

ВИКОРИСТАННЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ЗАПАСУ ХОДУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

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

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

USING A WIND GENERATOR 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

Постановка проблеми.

З кожним роком попит на електромобілі стрімко зростає. Відбувається поступова переорієнтація відомих автоконцернів на випуск все більшої кількості електромобілів. Особливої популярності використання електромобілів набуло у великих містах, де спостерігається значне погіршення екологічної ситуації, що пов'язане з масовими викидами шкідливих речовин автомобілями з двигуном внутрішнього згорання. Саме завдяки своїм технічним особливостям експлуатації електромобілі відмінно задовольняють потребу в переміщенні у міських умовах, для яких характерний рух з невеликою швидкістю (за рахунок наявності значної кількості світлофорів, тягнучок і заторів) та на відносно невеликі відстані.

На шляху збільшення парку електромобілів залишається один економічний бар'єр – висока ціна електромобілів (в основному за рахунок вартості акумуляторної батареї) та два технологічні бар'єри – недостатній запас ходу та слабо розвинена зарядна інфраструктура для вказаних транспортних засобів [1]. Зрозуміло, що достатній запас ходу електромобілів може бути досягнутий наявністю акумуляторів великої ємності [2]. Також 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 виникає ряд проблем, що пов'язаний з установкою вказаних систем на реальному електромобілі. Відповідно, дослідження можливості використання вітрогенератора для додаткової підзарядки акумулятора електромобіля під час його руху є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Як у вітчизняній, так і в закордонній науково-технічній літературі існує ряд робіт, присвячених розгляду різних методів і засобів використання енергії повітряного потоку для додаткової зарядки акумулятора електромобіля. Зокрема, у роботі [3, с. 10] запропоновано використовувати конструкцію вітрогенераторної установки горизонтального типу. Розглянуто способи установки вітрогенератора всередині електромобіля. Відзначено, що вказана розробка є концептуальною конструктивною ідеєю, що вимагає подальшого теоретичного і експериментального дослідження. У роботі [4, с. 26] запропоновано використовувати вітрогенератор горизонтального типу, встановлений на даху кузова електромобіля. Теоретичні розрахунки авторів зазначеної роботи показали, що потужність вітрогенератора досягає 3.26 кВт під час руху електромобіля зі швидкістю 120 км/год. Авторами роботи [5, с. 3635] відзначено, що головна проблема під час проектування електромобіля з вітрогенератором полягає в оптимальному розміщенні вітродвигуна на кузові вказаного транспортного засобу. Тобто, щоб конструкційні зміни, викликані встановленням вітрогенератора, не призвели до збільшення сили опору повітря, що, в свою чергу, неминуче збільшить витрати потужності електродвигуна електромобіля під час руху. У роботі [6, с. 7, 8] зазначено, що на сьогодні активно розробляються електромобілі, що використовують вітрові турбіни для додаткової зарядки акумулятора. Зокрема, відомим німецьким концерном «Mercedes Benz Group» розроблено прототип електромобіля з вітрогенератором, який отримав назву «Formula Zero».

Таким чином, з огляду науково-технічної літератури можна зробити висновок про те, що питання використання енергії повітряного потоку для збільшення запасу ходу електромобіля вимагає подальшого теоретичного і експериментального дослідження.

Формування цілей статті.

Враховуючи вищезазначене, мета статті полягає в отриманні співвідношення для визначення коефіцієнту збільшення запасу ходу електромобіля за рахунок використання енергії повітряного потоку, який потрапляє до вітрогенератора горизонтального типу, а також встановлення залежності коефіцієнту збільшення запасу ходу від швидкості руху електромобіля.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Відомо, що енергія повітряного потоку може бути перетворена в механічну роботу або електричну енергію за допомогою спеціальних пристроїв і установок. Тому для збільшення запасу ходу електромобіля без підзарядки акумулятора на електрозаправці пропонується використовувати вітрогенератор горизонтального типу, так званий «пропелер». Встановлювати вітрогенератор пропонується всередині електромобіля в підкапотному просторі, змістивши радіатор охолодження двигуна [3, с. 9].

Перш ніж безпосередньо перейти до розрахунку потужності вітрогенератора, розглянемо принцип дії зазначеного пристрою. Повітряний потік, що виникає під час руху електромобіля, обертає вітроколесо і призводить до руху головного валу, який, в свою чергу, обертає редуктор, що з'єднаний з електричним генератором. У результаті обертання електричного генератора наводиться змінний електричний струм, який через випрямляч надходить до акумулятора електромобіля.

Отже, енергія повітряного потоку (E_k) може бути визначена як кінетична енергія тіла масою (m), що рухається зі швидкістю (v):

$$E_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (1)$$

Тоді маса повітря, що надходить до вітрогенератора за деякий проміжок часу визначається співвідношенням:

$$\frac{m}{t} = \rho A v, \quad (2)$$

де ρ – густина повітря;

A – площа поперечного перерізу потоку повітря, що надходить до вітрогенератора;

v – швидкість потоку повітря.

