ, Україна.

Павленко Є.М., генеральний директор, ТОВ «Укрінтерекспедиція», Київ, Україна.

REVIEWER:

Melnichenko O.I., Ph.D., Professor, National Transport University, Head of Department of Production, Repair and Materials Science, Kyiv, Ukraine.

Pavlenko E.M., CEO, Ukrinterforwarding LLC, Kyiv, Ukraine.

УМОВИ ВІДСУТНОСТІ ТА ТРИ МЕХАНІЗМИ ЗАРОДЖЕННЯ ТЕРМОНАПРУЖЕНЬ В ПРУЖНИХ ТІЛАХ

Шлюнь Н.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, nataliyashlyun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1040-8870

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

Заєць Ю.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, yzaets@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1836-2010

Шевчук Л.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, ludmilashevchuk25@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5748-9527

CONDITIONS OF ABSENCE AND THREE MECHANISMS OF GENERATION OF THERMAL STRESSES IN ELASTIC BODIES

Shlyun N.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, nataliyashlyun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1040-8870

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

Zaiets Yu.O., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, yzaets@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1836-2010

Shevchuk L.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, ludmilashevchuk25@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5748-9527

Вступ. Температурні напруження в машинах, спорудах і конструкціях виникають через обмеження можливості вільного деформування їх елементів з боку інших частин цих об'єктів або з боку інших тіл і можуть бути причиною їх руйнувань. Для зниження таких термонапружень намагаються по можливості уникати накладання на систему додаткових зовнішніх зв'язків або вводять так звані температурні компенсатори, серед яких найпоширенішими є зазори між ділянками рейок та асфальтних дорожніх покриттів, зазори між блоками гребель, ковзанки на опорах мостів та ін. До них можна віднести також петельні відгалуження ліній електропередач у точках їх підвісу та петельні компенсатори нафтових та газових трубопроводів. Зважаючи на те, що рівні термонапружень в конструкціях можуть бути істотно знижені вже на етапі їх проектування за рахунок вибору раціональних конструктивних схем, важливо знати умови відсутності термонапружень і механізми їх зародження в системах, що деформуються. Показано, наприклад, що термонапруження дорівнюють нулю (з відомим ступенем наближення) в статично визначених фермах при будь-яких законах розподілу температури в їх стрижнях. Вони рівні нулю також в безмоментних оболонках. У зв'язку з цим важливим є загальне питання про те, при яких полях розподілу температури в тривимірних тілах спровоковані нею термонапруження дорівнюють нулю. При цьому для неоднорідних систем, таких як композитні матеріали, асфальтобетонні і цементнобетонні покриття доріг і мостів, значний теоретичний і прикладний інтерес пов'язаний з оберненою постановкою цього питання: які механізми найбільше сприяють зародженню термонапружень в цих системах, які закономірності розподілу полів цих напружень і які з них становлять найбільшу небезпеку? Відповіді на ці питання можуть допомогти знизити рівні термонапружень в неоднорідних системах і підвищити їх термостійкість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основними факторами, що впливають на міцність і довговічність доріг і мостів є транспортні навантаження, а також добові та сезонні зміни температури. При цьому зародження термічних напружень відрізняється великою різноманітністю зміни температури за просторовими і часовими змінними і знаку (додатна, від'ємна). У зв'язку з цим досить складними є процеси еволюції термонапружень в цих конструкціях і їх теоретичному та експериментальному вивченню приділяється велика увага в публікаціях.

Серед публікацій, що розглядають поняття термонапружень в конструкціях дорожніх покриттів, можна виділити роботи [1, 2, 8, 13], в яких переважно теоретичними методами аналізуються поля термонапружень, критерії міцності та термомеханічні характеристики бітумних

матеріалів. Використані в цих роботах, підходи базуються на методах термопружності, основи якої викладені в монографіях [4, 9, 10, 12, 16]. Водночас необхідно відзначити, що в термопружності композитних і асфальтобетонних матеріалів основна увага приділяється визначенню ефективних (приведених) значень їх термомеханічних параметрів [5, 7, 11]. При цьому, наприклад, вважається, що якщо композит скомбінувати з фракції з додатними і від'ємними [15, 17] значеннями коефіцієнта термічного розширення, то для всього композиту приведений коефіцієнт дорівнюватиме нулю і цей матеріал не буде реагувати на термічні збурення. Такі твердження можна спростувати, звернувшись до зовнішнього (External) та внутрішнього (Internal) механізмів зародження термонапружень у композитних матеріалах [6, 14]. У роботі [3] показано, що несумісність параметрів фаз композиту може супроводжуватися сприятливим усередненням характеристик всього композиту, але при цьому можуть виникати інтенсивні приховані внутрішньоструктурні термонапруження. У цій роботі виділимо ще один, градієнтний, механізм, який реалізується, якщо не виконуються умови відсутності термонапружень і градієнт температурного поля є змінним вектором.

При яких полях температури і додаткових умовах термонапруження в пружних тілах дорівнюють нулю? При дослідженні термонапружень в пружних тілах важливо знати, які поля розподілу температури здійснюють і не здійснюють вплив на їх значення. Виявляється, якщо тіло є однорідним і на його переміщення не накладені зовнішні обмеження (в'язі), то для поля температури, яка лінійно змінюється вздовж кожної із трьох осей Ox , Oy , Oz декартової системи координат, всі термонапруження дорівнюють нулю.

Дійсно, розглянемо пружне однорідне тіло, вільне від зовнішніх крайових і внутрішніх об'ємних сил та від зовнішніх і внутрішніх обмежень, при деякому розподіленому в ньому нестационарному полі температури $T(x, y, z, t)$.

Рівняння динаміки термопружного середовища при умові зміни температури за часом t мають вигляд:

$$\begin{aligned} \mu \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) u + (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) - (3\lambda + 2\mu) \alpha T &= \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \\ \mu \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) v + (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) - (3\lambda + 2\mu) \alpha T &= \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}, \\ \mu \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) w + (\lambda + \mu) \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) - (3\lambda + 2\mu) \alpha T &= \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}. \end{aligned} \quad (1)$$

Тут u , v , w – компоненти вектора пружних переміщень вздовж відповідних осей, λ , μ – модулі пружності Ламе, α – коефіцієнт лінійного термічного розширення, ρ – густина, t – час.

Надалі зручно всі перетворення виконувати з використанням тензорної символіки. Нехай: $x = x_1$, $y = x_2$, $z = x_3$, $u = u_1$, $v = u_2$, $w = u_3$.

Тоді представляючи переміщення $u_i(t)$ через деформації $\varepsilon_{ij}(t)$ за допомогою рівностей $\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ji} = 0,5(u_{i,j} + u_{j,i})$, систему (1) замінимо рівняннями [12]

$$\mu \varepsilon_{ij,kk} + (\lambda + \mu) \varepsilon_{kk,ij} - (3\lambda + 2\mu) \alpha T_{ij} = \rho \frac{\partial^2 u_{ij}}{\partial t^2}, \quad (i, j, k = 1, 2, 3). \quad (2)$$

Наступні зміни системи (2) пов'язані з виразом деформацій ε_{ij} через напруження $\sigma_{ij} = 2\lambda \varepsilon_{ij} + [\lambda I_1 - (3\lambda + 2\mu) \alpha T] \delta_{ij}$:

$$\sigma_{ij,kk} + \frac{2(\lambda + \mu)}{3\lambda + 2\mu} \sigma_{kk,ij} - \frac{\lambda}{3\lambda + 2\mu} \sigma_{mm,kk} \delta_{ij} + 2\mu \alpha (T_{ij} + T_{kk} \delta_{ij}) = \frac{\rho^2}{\mu^2} \left(\frac{\lambda}{3\lambda + 2\mu} \sigma_{kk} \delta_{ij} \right) + \frac{2\rho^2 \alpha}{\mu} T \delta_{ij}, \quad (i, j, k, m = 1, 2, 3). \quad (3)$$

Виділимо випадок, коли задача є стаціонарною і похідними по t в (3) можна знехтувати. Тоді маємо

$$\sigma_{ij,kk} + \frac{2(\lambda + \mu)}{3\lambda + 2\mu} \sigma_{kk,ij} + 2\mu\alpha \left(T_{ij} + \frac{3\lambda + 2\mu}{\lambda + 2\mu} T_{kk} \delta_{ij} \right) = 0, \quad (i, j, k = 1, 2, 3). \quad (4)$$

Нехай під дією температурного поля термонапруження в тілі дорівнюють нулю, $\sigma_{ij} = 0$. Тоді розв'язувальні рівняння теорії термопружності (4) приводяться до вигляду

$$T_{ij} + \frac{3\lambda + 2\mu}{\lambda + 2\mu} T_{kk} \delta_{ij} = 0. \quad (5)$$

Приведемо їх в розгорнутій формі після заміни λ і μ на E і ν

$$\begin{aligned} \left(\frac{1+\nu}{1-\nu} \right) \nabla^2 T + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} &= 0, \\ \left(\frac{1+\nu}{1-\nu} \right) \nabla^2 T + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} &= 0, \\ \left(\frac{1+\nu}{1-\nu} \right) \nabla^2 T + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} &= 0, \\ \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial y} &= 0, \quad \frac{\partial^2 T}{\partial y \partial z} = 0, \quad \frac{\partial^2 T}{\partial z \partial x} = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Додавши три перших рівняння системи (6), отримаємо

$$\nabla^2 T = 0. \quad (7)$$

Це означає, що єдиний закон розподілу температури, при якому термонапруження в пружному однорідному вільному тілі дорівнюють нулю, описується рівняннями

$$\begin{aligned} \nabla^2 T &= 0, \\ \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial y} &= 0, \quad \frac{\partial^2 T}{\partial y \partial z} = 0, \quad \frac{\partial^2 T}{\partial z \partial x} = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Ця система має єдиний розв'язок

$$T(x, y, z) = a + bx + cy + dz, \quad (9)$$

де a, b, c, d – довільні сталі.

Таким чином, якщо температура в пружному однорідному тілі, вільному від в'язей, розподіляється за лінійним законом (9), то термонапруження в ньому дорівнюють нулю. При цьому переміщення, викликанні вільним термічним розширенням (або усадкою) тіла, дорівнюють

$$\begin{aligned} u(x, y, z) &= \alpha \left[(a + bx + cy + dz)x - \frac{b}{2}(x^2 + y^2 + z^2) \right], \\ v(x, y, z) &= \alpha \left[(a + bx + cy + dz)y - \frac{c}{2}(x^2 + y^2 + z^2) \right], \\ w(x, y, z) &= \alpha \left[(a + bx + cy + dz)z - \frac{d}{2}(x^2 + y^2 + z^2) \right]. \end{aligned} \quad (10)$$

Особлива ситуація виникає, коли $b = c = d = 0$ і температура однакова у всіх точках тіла. Тоді

$$u(x, y, z) = \alpha ax, \quad v(x, y, z) = \alpha ay, \quad w(x, y, z) = \alpha az. \quad (11)$$

При такому розподілі температури ненульові термонапруження можуть виникати тільки у випадках, якщо тіло неоднорідне і його коефіцієнт α є функцією змінних x, y, z , або коли його переміщення (11) обмежені зовнішніми в'язями.

Відзначимо цікаву математичну властивість функції (9). В цьому випадку

$$\text{grad} T = b\vec{i} + c\vec{j} + d\vec{k} \quad (12)$$

і вектор градієнта (12) має одне і теж значення у всіх точках тіла.

Три механізми виникнення термонапружень і терморуїнувань в пружних тілах. В попередньому підрозділі розглянуті закони розподілу полів температури, при яких термонапруження в однорідному середовищі, вільному від зовнішніх обмежень на переміщення, відсутні. Проте суттєвий практичний інтерес представляє обернене питання: при яких умовах ці напруження виникають, і в яких випадках вони можуть приводити до пошкодження в середовищі. В роботах [6, 15] узагальнюються два механізми статичного термічного руйнування тіла, дані в умовах, коли температура однакова у всіх його точках. Обидва ці механізми виникають, коли на термічне переміщення елементів тіла накладенні обмеження, які перешкоджають їх вільному термічному деформуванню.

Перший механізм називається зовнішнім (External Mechanism). Він пов'язаний з наявністю зовнішніх в'язей, які обмежують термічні переміщення на крайових поверхнях тіла. В дорожніх конструкціях такий механізм виникає, наприклад, в тілі дорожнього покриття, вільне термічне деформування якого внизу обмежене контактною взаємодією з нижче лежачим шаром дороги, а поздовжні переміщення (вздовж осі z) на кінцях дороги (умовно, на нескінченності) дорівнюють нулю. Ці зовнішні в'язі приводять до того, що, наприклад, при лінійному розподілі від'ємної температури $T(y)$ за товщиною покриття переміщення в гіпотетичному шарі дороги, вільному від в'язей, набувають значення (10), шар приймає форму, яка представлена на рис. 1 б, і напруження в ньому відсутні. Проте, в зв'язку з тим, що через наявність в'язей шар залишається на дорожній основі, його потрібно розігнути і знову сумістити з нижньою основою. При його розгинанні в ньому можуть виникнути поперечні тріщини (рис. 1 в), які бувають нескрізними.

Розрив шару на всю його глибину може відбуватися в результаті дії зовнішніх обмежень на кінцях (умовно, на нескінченності) дороги (рис. 2 а). В цьому випадку від'ємна температура (T) в тілі покриття при відсутності крайових в'язей привела б до виникнення в ньому поздовжніх переміщень $w(z)$, які обчислюються за формулою (10). Проте через дію в'язей $w(z) = 0$, але натомість породжується поздовжня сила P , яка і може привести до поперечного скрізного розриву покриття. Після розриву покриття сила P зникає.

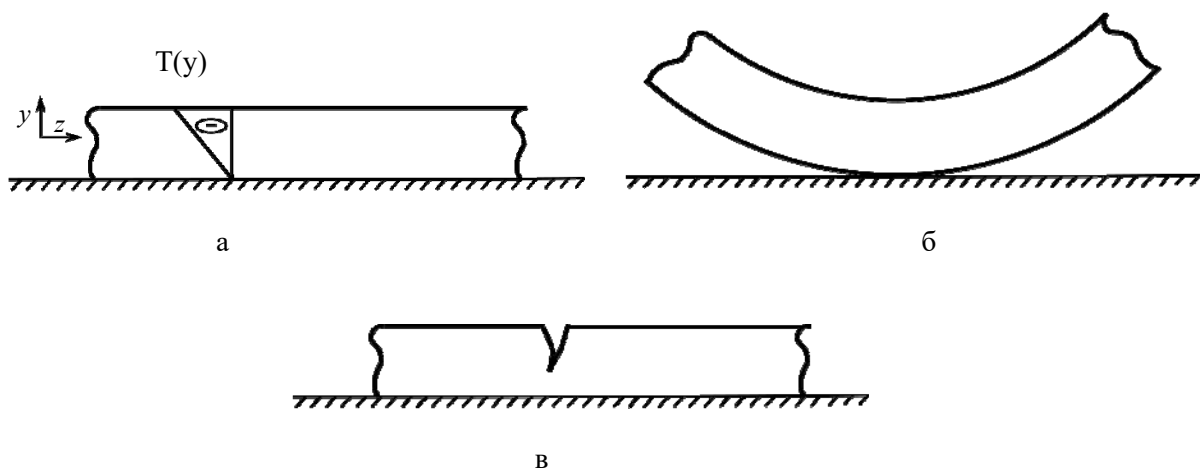


Рисунок 1 – Механізм утворення ненаскрізних поперечних тріщин в дорожньому покритті
Figure 1 – The mechanism of formation of non-through transverse cracks in the pavement

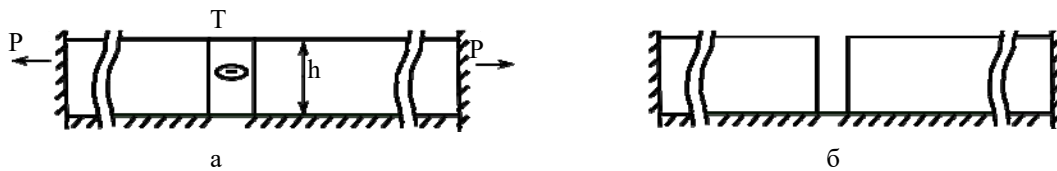


Рисунок 2 – Механізм утворення наскрізного поперечного розриву у верхньому шарі нескінченного покриття, спровокованого його затисканням на кінцях

Figure 2 – The mechanism of formation of a through transverse rupture in the upper layer of an endless coating, provoked by its clamping at the ends

В той же час результати експериментальних досліджень згинання балки, яка виготовлена із асфальтобетонної суміші, показали, що асфальтобетон може бути пошкоджений при охолодженні навіть у відсутності зовнішніх обмежень. В цьому випадку спрацьовує другий механізм руйнувань, який викликаний дією внутрішніх обмежень неоднорідного середовища (Internal Mechanism). Він може приводити до внутрішніх прихованих локалізованих дефектів, пошкоджень і руйнувань, завдяки різниці деформацій усадки між охолодженим бітумом і наповнювачем через різницю між значеннями їх коефіцієнтів об'ємного (β) і лінійного (α) термічного розширення.

В зв'язку з цим останнім часом була запропонована нова концепція, у відповідності до якої, однією із основних причин розтріскування блоків можуть бути саме внутрішні термодеоформації, які викликані термомеханічною несумісністю фаз композитного матеріалу. Відзначимо, що в науковій літературі, яка опрацьована авторами даного проєкта, всі ці висновки формулюються на рівні якісних експериментальних суджень, без аналітичних підтверджень. В роботах авторів [2, 3, 8] цей механізм підтверджується методами теорії термопружності на прикладах композитних матеріалів з сферичними і волокнистими (циліндричними) включеннями.

Відзначимо, що тут доцільно виділити ще один (третій) механізм термопошкодження і руйнування пружних тіл. Він має місце, коли умови (8), (9) не виконуються і вектор-градієнт $grad T$ в (12) не залишається постійним вектором. В цьому випадку в пружному тілі також зароджуються термонапруження, які зі збільшенням вектора $grad T$ можуть приймати граничні значення. Ці ефекти типові для нестационарних термічних впливів з швидкими змінами температури середовища, які також можуть мати місце в конструкціях покриттів доріг і мостів. На побутовому рівні тут можна відмітити приклади руйнування скляного стакану при наливанні у нього кип'ятку. Скло стакану є однорідним матеріалом, на його переміщення не накладені ніякі зовнішні обмеження, але при наливанні кип'ятку температура в тілі стакану не успіває вирівнятися і розподілитися за законом (11), вектор градієнта $grad T$ не задовольняє умову

$$grad T = \overline{const} \quad (13)$$

і стакан руйнується. В той же час, якщо стакан тонкий, то градієнт температури малий і стакан не руйнується. Тут важливо зазначити, що в дійсності при експлуатації конструкцій в умовах зміни температур трапляються випадки, коли зумовлені ними терморуйнування намагаються ліквідувати шляхом локальних і нелокальних потовщень фрагментів системи. Зазвичай такі спроби призводять до негативних ефектів.

На додаток до всього необхідно підкреслити, що в конструкціях дорожніх покриттів ефект третього механізму не проявляється у формі, яка має вирішальне значення, але зате він є діючим через постійну зміну температури і сприяє термічній деградації матеріалу. Причому неоднорідність температурного поля і зміна його градієнта суттєво зростають зі зменшенням коефіцієнта теплопровідності середовища, так як при його малому значенні температура тіла в нестационарних умовах не встигають вирівнятися (функція T не встигає стати гладкою) і це приводить до високоградієнтних напружень. Тому питання про те які теплопровідні властивості матеріалів дорожніх покриттів є більш (або менш) сприятливими для підвищення їх довговічності залишається відкритим і потребує подальшого вивчення.

Нелінійний характер зміни температури по товщині покриття ще більш ускладнює задачу про його термодеоформування. Для підтвердження цього судження розглянемо явище поширення тепла

вглиб дорожнього масиву (вздовж координати x_2). Нехтуючи тепловими потоками в горизонтальному напрямі, запишемо рівняння нестационарної теплопровідності [9, 12] у вигляді

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x_2^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (14)$$

Будемо вважати, що в результаті теплового збурення дорожнього масиву добовими змінам температури $T(x_2, t)$ на вільній поверхні $x_2 = 0$ покриття при денному нагріванні та нічному охолодженні температури на поверхні $x_2 = 0$ можна вважати відомою, тобто $T(0, t)$ ($0 \leq t \leq 12 \text{ год}$). Врахуємо, що коефіцієнти теплопровідності матеріалів шарів покриття маленькі, обрана для аналізу товщина багатшарового покриття (розрахункова глибина масиву) не мала і розрахункова протяжність зміни зовнішньої температури (12 годин) порівняно мала. Тоді роль доданку в лівій частині рівняння (14) (друга похідна по x_2) набагато менша ролі доданку в його правій частині (перша похідна по t) і рівняння (14) також є сингулярно збуреним. Зазначимо, що ця особливість рівнянь теплопровідності (рівнянь математичної фізики параболічного типу) широко відома в прикладній математиці і вона у повному обсязі відображена в науковій літературі [2]. В нашому випадку ця особливість проявляється в тому, що розв'язок задачі теплопровідності також має вигляд крайового ефекту, локалізованого в елементах покриття, прилеглих до його вільної поверхні. Також високоградієнтний розподіл температури $T(x_2, t)$ вглиб призводить до великих значень нормальних і дотичних напружень, що провокують розтріскування і розшарування верхніх шарів покриття. Вони підтверджені результатами комп'ютерного моделювання.

Проілюструємо ці особливості за допомогою рівняння теплопровідності (14) із заміною x_2 на x

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (15)$$

та рівнянь (1)-(3) для одномірного випадку.

Нехай пружне середовище займає напівпростір $x \geq 0$ і в момент часу $t = 0$ температура в ньому змінилася за законом (рис.3 а)

$$T(x, 0) = T_0 e^{mx}. \quad (16)$$

Тут T – температура середовища на граничній площині $x = 0$, $n < 0$. Нехай далі на цій площині функція температури $T(0, t)$ має вигляд

$$T(0, t) = T_0 e^{mt}, \quad m > 0. \quad (17)$$

Тоді розв'язок рівняння (15) при $t > 0$ можна подати у вигляді

$$T(x, t) = f(x) g(t) = T_0 e^{nx} e^{mt}, \quad (18)$$

де $f(x) = T_0 e^{nx}$, $g(t) = e^{mt}$, $n < 0$, $m > 0$.

При деяких $x \geq 0$ та фіксованому $t = t_0 > 0$ функція $T(x, t)$ має вигляд, представлений на рис.3. Підставляючи для цього випадку вираз (18) в рівняння (15), отримаємо

$$T_0 n^2 e^{nx} e^{mt} = \frac{m}{a} T_0 e^{nx} e^{mt}. \quad (19)$$

Звідси слідує рівність, яка визначає зв'язок між величинами n , m та a :

$$n^2 = \frac{m}{a} \text{ або } n = \pm \sqrt{\frac{m}{a}}. \quad (20)$$

У відповідності до виразу (18) тут параметр n визначається швидкістю спадання $T(x, t)$ (при $n < 0$) вздовж змінної x при фіксованому t . Відповідно до (20) вона зменшується зі зростом a . Величина m характеризує швидкість зростання $T(x, t)$ (при $m < 0$) за часом t . На рис.3 побудовані графіки зміни функцій $T'(x, t)$ та $T''(x, t)$ для однакових крайових умов $T(0, t_i)$, ($i=0,1,2$) при двох значеннях коефіцієнту a_j ($j=1,2$), які задовольняють нерівність $a_2 > a_1$.

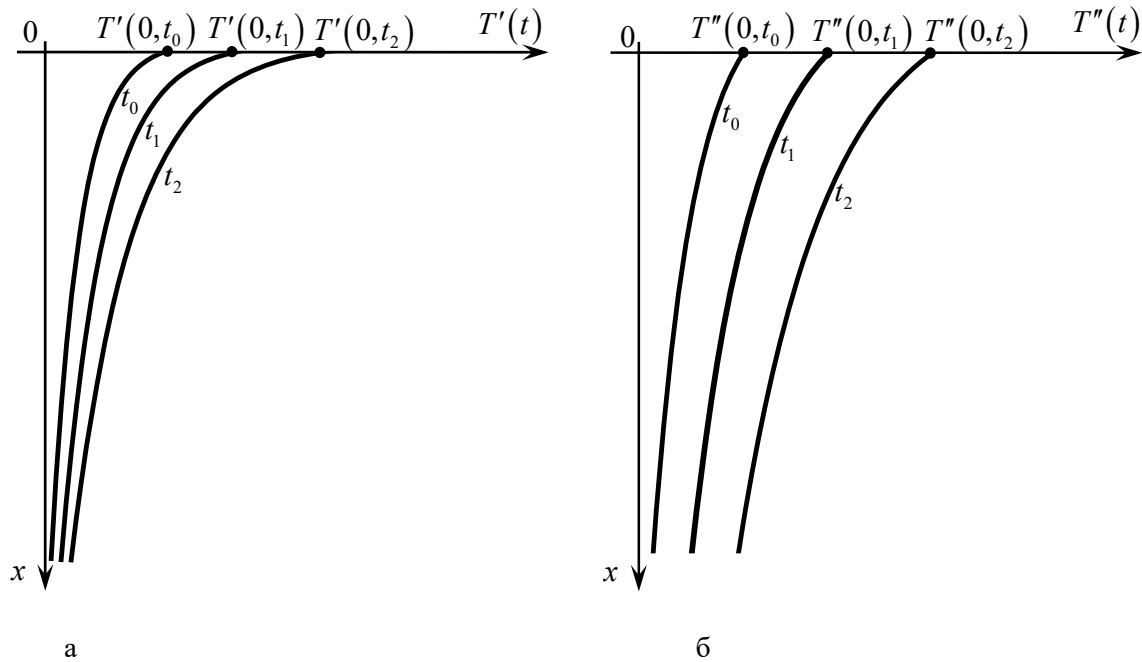


Рисунок 3 – Графіки зміни функцій $T'(x, t_i)$ та $T''(x, t_i)$ ($i=0,1,2$)

для випадків $a = a_1$ (а) та $a = a_2$ (б), відповідно

Figure 3 – Graphs of changes in functions $T'(x, t_i)$ and $T''(x, t_i)$ ($i=0,1,2$)

for cases $a = a_1$ (a) та $a = a_2$ (b), respectively

Аналіз цих графіків дозволяє зробити два зауваження:

1. Як видно, при малому значенні a_1 (рис.3 а) тепловий потік проникає вглиб середовища з меншою інтенсивністю, і поле температури $T'(x, t_i)$ з ростом t набувають більш яскраво виражений вигляд крайового ефекту з більшим значенням градієнту $T'(x)$ (і термонапружень) в околі границі $x=0$. Зі збільшенням коефіцієнту a (рис.3 б) при тих же граничних умовах крайовий ефект стає менш помітним, оскільки тепловий потік з меншим опором проникає всередину середовища, значення температури $T''(x, t)$ набувають збільшених значень, але градієнт температури падає. Тому в області крайового ефекту падають і термонапруження. Але при віддаленні від краю $x=0$, там, де немає їх концентрації і вони порівняно малі, термонапруження можуть дещо зростати.

2. Вище для аналізу вибрані випадки, коли при двох різних значеннях коефіцієнтів a_1 та a_2 крайові умови $T(0, t)$ однакові. Проте в реальності такі умови складно реалізувати, оскільки на граничній площині $x=0$ пружного середовища, яке контактує з зовнішнім (повітряним) середовищем, реалізуються умови вільного теплообміну. Його інтенсивність визначається коефіцієнтом тепловіддачі γ між тілом і середовищем, який показує яка кількість тепла передається

від одиниці площі площини тіла до зовнішнього середовища за одиницю часу при різниці температур між стінкою тіла і середовищем в 1 градус (K). Цей коефіцієнт зростає зі збільшенням коефіцієнту теплопровідності a_1 , оскільки при цьому підвищується інтенсивність теплообміну [12]. В результаті кількість тепла, яке передається тілу з боку зовнішнього середовища при $a = a_2$ буде більше в порівнянні з випадком $a = a_1$, але у зв'язку з тим, що $a_2 > a_1$, це тепло буде швидко відходити вглиб тіла і розчиниться в ньому. Це призведе до того, що температура буде мати тенденцію до швидкого вирівнювання по всьому об'єму, набуваючи значення $T(x, t)$, які вищі за відповідні значення в ті ж моменти часу при великих x для випадку $a = a_1$, але менші за відповідні значення при малих x , тобто в околі краю $x = 0$ (рис. 4).

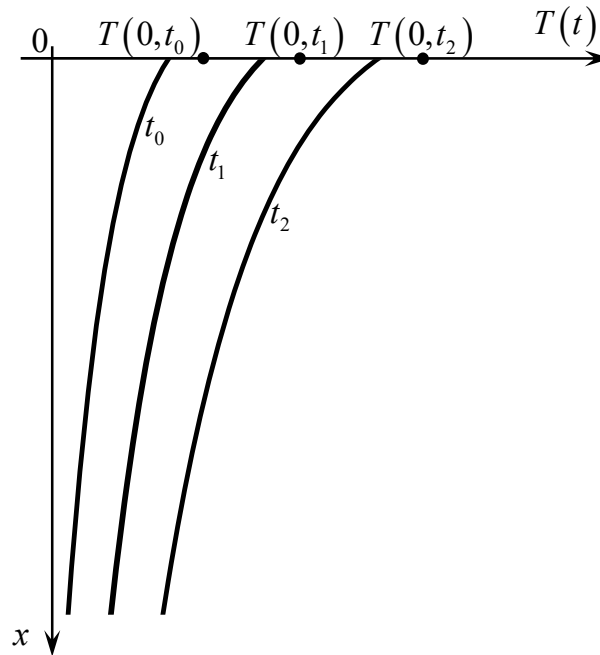


Рисунок 4 – Уточнені графіки зміни функцій $T(x, t_i)$ для випадку $a = a_2$

Figure 4 – Refined function $T(x, t_i)$ change graphs for the case $a = a_2$

Проаналізуємо тепер як змінюються поля термонапружень в пружному напівпросторі при наявності в ньому поля температури (19). Будемо вважати, що, як це прийнято в дорожньому будівництві, координати x та z лежать в горизонтальній площині, а координата y напрямлена вниз вздовж вертикалі. Нехай при нескінченних значеннях x та z переміщення u_x та u_z дорівнюють нулю, тоді вони будуть дорівнювати нулю і у всьому напівпросторі. Для обчислення переміщень u_y виберемо в системі (1) друге рівняння у формі

$$(\lambda + 2\mu) \frac{d^2 u_y}{dy^2} = (3\lambda + 2\mu) \alpha \frac{dT}{dy}. \quad (21)$$

Перепишемо це рівняння з урахуванням представлення (18) при фіксованому часі t_i :

$$(\lambda + 2\mu) \frac{d^2 u_y}{dy^2} = (3\lambda + 2\mu) \alpha n T_0 e^{m t_i} e^{n y}. \quad (22)$$

Інтегруючи його двічі, отримуємо:

$$\frac{du_y}{dy} = \frac{(3\lambda + 2\mu)}{(\lambda + 2\mu)} \alpha T_0 e^{m_i} e^{ny} + C_1. \quad (23)$$

$$u_y = \frac{(3\lambda + 2\mu)}{(\lambda + 2\mu) \cdot n} \alpha T_0 e^{m_i} e^{ny} + C_1 y + C_2, \quad (24)$$

де константи C_1, C_2 знаходять із граничних умов.

Маючи функцію (24) можна підрахувати напруження:

$$\begin{aligned} \sigma_x = \sigma_z &= -(3\lambda + 2\mu) \alpha T_0 e^{m_i} e^{nx}, \quad \sigma_y = 0, \\ \sigma_{xy} = \sigma_{yz} = \sigma_{zz} &= 0. \end{aligned} \quad (25)$$

Тут при обчисленні σ_y враховано, що на граничній площині $y=0 \quad \sigma_y(0)=0$.

Наведені викладки дозволяють зробити висновок, що вплив градієнтного механізму на поля термонапружень у деформованих тілах значною мірою визначається значеннями їх коефіцієнтів теплопровідності та швидкістю зміни температури зовнішнього середовища. У кожному випадку це питання має вирішуватись розв'язуванням рівнянь нестационарної термопружності.

Висновки.

1. Розглянуті умови відсутності і зародження термонапружень в тілах, що деформуються. Показано, що якщо однорідне тіло вільне від зовнішніх в'язей, то поля постійної температури або температури, що лінійно змінюється вздовж просторових змінних, не перешкоджають вільному термодформуванню елементів тіла і не викликають в ньому термонапружень.

2. Виділені три основні причини порушення умов вільного термодформування пружних тіл, що призводять до генерування в них термонапружень. До них відносяться накладені зовнішні в'язі, структурна неоднорідність тіла і тенормеханічна несумісність параметрів його компонент, а також поля температури зі змінними градієнтами.

3. Наведені приклади реалізації зовнішнього, внутрішнього та градієнтного механізмів генерування термонапружень. Дані рекомендації щодо зниження їх впливу на термопошкодження конструкцій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Богомолів В.О. Щодо критеріїв міцності для дорожніх одягів нежорсткого типу / В.О. Богомолів, В.К. Жданюк, С.В. Богомолів // Автошляховик України. – 2011. – № 5. – С. 29 – 33.
2. Термопружний стан багатошарових дорожніх покриттів / В.І. Гуляєв, В.В. Гайдачук, В.В. Мозговий, О.О. Густєлев, Ю.О.Заєць, Л.В. Шевчук, Н.В.Шлюнь – К.: НТУ, 2018. – 252 с.
3. Шлюнь Н.В. Провнутрішній механізм термопошкоджень вармованих 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). – С. 427 –432.
4. Carlson D.E. Thermoelasticity / D.E. Carlson – Encyclopedia of Physics. V. Via/2 (ed. Trusdell C.), Berlin: Springer, 1972.
5. Christensen R.M. Solutions for effective shear properties in three-phase sphere and cylinder models / R.M. Christensen, K.H. Lo // J. Mech. Phys. Solids. – 1979. – V. 27. –Pp. 315-330.
6. Elwardany M.D. Internal restraint damage mechanism for age-induced pavement surface damage / M.D. Elwardany, G. King, J.P. Planche, C. Rodezno, D. Christensen, R.S. Fertig Ill, K.H. Kuhn, F.H. Bhuiyan // Asphalt Paving Technol: J. Assoc. Asphalt Paving Technol. –2019. – 88.
7. Fatima-Ezzahra El Mabchour. Theoretical and Numerical Contribution for Prediction of the Mechanical Properties of a Randomly Distributed Reinforcement in the Matrix / El Mabchour Fatima-Ezzahra, H. Abouchadi, Zeriab Es-Sadek Mohamed, M. Taha-Janan // International Review of Mechanical Engineering. – 2020. – Vol. 14, no. 5. –Pp.303-309. <https://doi.org/10.15866/ireme.v14i5.19150>

8. Gulyayev V.I. Modelling negative thermomechanical effects in reinforced road structures with thermoelastic incompatibility of coating and reinforcement materials / V.I. Gulyayev, V.V. Mozgovyi, N.V. Shlyun, L.V. Shevchuk // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2022. – № 2. – С.117-127. <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2022.2.09>
9. Hetnarsky R.B. Thermal Stresses — Advanced Theory and Applications / R.B. Hetnarsky, M.R. Eslami — Solid Mechanics and its Applications 158, © Springer Science Business Media B.V., 2009. — 579 p.
10. Hetnarski R.B. Mathematical Theory of Elasticity / R.B. Hetnarski, J. Ignaczak. — New York: Taylor and Francis, 2004. — 821 p.
11. Ju J.W. Effective elastic moduli of two-phase composites containing randomly dispersed spherical inhomogeneities / J.W. Ju, T.M. Chen // Acta Mech. — 1994. — 103(1). — Pp. 123-144.
12. Kovalenko A.D. Thermoelasticity: Basic Theory and Applications / A.D. Kovalenko — The Netherlands: Wolters-Noordhoff Groningen, 1972.
13. Marcela Fiedlerova. Using various thermal analytical methods for bitumen characterization / Fiedlerova Marcela, Jisa Petr, Stepanek Kamil // International Journal of Pavement Research and Technology. — 2021, — V. 14, Issue 4. — Pp. 459-465.
14. Michael Elwardany. Universal and practical approach to evaluate asphalt binder resistance to thermally-induced damage / Elwardany Michael, Planche Jean-Pascal, King Gayle // Construction and Building Materials. — 2020. — 255, 119331. — Pp. 1-18.
15. Miller W. Negative Thermal Expansion: a Review / W. Miller, S.W. Smith, D.S. Mackenzie, K.E. Ewans // Journal of Material Science. — 2009. — 44 — Pp. 5441–5451.
16. Nowacki W. Thermoelasticity / W. Nowacki — 2 nd ed. Oxford: PWN — Polish Scientific Publishers, Warsaw and Pergamon Press, 1986.
17. Takenaka K. Negative Thermal Expansion Materials: Technological Key for Control of Thermal Expansion / K. Takenaka // Science and Technology of Advanced Materials. — 2012. — 13. — Pp. 1-11.

REFERENCES

1. Bohomolov V.O., Zhdaniuk V.K., Bohomolov S.V. (2011). Shchodo kryteriiv mitsnosti dlia dorozhnikh odiahiv nezhorstkoho typu [Regarding durability criteria for non-rigid road clothing]. Avtoshliakhovyyk Ukrainy — Road builder of Ukraine, 5. 29 — 33 [in Ukrainian].
2. Hulciaiev V.I., Haidachuk V.V., Mozghovyi V.V., Zaiets Yu.O., Shevchuk L.V., Shliun N.V. (2018). Termopruznyi stan bahatosharovykh dorozhnikh pokryttiv [Thermoelastic state of multilayer pavements]. K: NTU, 2018, 252 [in Ukrainian].
3. Shliun N.V., Zaiets Yu.O. (2022) Pro vnutrishnii mekhanizm termoposhkodzhen v armovanykh kompozytakh z termomekhanichnoiu nesumisnistiu yikh faz [The internal mechanism of thermal damage in reinforced composites with hydromechanical incompatibility of their phases]. Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriiia «Tekhnichni nauky». Naukovyi zhurnal. — K.: NTU — Bulletin of the National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. — K.: NTU, 3(53), 427 — 432 [in Ukrainian].
4. Carlson D.E. (1972). Thermoelasticity. Encyclopedia of Physics. V. Via/2 (ed. Trusdell C.), Berlin: Springer.
5. Christensen R.M., Lo K.H. (1979). Solutions for effective shear properties in three-phase sphere and cylinder models. J. Mech. Phys. Solids, 27, 315-330.
6. Elwardany M.D., King G., Planche J.P., Rodezno C., Christensen D., Fertig Ill R.S., Kuhn K.H., Bhuiyan F.H. (2019). Internal restraint damage mechanism for age-induced pavement surface damage. Asphalt Paving Technol: J. Assoc. Asphalt Paving Technol, 88.
7. Fatima-Ezzahra El Mabchour, Abouchadi H., Mohamed Zeriab Es-Sadek, Taha-Janan M. (2020). Theoretical and Numerical Contribution for Prediction of the Mechanical Properties of a Randomly Distributed Reinforcement in the Matrix. International Review of Mechanical Engineering, 14, 5, 303-309. <https://doi.org/10.15866/ireme.v14i5.19150>
8. Gulyayev V.I., Mozgovyi V.V., Shlyun N.V., Shevchuk L.V. (2022). Modelling negative thermomechanical effects in reinforced road structures with thermoelastic incompatibility of coating and reinforcement materials. Systemni doslidzhennia ta informatsiini tekhnolohii — Systems Research and Information Technology, 2, 117-127. <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2022.2.09>

9. Hetnarsky R.B., Eslami M.R. (2009). Thermal Stresses — Advanced Theory and Applications. Solid Mechanics and its Applications 158, © Springer Science Business Media B.V., 579.
10. Hetnarski R.B., Ignaczak J. (2004). Mathematical Theory of Elasticity. New York: Taylor and Francis, 821.
11. Ju J.W., Chen T.M. (1994). Effective elastic moduli of two-phase composites containing randomly dispersed spherical inhomogeneities. Acta Mech, 103(1), 123-144.
12. Kovalenko A.D. (1972). Thermoelasticity: Basic Theory and Applications. The Netherlands: Wolters-Noordhoff Groningen.
13. Marcela Fiedlerova, Petr Jisa, Kamil Stepanek (2021). Using various thermal analytical methods for bitumen characterization. International Journal of Pavement Research and Technology, 14, 4, 459-465.
14. Michael Elwardany, Jean-Pascal Planche, Gayle King (2020). Universal and practical approach to evaluate asphalt binder resistance to thermally-induced damage. Construction and Building Materials, 255, 119331, 1-18.
15. Miller W., Smith S.W., Mackenzie D.S., Ewans K.E. (2009). Negative Thermal Expansion: a Review. Journal of Material Science, 44, 5441–5451.
16. Nowacki W. (1986). Thermoelasticity. 2 nd ed. Oxford: PWN – Polish Scientific Publishers, Warsaw and Pergamon Press.
17. Takenaka K. (2012). Negative Thermal Expansion Materials: Technological Key for Control of Thermal Expansion. Science and Technology of Advanced Materials, 13, 1-11.

РЕФЕРАТ

Шлюнь Н.В. Про внутрішній механізм термопошкоджень в армованих композитах з термомеханічною несумісністю їх фаз / Н.В. Шлюнь, О.І. Білобрицька, Ю.О. Заєць, Л.В. Шевчук // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

Відмінна особливість явища зародження термонапруження в пружних тілах і спорудах, як правило, обумовлено не тим, що при зміні їх температури вони деформуються, а тим, що вони не можуть вільно деформуватися. Так, якщо тіло однорідне і на його переміщення не накладені зовнішні зв'язки, то при постійній або лінійно змінній вздовж просторових координат температурі термонапруження в ньому дорівнюють нулю. У роботі виділяється три механізми генерування термонапружень: зовнішній, внутрішній та градієнтний. Зовнішній механізм має місце, коли на переміщення тіла накладені зовнішні обмеження. Внутрішній механізм зустрічається у системах з неоднорідними термомеханічними властивостями: у композитах, у дорожніх та мостових покриттях. Градієнтний механізм реалізується при швидких змінах полів температури у часі та просторі.

У роботі виконано аналіз прояву умов відсутності термонапружень, а також механізми їх генерування в конструкціях дорожніх та мостових покриттів. Обговорюються питання щодо зниження цих напружень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЕРМОНАПРУЖЕННЯ, КОМПОЗИТНІ МАТЕРІАЛИ, ПРУЖНІ ТІЛА, ДОРОЖНІ ПОКРИТТЯ, ТЕРМОРИВНОВАЖЕННЯ.

ABSTRACT

Shlyun N.V., Bilobrytska O.I., Zaiets Yu.O., Shevchuk L.V. Conditions of absence and three mechanisms of generation of thermal stresses in elastic bodies. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

A distinctive feature of the phenomenon of the emergence of thermal stresses in elastic bodies and structures, as a rule, is due not to the fact that when their temperature changes and they are deformed, but to the fact that they cannot be freely deformed. So, if the body is homogeneous and no external constraints are imposed on its displacements, then at a constant or linearly changing along spatially variable temperature, the thermal stress in it is equal to zero. Three mechanisms of thermal stress generation are singled out in the work: external, internal and gradient. An external mechanism takes place when external restrictions are imposed on the movements of the body. The internal mechanism is found in systems with non-uniform thermomechanical properties: in composites, in road and bridge coatings. The gradient mechanism is realized with rapid changes in temperature fields in time and space.

The paper analyzes the manifestation of the conditions for the absence of thermal stresses, as well as the mechanisms of their generation in the construction of road and bridge pavements. The issues of reducing these stresses are discussed.

KEY WORDS: THERMAL STRESS, COMPOSITE MATERIALS, ELASTIC BODIES, ROAD COATINGS, THERMAL DESTRUCTION.

АВТОРИ:

Шлюнь Наталія Володимирівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри вищої математики, e-mail: nataliyashlyun@gmail.com, тел. +38(044) 280-71-09, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, orcid.org/0000-0003-1040-8870.

Білобрицька 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.

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

Шевчук Людмила Володимирівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри вищої математики, e-mail: ludmilashevchuk25@gmail.com, тел. +380667153633, Україна, 01010, м. Київ, вул. Бойчука 42, к. 511, orcid.org/0000-0002-5748-9527.

AUTHORS:

Shlyun N. V., Ph.D., National Transport University, tel. +38(044) 280-71-09, Ukraine, 01103, Kyiv, Boichuk str., 42, e-mail: nataliyashlyun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1040-8870.

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

Zaiets Yu. O., Ph. D., National Transport University, tel. +380979712351, , , Ukraine, 01103, Kyiv, Boichuk str., 42, e-mail: yzaets@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5748-9527.

Shevchuk L. V., Ph.D., National Transport University, tel. +380667153633, Ukraine, 01010, Kyiv, Boychuka str.42, e-mail: ludmilashevchuk25@gmail.com, 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.

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

REVIEWER:

Gaidaichuk V.V., Dr. Sc. (Engineering), Professor, Kyiv National University of Structures and Architecture, Head of Department of Theoretical Mechanics, Kyiv, Ukraine.

Gulyayev V. I., Dr. Sc. (Engineering), Professor, National Transport University, Head of Department Of Mathematics, Kyiv, Ukraine.

ОБМЕЖЕННЯ ШВИДКОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В МІСТАХ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ВРАЗЛИВИХ УЧАСНИКІВ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Янішевський С.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, s.yanishevskiy@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0113-5463

Білоног О.Є., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, bilonog.oksana@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2471-5388

Корчевська А.А., Національний транспортний університет, Київ, Україна, alinakorchevskaja@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8245-9891

LIMITING THE SPEED OF VEHICLES IN CITIES TO INCREASE THE SAFETY OF VULNERABLE ROAD USERS

Yanishevskiy S.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, s.yanishevskiy@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0113-5463

Bilonoh O.Y., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, bilonog.oksana@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2471-5388

Korchevskaya A.A., National Transport University, Kyiv, Ukraine, alinakorchevskaja@gmail.com, orcid.org/0000-0001-8245-9891

Постановка проблеми. Безпека дорожнього руху (БДР) є одним з базових критеріїв оцінки функціонування будь-якої транспортної системи та забезпечення мобільності населення. Так, наприклад, за даними консалтингової фірми McKinsey & Company, фахівці якої у 2018 та 2021 роках проводили комплексні дослідження впливу транспортних систем на якість життя в 25 містах світу (з чисельністю населення агломерації понад 5 млн. жителів), саме фізична безпека була визнана ключовим аспектом системи міського транспорту (як на думку експертів, так і за результатами опитування жителів), випередивши за ступенем важливості такі показники як ефективність особистого та громадського транспорту, комфортність, інтермодальність та екологічна безпека [1].

Під БДР розуміють такий стан процесу (системи) дорожнього руху, що визначає ступінь (рівень) захищеності його учасників від ДТП та їх наслідків [2]. Сучасний рівень смертності та травматизму внаслідок ДТП в Україні є достатньо високим, а рівень управління БДР залишається низьким, про що у своїх звітах неодноразово наголошували експерти ВООЗ, Світового банку та інших міжнародних інституцій. Для вирішення вказаної проблеми у 2020 році була прийнята «Стратегія підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2024 року» [3]. Значну увагу при розробці цієї Стратегії було приділено питанням поліпшення безпеки вразливих учасників руху – пішоходів, велосипедистів, осіб, що здійснюють рух на двоколісних мопедах або мотоциклах, дітей, людей старшого (похилого) віку та людей з інвалідністю [2].

Для загальної оцінки фактичного стану БДР серед вразливих учасників руху був проведений аналіз основних статистичних показників дорожньо-транспортної аварійності за їх участю протягом 2015–2021 років, вихідними даними для якого стала інформація зі щорічних звітів Національної поліції України (табл. 1).

Як бачимо, частка ДТП за участю вразливих учасників руху (наїздів на пішохода та велосипедиста) в нашій країні за останні роки залишається значною (36÷41%), аналогічним чином характеризується рівень тяжкості таких ДТП (насамперед – щодо загиблих осіб, частка яких за останні роки стабільно перевищує 40%). Для порівняння (рис. 1):

– у Німеччині за 2021 рік частка ДТП за участю пішоходів та велосипедистів складала 24,2% (5,2% і 19,0% відповідно), частка загиблих та травмованих внаслідок цих пригод – 27,9% (13,4% і 14,5%) та 32,9% (7,0% і 25,9%) від загальної їх кількості [5];

– в Польщі за 2021 рік за участю пішоходів та велосипедистів було скоєно близько третини всіх ДТП (частка таких пригод становила 20,0% і 15,4% відповідно), частка загиблих в цих аваріях склала 31,2% (23,0% і 8,2%), травмованих – 28,4% (16,3% і 12,1%) від загальної їх кількості [6].

Таким чином, за участю вразливих учасників руху в Україні протягом останніх років відбувається близько половини всіх ДТП з постраждалими і стійкої тенденції щодо зменшення цієї

частки не спостерігається. При цьому особливе занепокоєння викликає значна смертність серед пішоходів, яка суттєво перевищує відповідний рівень в країнах Європи.

Таблиця 1 – Дорожньо–транспортна аварійність в Україні серед вразливих учасників руху [4]
Table 1 – Traffic accidents in Ukraine among vulnerable road users

Рік	Загалом в Україні	Наїзд на пішохода		Наїзд на велосипедиста	
		Всього	Частка, %	Всього	Частка, %
1	2	3	4	5	6
ДТП з постраждалими					
2015	25493	8734	34,3	1732	6,8
2016	26782	9103	34,0	1661	6,2
2017	27220	9338	34,3	1668	6,1
2018	24294	8190	33,7	1496	6,2
2019	26052	8612	33,1	1526	5,9
2020	26140	7641	29,2	1768	6,8
2021	24521	7509	30,6	1355	5,5
Кількість загиблих у ДТП осіб					
2015	4003	1449	36,2	270	6,7
2016	3410	1261	37,0	239	7,0
2017	3432	1274	37,1	241	7,0
2018	3350	1237	36,9	218	6,5
2019	3454	1261	36,5	223	6,5
2020	3541	1198	33,8	235	6,6
2021	3238	1148	35,5	195	6,0
Кількість травмованих у ДТП осіб					
2015	31600	8067	25,5	1569	5,0
2016	33613	8546	25,4	1500	4,5
2017	34677	8787	25,3	1495	4,3
2018	30884	7591	24,6	1347	4,4
2019	32736	8005	24,5	1392	4,3
2020	31974	6959	21,8	1610	5,0
2021	29738	6849	23,0	1208	4,1

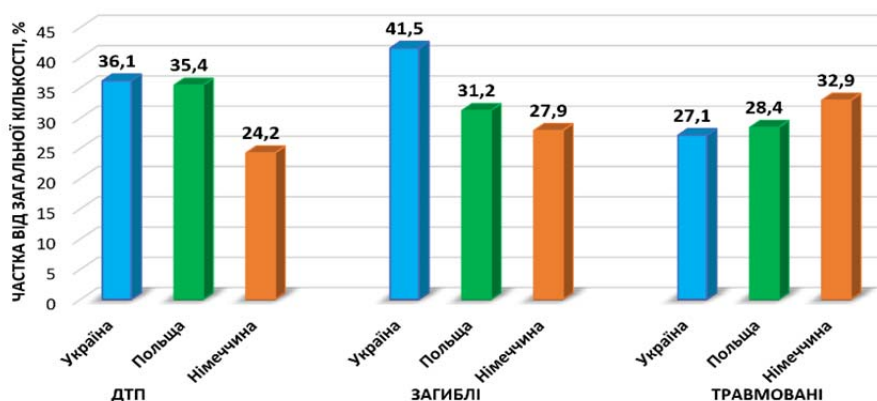


Рисунок 1 – Відносні показники дорожньо–транспортної аварійності за участю вразливих учасників руху (2021 рік)

Figure 1 – Relative rates of traffic accidents involving vulnerable road users (2021)

Оскільки швидкість руху транспортних засобів (ТЗ) на практиці є одним з ключових чинників БДР, проблема пошуку ефективних шляхів управління нею для зменшення потенційних ризиків мобільності вразливих учасників руху є актуальною та соціально значимою.

Мета дослідження. Виходячи з постановки проблеми та аналізу літературних джерел, метою даної статті є обґрунтування доцільності диференційованого обмеження швидкості ТЗ в містах

України з точки зору можливості їх застосування для поліпшення безпеки руху вразливих його учасників.

Виклад основного матеріалу. Наїзди на пішоходів та велосипедистів, як і інші види ДТП, не є фатальними подіями, оскільки їх можна і спрогнозувати, і попередити. Основні чинники ризику для цих категорій учасників руху добре відомі:

- небезпечна поведінка водіїв (насамперед, в частині порушення швидкісного режиму та управління ТЗ в стані сп'яніння);

- незадовільний стан пішохідної та велосипедної інфраструктури (наприклад, відсутність тротуарів, велосипедних смуг (доріжок), переходів чи належного їх облаштування);

- недоліки конструкції ТЗ в частині їх пасивної безпеки.

Актуальною для України також є проблема несвоєчасного (неякісного) надання невідкладної медичної допомоги особам, які були травмовані.

Одним з найефективніших способів підвищення безпеки серед вразливих учасників руху є зниження швидкості ТЗ, оскільки вона є ключовим фактором не лише ризику скоєння наїздів на них, але і тяжкості наслідків таких ДТП. Пересування ТЗ з високою швидкістю в випадку виникнення будь-яких перешкод (небезпек) для руху, з одного боку, призводить до зменшення резерву часу для відповідного реагування водія (наприклад, натискання на гальма чи відворот керма), а з іншого – до збільшення гальмівного шляху ТЗ. Крім того, при значних швидкостях погіршуються умови периферійного сприйняття водієм дорожньої обстановки, а тому він має меншу ймовірність побачити або передбачити потенційні конфлікти (наприклад, людей, які перетинають проїзну частину, чи наявність дітей, що граються).

Численними дослідженнями багатьох європейських та американських фахівців було доведено, що ризик смертельного травмування пішохода при наїзді ТЗ безпосередньо залежить від швидкості руху останнього; крім того, вказаний ризик є вищим для осіб літнього віку та пішоходів, з якими контактували вантажівки та інші великі ТЗ.

Для розрахунку ризику загибелі пішохода при наїзді може бути використана аналітична залежність, запропонована Rosén & Sander (2009) за результатами моделювання даних The German In-Depth Accident Study (GIDAS) в період 1999–2007 років [7]:

$$P(v) = \frac{1}{1 + \exp(6,9 - 0,09v)}, \quad (1)$$

де $P(v)$ – ймовірність загибелі пішохода при наїзді ТЗ, який рухався зі швидкістю v (км/год).

Як свідчать результати проведених досліджень, якщо при швидкості ТЗ 30 км/год ймовірність такого травмування становить 5%, то за швидкості 50 км/год вона збільшується утричі (15%), а за швидкості 70 км/год зростає до 40% (рис. 2).

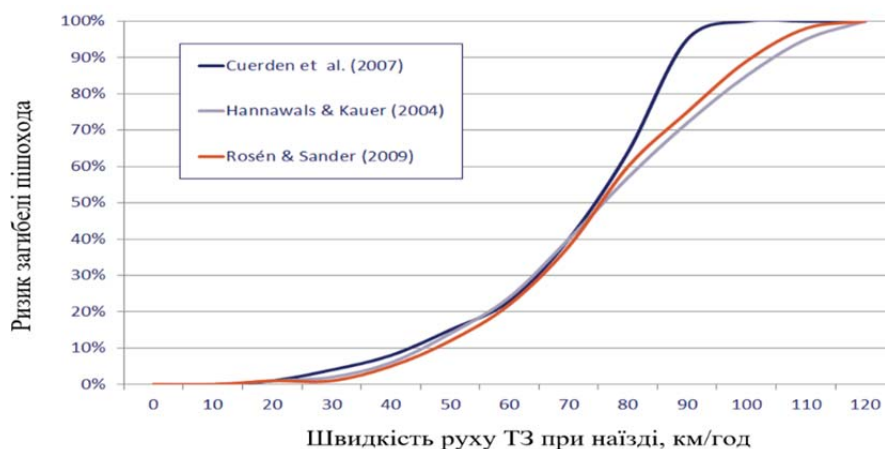


Рисунок 2 – Ризик загибелі пішохода при різних швидкостях наїзду ТЗ [7]

Figure 1 – Fatality rate at higher collision speed [7]

Тому одночасно з заходами, що зменшують ймовірність контактування вразливих учасників руху з рухомими ТЗ (насамперед – за рахунок просторового розділення шляхів їх пересування та

визначення жорстких пріоритетів в місцях потенційних конфліктів), необхідно також управляти швидкісним режимом транспорту. Інженерно-технічний підхід до управління швидкістю ТЗ передбачає багато заходів, спрямованих на її обмеження (насамперед – регламентація максимальних значень та заспокоєння дорожнього руху), а також заходи психологічного впливу. Всі вони мають не лише забезпечити обмеження швидкості, а й сприяти деякому зменшенню інтенсивності руху ТЗ.

Розрізняють два основних види обмеження швидкості ТЗ:

- встановлені (їх дотримання контролюється, порушення мають фіксуватись та каратись);
- рекомендовані (інформують водія про величину швидкості, яка забезпечує БДР на певній ділянці з урахуванням конкретних чинників умов руху).

Обмеження швидкості руху ТЗ в усіх країнах регламентуються Правилами дорожнього руху (ПДР); в Україні наразі можливі наступні обмеження [8]:

- загальні або постійні;
- спеціальні (для деяких типів ТЗ, видів перевезень, категорій водіїв);
- локальні (місцеві, тимчасові), які встановлюються на ділянках доріг з небезпечними умовами (зазвичай – до усунення цих умов, якщо не вдається зробити це відразу).

В якості дозволеної швидкості руху ТЗ в містах (населених пунктах) передбачені два постійні показники: загальне обмеження 50 км/год (п.12.4 ПДР) та 20 км/год – для пішохідних (житлових) зон (п.12.5 ПДР). Можливість застосування інших величин постійного обмеження швидкості також передбачена, проте умови (критерії) такого застосування не конкретизовані:

- на ділянках, де створені такі дорожні умови, що дають можливість рухатися з більш високою швидкістю (п. 12.8 ПДР);

- на небезпечних ділянках, місцях розміщення наземних нерегульованих пішохідних переходів чи розташування дорожніх станцій патрульної поліції, а також на ділянках доріг (вулиць), прилеглих до території дошкільних та загальноосвітніх навчальних закладів, дитячих оздоровчих таборів (п. 12.10 ПДР) (імовірно, йдеться про необхідність зменшення дозволеної швидкості руху ТЗ).

Таким чином, наразі в Україні відсутні чіткі рекомендації щодо диференціації показників обмеження швидкості ТЗ на окремих ділянках вулично-дорожньої мережі (ВДМ) міст з урахуванням пріоритетності інтересів учасників дорожнього руху [3], зокрема, в частині підвищення зручності та безпеки пересування пішоходів, велосипедистів та інших вразливих учасників руху.

Принагідно зауважимо, що невиправдані обмеження швидкості ТЗ (такі, що не відповідають фактичним умовам руху в частині очікуваного рівня зручності та потенційної його небезпеки) є незрозумілими з точки зору водіїв, а тому більшістю з них не виконуються. Так, наприклад, за результатами натурних спостережень на південному в'їзді до м. Києва (автомобільній дорозі Київ – Одеса за наявними трьома смугами для руху в кожному напрямку) було встановлено, що за сприятливих умов (світла пора доби, сухе покриття) при всіх рівнях транспортного завантаження (інтенсивність від 600 до 3600 авт/год) близько 85% ТЗ рухались з суттєвим перевищенням встановленого на цій ділянці вимогами п.12.4 ПДР обмеження максимальної швидкості (рис. 3) [9].

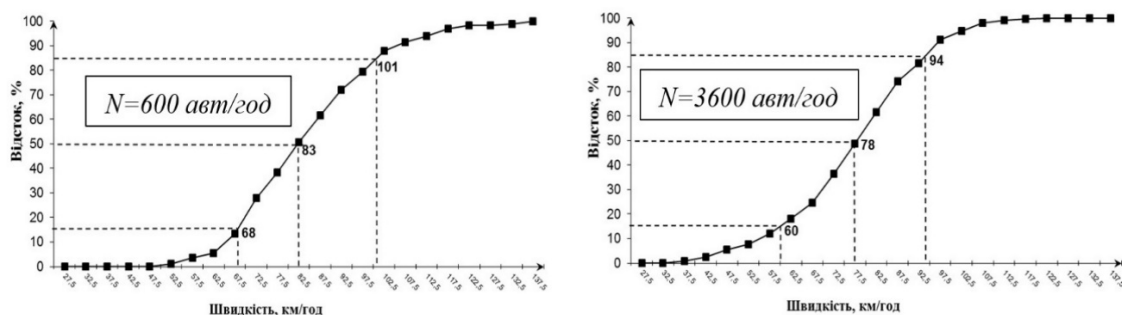


Рисунок 3 – Розподіл миттєвих швидкостей руху ТЗ на південному в'їзді до м. Києва [9]

Figure 3– Distribution of instantaneous vehicle speeds at the southern entrance to Kyiv [9]

З метою дослідження питання щодо визначення диференційованих (відмінних від загального показника 50 км/год) значень обмеження максимальної швидкості ТЗ в містах України, які, з одного боку, забезпечують належний рівень ефективності дорожнього руху, а з іншого – мінімізують потенційні ризики мобільності вразливих його учасників (насамперед – пішоходів і велосипедистів),

розглянемо рекомендації щодо вибору аналогічних обмежень в містах США за результатами досліджень National Association of City Transportation Officials (NACTO) [10].

Для практичного застосування пропонуються наступні підходи (інструменти) щодо встановлення обмежень швидкості руху ТЗ в містах:

- за замовчуванням для багатьох вулиць одразу (приклад – національні обмеження згідно п.п. 12.4, 12.5 ПДР (див. вище));
- виділення «повільних» ділянок (зон) ВДМ у потенційно небезпечних місцях;
- введення вищих значень безпечної швидкості на ділянках пріоритетних (магістральних) вулиць.

Визначення конкретного значення обмеження максимальної швидкості ТЗ в рамках реалізації прийнятого варіанту управління рухом передбачає проведення дослідження, що складається з чотирьох основних компонентів (етапів):

- збір початкових даних (стан ділянки та показники аварійності на ній);
- аналіз умов руху, що існують, для всіх присутніх на даній ділянці (зоні) його учасників;
- визначення раціонального варіанту управління швидкістю ТЗ;
- оцінка змін (порівняння даних до та після впровадження).

Очевидно, що визначальними з точки зору суті даного дослідження є аналіз умов руху, при проведенні якого враховують два основні чинники.

1. **КОНФЛІКТНІСТЬ**, тобто як часто на досліджуваній ділянці ВДМ виникають суттєві небезпеки. Останні мають місце тоді, коли певна дорожньо–транспортна ситуація (наприклад, перехід пішоходом проїзної частини під час повороту автомобіля) характеризується їх взаємним наближенням та такою швидкістю ТЗ, що могла спричинити наїзд, якби водієм не вживались екстрені дії для зміни режиму його руху. У міських умовах цей показник зазвичай залежить від того, наскільки розділений потенційно конфліктний рух та яким є його інтенсивність для кожної категорії учасників (ТЗ, пішоходів, велосипедистів, тощо).

2. **АКТИВНІСТЬ**, тобто поточний рівень завантаження ділянки рухом всіх категорій учасників та перспективи його зростання. ДТП з тяжкими наслідками, як правило, є результатом негативної реалізації конфліктів при русі ТЗ зі значними швидкостями. Тому на ділянках ВДМ з більшою кількістю потенційно серйозних конфліктів та вищим рівнем активності мають вводиться більш жорсткі (нижчі) обмеження швидкості.

Частота виникнення потенційних конфліктів (щільність конфліктів) між ТЗ та пішоходами (велосипедистами) залежить від ступеня фізичного їх відокремлення та щільності (кількості) місць можливого утворення таких конфліктів (перехресть, переходів, тощо).

Типові варіанти (моделі) фізичного відокремлення в міських умовах.

1. Відокремлення відсутнє або недостатнє (тротуарів немає або ж вони безпосередньо межують з рухомими ТЗ; дозволений (передбачений відповідними знаками) велосипедний рух здійснюється тротуаром разом з пішоходами або ж в межах виділеної спільної смуги для велосипедистів і ТЗ).

2. Помірне відокремлення (облаштований відокремлений тротуар та/або наявна окрема смуга для завантаження/паркування ТЗ; дозволений велосипедний рух в межах облаштованої велосмуги чи велодоріжки; за їх відсутності – наявність повноцінного (широкого) тротуару з можливістю проїзду велосипедистів).

3. Повне відокремлення (облаштований відокремлений тротуар, дозволений велосипедний рух в межах вертикально та горизонтально захищеної (відокремленої) велодоріжки чи доріжки/смуги спільного вело–пішохідного руху; пасажери, які здійснюють посадку–висадку з ТЗ, знаходяться поза межами основної проїзної частини).

Типові варіанти (моделі) розташування місць можливого створення конфліктів для велосипедистів, пішоходів та автотранспорту.

1. Висока щільність (наявність так званих «коротких кварталів» – три чи більше перехрестя (регульовані чи нерегульовані), примикання, переходи, переїзди або інші місця перетину проїзної частини на кожних 400 м ділянки ВДМ).

2. Помірна щільність (один–три вищевказаних об'єкти на такій ділянці).

3. Низька щільність (жодного з вищевказаних об'єктів в межах ділянки довжиною 400 м немає).

Рівень активності впливає на швидкість виникнення потенційних конфліктів на будь–якій ділянці ВДМ. На більшості міських вулиць активність або висока, або помірна. Для визначення конкретних оціночних показників активності та їх кількісних значень необхідні враховувати місцеві умови та досвід попередньої реалізації заходів щодо обмеження максимальної швидкості ТЗ.

1. Висока активність. Вулиці зі значною фактичною (очікуваною) пішохідною активністю, з наявними центрами тяжіння населення, популярними зараз чи в перспективі велосипедними маршрутами, значним попитом на паркування та високою щільністю зупинок громадського транспорту (центр міста; ділові райони; торговельні квартали; житлові вулиці з високою щільністю забудови).

2. Помірна активність. Вулиці з помірною пішохідною активністю та використанням громадських просторів, незначним велосипедним рухом, наявними боковими проїздами, можливістю паркування для посадки /висадки пасажирів та наявними зупинками транзитного громадського транспорту (житлові вулиці з середньою щільністю забудови; вулиці зі наявними закладами роздрібною торгівлі; ділянки змішаного використання різними категоріями учасників руху).

3. Низька активність. Вулиці з мінімальною очікуваною кількістю пішоходів та велосипедистів, низьким попитом на паркування та відсутністю (незначною кількістю) зупинок громадського транспорту (промислові та житлові вулиці з низькою щільністю забудови).

Приклади застосування методики оцінки щільності конфліктів та рівня активності на окремих типових ділянках ВДМ міст США наведені в табл.2.

Рекомендації щодо вибору диференційованих значень обмеження максимальної швидкості ТЗ на основі оцінки щільності конфліктів та рівня активності наведені на рис. 4 (зауважимо, що вказані величини (км/год) перераховані у відповідності до показників, які пропонуються для міст Північної Америки (миль/год)).

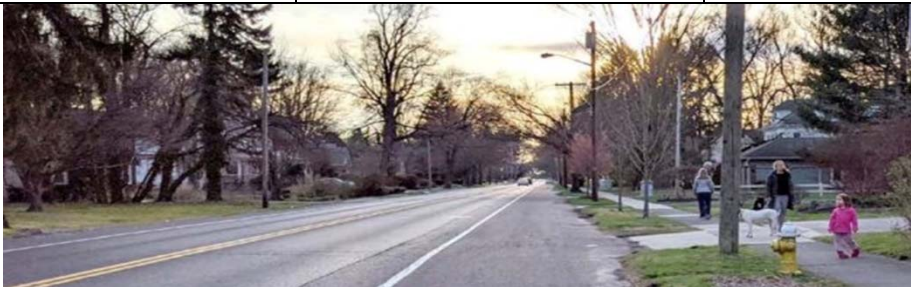
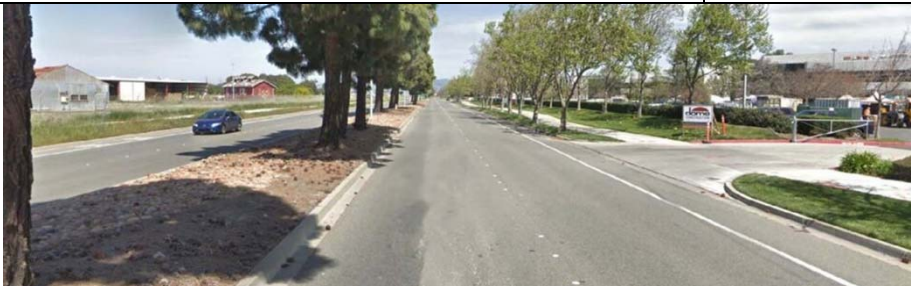
Таблиця 2 – Приклади оцінки щільності конфліктів та рівня активності [10]

Table 2 – Examples for assessing the density and level of conflict activity [10]

Ступінь фізичного відокремлення ТЗ та пішоходів (велосипедистів)	Щільність місць можливого створення конфліктів	Рівень активності
1	2	3
		
Дозволений велосипедний рух здійснюється спільною смугою з ТЗ; тротуари безпосередньо межують з проїзною частиною – недостатнє відокремлення.	Наявні так звані «короткі квартали» – висока щільність місць можливого створення конфліктів.	Центр міста зі значною щільністю житлової, комерційної та торговельної забудови з обох сторін вулиці. ВИСОКА АКТИВНІСТЬ
ВИСОКА КОНФЛІКТНІСТЬ		
		
Тротуари безпосередньо межують з проїзною частиною, велосмуга (велодоріжка) відсутня – недостатнє відокремлення.	На ділянці довжиною не більш ніж 200 м наявні два регульовані перехрестя та пішохідні переходи – висока щільність місць можливого створення	Ділянка змішаного використання різними категоріями учасників руху з наявними закладами роздрібною торгівлі та зупиночним пунктом

	конфліктів.	громадського транспорту. ПОМІРНА АКТИВНІСТЬ
ВИСОКА КОНФЛІКТНІСТЬ		

Продовження таблиці 2
Continuation of Table 2

1	2	3
		
Облаштовані та відокремлені тротуари, наявні окремі смуги для завантаження/паркування ТЗ – помірне відокремлення	Квартали значної протяжності, наявність одного місця можливого перетину пішоходами проїзної частини в межах ділянки довжиною близько 200÷300м – помірна щільність	Житлова вулиця з середньою щільністю забудови, помірною пішохідною активністю та незначним велосипедним рухом. ПОМІРНА АКТИВНІСТЬ
ПОМІРНА КОНФЛІКТНІСТЬ		
		
Повне відділення руху ТЗ, облаштовані і відокремлені тротуари, велосипедний рух в межах горизонтально захищеної велосмуги – повне відокремлення	Відсутність в межах зони видимості (близько 300÷500м) перехресть, переходів чи переїздів – низька щільність	Промислова (комерційна) вулиця з низькою щільністю забудови з обох сторін, мінімальна очікувана кількість пішоходів та велосипедистів. НИЗЬКА АКТИВНІСТЬ
НИЗЬКА КОНФЛІКТНІСТЬ		

		КОНФЛІКТНІСТЬ		
		Висока	Помірна	Низька
АКТИВНІСТЬ	Висока	30 км/год	30 км/год	40 км/год
	Помірна	30 км/год	40 км/год	50 км/год
	Низька	40 км/год	40 км/год	60 км/год

Рисунок 4 – Рекомендації щодо вибору обмеження максимальної швидкості
Figure 4 – Recommendations for choosing the maximum speed limit

Реалізація запропонованого підходу щодо диференційованого обмеження максимальної швидкості ТЗ на ВДМ міст передбачає комплексне використання різних методів управління; серед основних задач такого управління – зменшення загальної кількості ТЗ, які перевищують встановлене обмеження, а також частки так званих «надшвидких» автомобілів. На практиці для вирішення вказаних задач найчастіше застосовуються наступні засоби (заходи).

1. Дорожні знаки та розмітка. Якісна та доступна інформація щодо введення локальних постійних обмежень швидкості ТЗ, які є відмінними від загального, має важливе значення для ефективного управління їх рухом. Загальні вимоги щодо застосування дорожніх знаків 3.29 «Обмеження максимальної швидкості», 3.31 «Зона обмеження максимальної швидкості» визначені [11], а щодо використання дорожньої розмітки 1.27 – вимогами [12]. Тому в містах, як мінімум, необхідно дотримуватися відповідних вказівок; разом з тим, конкретні рішення щодо частоти та способів розміщення цих та інших технічних засобів управління дорожнім рухом (наприклад, інформаційних показників з роз'яснення причин встановленого обмеження швидкості) доцільно приймати на основі особливостей місцевих умов.

2. Зміни планування (дизайну) вулиць є найефективнішим інструментом управління швидкістю ТЗ. Певні зміни такого планування (насамперед – елементів поперечного профілю) можуть погіршити можливості водіїв для прискорення та зменшити максимальні швидкості ТЗ, з якими їм комфортно пересуватись в межах даної ділянки ВДМ. Більшість інженерно-планувальних рішень на ВДМ сучасних міст сприяють зменшенню швидкості ТЗ за рахунок використання одного чи декількох засобів заспокоєння руху – конструктивних елементів дороги (вулиці) або технічних засобів, які призначені для зниження швидкості дорожніх ТЗ та підвищення уважності всіх учасників руху [13]. Серед найбільш розповсюджених таких засобів – штучні нерівності покриття проїзної частини (дорожні пагорби) для фізичного унеможливлення перевищення швидкості; звуження проїзної частини (зменшення числа смуг руху чи їх ширини) для збільшення дискомфорту пересування ТЗ на високих швидкостях; штучні шлюзи чи повороти (шикани) в якості візуальних підказок для зниження швидкості.

3. Автоматизований контроль швидкісного режиму може бути корисним компонентом управління швидкістю, особливо на ділянках з великою кількістю ДТП зі смертельними наслідками та тяжкими травмами. Такий контроль є ефективнішим, ніж ручний, оскільки камери є об'єктивними та зрозумілими для водіїв. Так, наприклад, за підсумками контролю швидкості ТЗ в м. Нью-Йорку (США) було встановлено, що на ділянках автоматичної фіксації загальна кількість ДТП зменшилася на 15%, загальна кількість травм – на 17%, кількість загиблих – на 55%, а число порушень встановленого обмеження швидкості – на 60%; крім того, середньодобова кількість таких порушень у місцях розташування камер з часом зменшувалась, оскільки водії були більш відповідальними при виборі швидкості керованих ними ТЗ [14].

4. Інформаційна та просвітницька політика мають важливе значення для успішної програми управління швидкістю. Комунікаційні кампанії для населення варто починати задовго до початку впровадження змін в обмеженні максимальної швидкості ТЗ та продовжувати після їх реалізації. Таке інформування має завжди пов'язувати зниження максимальної дозволеної швидкості ТЗ з безпекою вразливих категорій жителів міста, постійно нагадуючи громадськості, представникам органів влади і ЗМІ, що такі обмеження швидкості є критично важливим інструментом для зменшення тяжкості наслідків ДТП за їх участю. Для поширення інформації про зміни в обмеженні швидкості ТЗ можуть застосовуватись телевізійна, радіо– та онлайн–реклама, рекламні щити, автобусні зупинки, розсилки, перехресні рекламні кампанії з відомими особистостями, новини та статті. Безкоштовні рекламні матеріали (плакати, листівки, наклейки) дадуть змогу розширити охоплення просвітницької кампанії за межі традиційних медіа–каналів та ЗМІ.

На закінчення зауважимо, що самі по собі заходи щодо обмеження швидкості руху ТЗ не гарантують повної безпеки для вразливих учасників дорожнього руху. Необхідно одночасно вирішувати й інші завдання (наприклад, забезпечити ефективне зовнішнє освітлення ділянок ВДМ в темну пору доби, поліпшити ефективність просвітницької роботи щодо забезпечення БДР як серед водіїв ТЗ, так і серед пішоходів (велосипедистів, мотоциклістів), поліпшити ефективність контролю дотримання вимог ПДР всіма категоріями учасників ДР, тощо).

Висновки. За участю вразливих учасників дорожнього руху в Україні протягом останніх років відбувається близько половини всіх ДТП з постраждалими, і стійкої тенденції щодо зменшення цієї

частки не спостерігається. Особливе занепокоєння викликає значна смертність серед пішоходів, яка суттєво перевищує відповідний рівень в країнах Європи.

Зниження швидкості руху ТЗ є одним з найефективніших способів підвищення безпеки мобільності вразливих учасників руху, оскільки вона є ключовим фактором не лише ризику скоєння наїздів на них, але і тяжкості наслідків таких ДТП. Інженерно-технічний підхід до управління швидкістю ТЗ передбачає багато заходів, спрямованих на її обмеження (насамперед – регламентація максимальних значень та заспокоєння дорожнього руху), а також заходи психологічного впливу.

Наразі в Україні в якості дозволеної швидкості руху ТЗ в містах передбачені два постійні показники: загальне обмеження 50 км/год (п.12.4 ПДР) та 20 км/год – для пішохідних (житлових) зон (п.12.5 ПДР). В свою чергу, чітких рекомендацій щодо диференціації показників обмеження швидкості ТЗ на окремих ділянках ВДМ міст України наразі немає.

Для прикладу в роботі були розглянуті рекомендації щодо визначення диференційованих значень обмеження максимальної швидкості ТЗ в містах США за результатами досліджень National Association of City Transportation Officials (НАСТО). Визначення зазначених обмежень в рамках реалізації прийнятого варіанту управління рухом здійснюється на етапі аналізу умов руху, що існують на досліджуваній ділянці ВДМ, для всіх присутніх на даній ділянці (зоні) його учасників. Основними чинниками, що впливають на оцінку умов руху, є:

- частота виникнення потенційних конфліктів (щільність конфліктів) між ТЗ та пішоходами (велосипедистами), яка залежить від ступеня фізичного їх відокремлення та щільності (кількості) місць можливого утворення таких конфліктів (перехресть, переходів, тощо);

- рівень активності, який впливає на швидкість виникнення потенційних конфліктів та залежить від поточного завантаження досліджуваної ділянки рухом всіх категорій учасників та перспектив його зростання.

На основі застосування методики сумісної оцінки щільності конфліктів та рівня активності на ділянках ВДМ були запропоновані рекомендації щодо вибору диференційованих значень обмеження максимальної швидкості ТЗ для міст України в діапазоні від 30 до 60 км/год. Реалізація рекомендованих обмежень передбачає комплексне використання різних методів управління та відповідних засобів (заходів) – використання дорожніх знаків та розмітки, зміни планування (дизайну) вулиць (використання засобів заспокоєння руху), впровадження (поширення) пристроїв автоматизованого контролю швидкісного режиму, а також удосконалення інформаційної та просвітницької політики щодо необхідності та доцільності змін в обмеженні швидкості ТЗ.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Urban transportation systems of 25 global-cities: Elements of success // McKinsey Center for Future Mobility, July 2021, 138 p. © 2021 McKinsey & Company. Retrieved from <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/elements-of-success-urban-transportation-systems-of-25-global-cities-july-2021.pdf>

2. Проект Закону України від 26.09.2016 № 5184 «Про дорожній рух та його безпеку». (Електронний ресурс). Режим доступу: <https://ips.ligazakon.net/document>

3. Стратегія підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2024 року (схвалена Розпорядженням КМ України від 21 жовтня 2020 р. № 1360-р). (Електронний ресурс). Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1360-2020>

4. Статистика ДТП в Україні // Департамент патрульної поліції НП України. (Електронний ресурс). Режим доступу: <http://patrol.police.gov.ua/statystyka>

5. Tabellen: Polizeilich erfasste Unfälle im Straßenverkehr; Beteiligte und Verunglückte (Електронний ресурс). Режим доступу: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle>

6. Wypadki drogowe w Polsce w 2021 roku. (Електронний ресурс). Режим доступу: <https://statystyka.policja.pl/st/ruch-drogowy/76562,wypadki-drogowe-raporty-roczne.html>

7. Literature review of pedestrian fatality risk as a function of car impact speed. Author Erik Rosén, Helena Stigson, Ulrich Sander. Accident Analysis & Prevention Volume 43, Issue 1, January 2011, Pages 25–33. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.04.003>

8. Правила дорожнього руху (затверджені Постановою КМ України від 10 жовтня 2001 р. № 1306, зі змінами і доповненнями). (Електронний ресурс). Режим доступу: <https://ips.ligazakon.net/document/KP011306>
9. Янішевський С.В. Щодо доцільності встановлених обмежень максимальної швидкості руху на підходах до значних та найзначніших міст / Корчевський А.О., Янішевський С.В. // Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання», 26–28 березня 2015 року: Тези доповідей. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2015. – С.18–21.
10. National Association of City Transportation Officials. City-limits. Setting Safe Speed Limits on Urban Streets. Summer 2020, 50 p. Retrieved from <https://nacto.org/publication/city-limits>
11. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування: ДСТУ 4100:2014. – [Чинний від 2015–07–01] – К. : Держспоживстандарт України, 2011. – 106 с. – (Національні стандарти України).
12. Розмітка дорожня. Технічні вимоги. Методи контролю. Правила застосування: ДСТУ 2587:2010. – [Чинний від 2010–12–27] – К. : Держспоживстандарт України, 2011. – 39 с. – (Національні стандарти України).
13. Безпека дорожнього руху. Засоби заспокоєння руху. Загальні технічні вимоги: ДСТУ 4123:2020. – [Чинний від 2020–11–01] – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2020. – 15 с. – (Національні стандарти України).
14. New York City Department of Transportation (2018). Automated Speed Enforcement Program Report 2014–2017. Retrieved from <http://www.nyc.gov/html/dot/downloads/pdf/speedcamera-report-june2018.pdf>.

REFERENCES

1. Urban transportation systems of 25 global-cities: Elements of success // McKinsey Center for Future Mobility, July 2021, 138 p. © 2021 McKinsey & Company. Retrieved from [https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/elements-of-success-urban-transportation-systems-of-25-glob al-cities-july-2021.pdf](https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/elements-of-success-urban-transportation-systems-of-25-glob-al-cities-july-2021.pdf)
2. Proekt Zakonu Ukrainy vid 26.09.2016 № 5184 «Pro dorozhniy rukh ta yoho bezpeku» [Draft Law of Ukraine «On road traffic and its safety»]. Retrieved from <https://ips.ligazakon.net/document> [in Ukrainian].
3. Stratehiya pidvyshchennya rivnya bezpeky dorozhn'oho rukhu v Ukraini na period do 2024 roku (skhvalena Rozporyadzhenniam Kabinetu ministriv Ukrainy vid 21 zhovtnya 2020 r. № 1360–r) [Strategy for increasing the level of road safety in Ukraine for the period until 2024 (approved by the Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine)]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1360–2020> [in Ukrainian].
4. Statystyka DTP v Ukraini // Departament patrol'noyi politsiyi natsional'noyi politsiyi Ukrainy. [Traffic accident statistics in Ukraine // Patrol Police Department of the National Police of Ukraine]. Retrieved from <http://patrol.police.gov.ua/statystyka> [in Ukrainian].
5. Tabellen: Polizeilich erfasste Unfälle im Straßenverkehr; Beteiligte und Verunglückte. [Tables: Road traffic accidents recorded by the police; involved and casualties]. Retrieved from <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle> [in German].
6. Wypadki drogowe w Polsce w 2021 roku. [Road accidents in Poland in 2021]. Retrieved from <https://statystyka.policja.pl/st/ruch-drogowy/76562,wypadki-drogowe-raporty-roczne.html> [in Polish].
7. Literature review of pedestrian fatality risk as a function of car impact speed. Author Erik Rosén, Helena Stigson, Ulrich Sander. Accident Analysis & Prevention Volume 43, Issue 1, January 2011, Pages 25–33. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.04.003>.
8. Pravyla dorozhn'oho rukhu (zatverdzeni Postanovoyu Kabinetu ministriv Ukrainy vid 10 zhovtnya 2001 r. № 1306, zi zminamy i dopovnenniyamy). [Traffic rules (approved by Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine, 2001, as amended)]. Retrieved from <https://ips.ligazakon.net/document/KP011306> [in Ukrainian].
9. Korchevskyi A.O., Yanishevskyi S.V. (2015). Shchodo dotsil'nosti vstanovlenykh obmezen' maksymal'noyi shvydkosti rukhu na pidkhodakh do znachnykh ta nayznachnishykh mist [Regarding the expediency of established maximum speed limits on the approaches to significant and most significant cities] // Vseukrayins'ka nauково-teoretychna konferentsiya «Problemy z transportnymy potokamy i napryamy

yikh rozv"yazannya» – All–Ukrainian scientific–theoretical conference "Problems with transport flows and directions for their solution": Abstracts of reports. – Lviv: Lviv Polytechnic. – P.18–21 [in Ukrainian].

10. National Association of City Transportation Officials. City–limits. Setting Safe Speed Limits on Urban Streets. Summer 2020, 50 p. Retrieved from <https://nacto.org/publication/city-limits>

11. Znaky dorozhni. Zahal'ni tekhnichni umovy. Pravyla zastosuvannya [Road signs. General technical conditions. Application rules]. (2014): DSTU 4100:2014 from July 1, 2015. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukraine. – 106 p. (National Standards of Ukraine) [in Ukrainian].

12. Rozmitka dorozhnya. Tekhnichni vymohy. Metody kontrolyu. Pravyla zastosuvannya. [Road markings. Technical requirements. Control methods. Application rules]. (2011): DSTU 2587:2010 from December 27, 2010. – Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukraine. – 39 p. –(National standards of Ukraine) [in Ukrainian].

13. Bezpeka dorozhn'oho rukhu. Zasoby zaspokoyennya rukhu. Zahal'ni tekhnichni vymohy. [Road safety. Means of traffic calming. General technical requirements]: (2020): DSTU 4123:2020 from November 1, 2020. – Kyiv: SE «UkrNDNC». – 15 p. – (National standards of Ukraine) [in Ukrainian].

14. New York City Department of Transportation (2018). Automated Speed Enforcement Program Report 2014–2017. Retrieved from <http://www.nyc.gov/html/dot/downloads/pdf/speedcamera-report-june2018.pdf>.

РЕФЕРАТ

Янішевський С.В. Обмеження швидкості транспортних засобів в містах для підвищення безпеки вразливих учасників дорожнього руху / С. В. Янішевський, О. Є. Білоног, А. А. Корчевська // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55).

БДР є одним з базових критеріїв оцінки функціонування будь-якої транспортної системи та забезпечення мобільності населення. За участю вразливих учасників руху в Україні протягом останніх років відбувається близько половини всіх ДТП з постраждалими. При цьому особливе занепокоєння викликає значна смертність серед пішоходів, яка суттєво перевищує відповідний рівень в країнах Європи. Оскільки швидкість руху ТЗ є одним з ключових чинників БДР, проблема пошуку ефективних шляхів управління нею для зменшення потенційних ризиків мобільності вразливих учасників руху є актуальною та соціально значимою.

Мета дослідження – обґрунтування доцільності диференційованого обмеження швидкості ТЗ в містах України з точки зору можливості їх застосування для поліпшення безпеки руху вразливих його учасників.

Зниження швидкості руху транспорту є одним з найефективніших способів поліпшення умов мобільності вразливих учасників руху, оскільки вона є визначальним чинником не лише ризику скоєння наїздів на них, але і тяжкості наслідків таких ДТП. Тому одночасно з заходами, що зменшують ймовірність контактування (насамперед – за рахунок просторового розділення шляхів їх пересування та визначення жорстких пріоритетів в місцях потенційних конфліктів), необхідно також управляти швидкісним режимом транспорту. Інженерно–технічний підхід до такого управління передбачає обмеження швидкості (насамперед – регламентація максимальних значень та заспокоєння руху), а також заходи психологічного впливу.

Наразі в Україні в якості максимальної швидкості транспорту в містах передбачені два постійні показники: загальне обмеження 50 км/год (п.12.4 ПДР) та 20 км/год – для пішохідних (житлових) зон (п.12.5 ПДР). При цьому чітких рекомендацій щодо конкретних показників обмеження цієї швидкості на окремих ділянках ВДМ містах немає. Тому для визначення диференційованих (відмінних від 50 км/год) значень максимальної швидкості в містах України були розглянуті рекомендації щодо вибору аналогічних обмежень згідно досліджень НАСТО (США).

Визначення зазначених обмежень при реалізації прийнятого варіанту управління здійснюється на етапі аналізу умов руху, що існують на досліджуваній ділянці (зоні), з урахуванням всіх присутніх учасників. Основними чинниками, що впливають на таку оцінку, є:

- частота виникнення потенційних конфліктів (щільність конфліктів) між ТЗ та пішоходами (велосипедистами), яка залежить від ступеня фізичного їх відокремлення та щільності (кількості) місць можливого утворення таких конфліктів (перехресть, переходів, тощо);

- рівень активності, який впливає на швидкість виникнення потенційних конфліктів та залежить від поточного завантаження досліджуваної ділянки рухом всіх категорій учасників та перспектив його зростання.

На основі застосування методики сумісної оцінки щільності конфліктів та рівня активності на окремих типових ділянках для міст України запропоновані рекомендації щодо вибору диференційованих обмежень максимальної швидкості ТЗ в діапазоні від 30 до 60 км/год. Реалізація таких обмежень передбачає комплексне застосування різних методів управління та відповідних засобів (заходів) – використання дорожніх знаків та розмітки, зміни планування (дизайну) вулиць (облаштування засобів заспокоєння руху), впровадження (поширення) пристроїв автоматизованого контролю швидкісного режиму, а також удосконалення інформаційної та просвітницької політики щодо необхідності та доцільності змін в обмеженні швидкості ТЗ.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ДОРОЖНІЙ РУХ, ВРАЗЛИВІ УЧАСНИКИ РУХУ, БЕЗПЕКА, МОБІЛЬНІСТЬ, ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ, УПРАВЛІННЯ, ШВИДКІСТЬ, ОБМЕЖЕННЯ, ДИФФЕРЕНЦІАЦІЯ

ABSTRACT

Yanishevskiy S.V., Bilonog O.E., Korchevska A.A. Limiting the speed of vehicles in cities to increase the safety of vulnerable road users. Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55).

Road traffic safety is one of the main criteria for evaluating the functioning of any transport system and ensuring the mobility of the population. In recent years, about half of all traffic accidents with victims in Ukraine occur with the participation of vulnerable road users. Of particular concern is the high mortality rate among pedestrians, which is significantly higher than in European countries. Since the speed of movement is one of the key factors of road safety, the problem of finding effective ways of managing it to reduce the potential risks of mobility of vulnerable road users is relevant and socially significant.

The purpose of the study is to substantiate the feasibility of introducing differentiated vehicle speed limits in the cities of Ukraine from the point of view of the possibility of their application to increase safety of vulnerable road users.

Reducing vehicle speed is one of the most effective ways to improve the conditions of movement of vulnerable road users, as it is a key factor not only in the risk of road accidents, but also in the severity of the consequences of such accidents. Therefore, along with measures to reduce the probability of contact (primarily through the spatial delineation of their movement routes and establishing clear priorities in potential conflict zones), it is also necessary to control the speed of transport. The engineering and technical approach to such management involves speed limits (primarily regulation of maximum values and traffic calming), as well as psychological measures.

Currently, Ukraine has two permanent maximum speed limits in cities: a total of 50 km/h (clause 12.4 of Traffic Code) and 20 km/h for pedestrian (residential) zones (clause 12.5 of Traffic Code). At same time, there are no clear recommendations regarding specific indicators of this speed limit on certain sections of city streets. Therefore, in order to determine the differentiated (different from 50 km/h) maximum speed values in the cities of Ukraine, the recommendations for the selection of such restrictions were considered according to the NACTO (USA) studies.

The determination of these restrictions during the implementation of the adopted management option is carried out at the stage of analyzing the traffic conditions existing in the area (zone) of the study, taking into account all the participants present. The main factors influencing the assessment of traffic conditions are:

- the frequency of potential conflicts (their density) between vehicles and pedestrians (cyclists), which depends on the degree of their physical separation and the density (number) of places where such conflicts can occur (intersections, transitions, etc.).

- the level of activity, which affects the speed of potential conflicts and depends on the current traffic load of the studied territory by all categories of participants and the prospects for its growth.

Based on the application of the methodology of joint assessment of the conflict density and the level of activity of certain territories typical for the cities of Ukraine, recommendations have been developed regarding the selection of differentiated restrictions on the maximum speed of vehicles in the range from 30 to 60 km/h. The implementation of such restrictions involves the complex application of various

management methods and appropriate means (measures) – the use of road signs and markings, changes in the planning (design) of streets (installation of traffic regulation means), implementation (distribution) of automated speed control means, as well as improvement of the information and educational policy regarding the necessity and expediency of changing the speed regime.

KEY WORDS: ROAD TRAFFIC, VULNERABLE TRAFFIC PARTICIPANTS, SAFETY, MOBILITY, VEHICLES, CONTROLS, SPEED, RESTRICTIONS, DIFFERENTIATION

АВТОРИ:

Янішевський Сергій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, e-mail: s.yanishevskiy@gmail.com, тел. +380679462842, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича–Павленка, 1, к. 435, orcid.org/0000–0002–0113–5463.

Білоног Оксана Євгенівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного права та логістики, e-mail: bilonog.oksana@gmail.com, тел. +380679599997, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича–Павленка, 1, к. 439, orcid.org/0000–0003–2471–5388

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:

Yanishevskiy Serhii, Ph. D., associate professor, National Transport University, associate professor of the department of transport systems and traffic safety, e-mail: s.yanishevskiy@gmail.com, tel. +380679462842, Ukraine, 01010, Kyiv, Mykhaila Omelianovich–Pavlenko str. 1, of. 435, orcid.org/0000–0002–0113–5463.

Bilonoh Oksana, Ph. D., associate professor, National Transport University, associate professor of the department of transport law and logistics, e-mail: bilonog.oksana@gmail.com, tel. +380679599997, Ukraine, 01010, Kyiv, Mykhaila Omelianovich–Pavlenko str. 1, of. 439, orcid.org/0000–0003–2471–5388

Korchevskaya Alina, National Transport University, Senior teacher transport systems and traffic safety, alinakorchevskaja@gmail.com, tel. +380442804885, Ukraine, 01010, Kyiv, Mykhaila Omelianovich–Pavlenko str. 1, of. 435, orcid.org/0000–0001–8245–9891

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Кисельов Володимир Борисович, доктор технічних наук, професор, Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, директор навчально–наукового інституту муніципального управління та міського господарства, Київ, Україна.

Прокудін Георгій Семенович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Kiselyov Volodymyr, doctor of technical sciences, professor, Tavriya National University named after V.I. Vernadsky, director of the educational and scientific institute of municipal management and urban economics, Kyiv, Ukraine.

Prokudin Heorhiy, doctor of technical sciences, professor, National Transport University, head of the department of international transportation and customs control, Kyiv, Ukraine.