Потужність повітряного потоку визначається співвідношенням:

$$P = \frac{E_k}{t}. \quad (3)$$

З врахуванням формул (1) і (2) потужність повітряного потоку матиме вигляд:

$$P = \frac{\rho A v^3}{2}. \quad (4)$$

Під час розрахунку потужності вітрогенератора необхідно враховувати коефіцієнт використання енергії повітряного потоку, механічні й електричні втрати, пов'язані з трансмісією установки [7, с. 67; 8, с. 192]. Таким чином, із врахуванням вищезазначеного потужність вітрогенератора (P_e) визначається співвідношенням:

$$P_e = \frac{C_e \eta_m \eta_e \rho A v^3}{2}, \quad (5)$$

де C_e – коефіцієнт використання енергії повітряного потоку;

η_m – механічний коефіцієнт корисної дії (ККД) вітрогенератора, тобто ККД редуктора (мультиметра) вітрогенератора;

η_e – ККД електричного генератора.

Для випадку, коли вітроколесо встановлене перпендикулярно до повітряного потоку, значення C_e коливається в межах від 0.4 до 0.5. Значення η_m знаходиться в межах від 0.70 до 0.85, а значення η_e – в межах від 0.90 до 0.98 [7, с. 66, 67]. У даній роботі під час розрахунків використовувалися середні значення вище вказаних величин (див. таблицю 1).

Площа поперечного перерізу потоку повітря, що надходить до вітрогенератора може бути обчислена за формулою:

$$A = \pi R^2, \quad (6)$$

де R – радіус вітроколеса.

Тоді з врахуванням формули (6) потужність вітрогенератора P_e буде дорівнювати:

$$P_e = \frac{\pi \rho C_e \eta_m \eta_e R^2 v^3}{2}. \quad (7)$$

Як видно зі співвідношення (7), під час розрахунку потужності вітрогенератора ключовою змінною величиною є швидкість потоку повітря (v). Оскільки вітрогенератор встановлений у підкапотному просторі електромобіля, то вважалось, що швидкість потоку повітря, яке надходить до вітрогенератора, дорівнює швидкості руху електромобіля. Інші величини, що входять до співвідношення (7), не змінюються з часом.

У нашій недавній роботі [9, с. 5] було отримано співвідношення для розрахунку потужності електродвигуна електромобіля (P_v), що необхідна для його рівномірного руху з заданою швидкістю:

$$P_v = \frac{1}{\eta_{mp}} \left(mgf_k v + \frac{\rho C_x S v^3}{2} \right), \quad (8)$$

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 проекції електромобіля на площину, перпендикулярну до його повздовжньої осі.

Як видно зі співвідношення (8), під час розрахунку потужності електродвигуна електромобіля ключовою змінною величиною є швидкість руху (v) електромобіля. Інші величини, що входять до співвідношення (8), не змінюються з часом. Необхідно відзначити, що перший доданок у співвідношенні (8) 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 [10]. Технічні характеристики вказаного електромобіля та фізичні сталі, що використовувалися під час розрахунку потужності, наведено в табл. 1.

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

Тип кузова електромобіля Nissan Leaf	5-дв. хетчбек (5 місць)
Максимальна потужність електродвигуна	$P_{max} = 80$ кВт (109 к. с.)
Маса електромобіля	$m = 1800$ кг
ККД трансмісії електромобіля	$\eta_{mp} = 0.92$
Лобова площа електромобіля	$S = 1.62$ м ²
Коефіцієнт опору повітря	$C_x = 0.29$
Коефіцієнт використання енергії повітряного потоку	$C_e = 0.45$
Механічний ККД вітрогенератора	$\eta_m = 0.78$
ККД електричного генератора	$\eta_e = 0.94$
Радіус вітроколеса	$R = 0.2$ м
Прискорення вільного падіння	$g = 9.81$ м/с ²
Густина повітря	$\rho = 1.23$ кг/м ³

Коефіцієнт збільшення запасу ходу електромобіля $K(v)$ можна знайти як відношення потужності вітрогенератора (P_e), що встановлений у підкапотному просторі, до витрат потужності на переміщення електромобіля з заданою швидкістю (P_v):

$$K(v) = \frac{P_e}{P_v}. \quad (9)$$

З врахуванням формул (7) і (8), коефіцієнт збільшення запасу ходу електромобіля буде дорівнювати:

$$K(v) = \frac{\pi \rho C_e \eta_m \eta_e \eta_{mp} R^2 v^2}{2 m g f_k + \rho C_x S v^2}. \quad (10)$$

Як видно зі співвідношення (10), під час розрахунку коефіцієнта збільшення запасу ходу електромобіля ключовою змінною величиною є швидкість руху (v) вказаного транспортного засобу.

Розраховані значення потужності вітрогенератора P_e в залежності від швидкості руху електромобіля, а також значення потужності електродвигуна електромобіля Nissan Leaf P_v , необхідні для рівномірного руху електромобіля з заданою швидкістю, наведено у таблиці 2. Вказані потужності розраховані за формулами (7) і (8) відповідно. Крім того, в таблиці 2 наведено значення коефіцієнта збільшення запасу ходу електромобіля $K(v)$ у відсотках для широкого діапазону швидкостей руху, розраховані за формулою (10). Усі розрахунки виконано з використанням одиниць вимірювання SI (System International).

Таблиця 2 – Значення потужностей і коефіцієнта збільшення запасу ходу електромобіля
Table 2 – Values of the powers and coefficient of increase of power reserve of electric car

Швидкість		P_e , Вт	P_v , Вт	$K(v)$, %
км/год	м/с			
10	2.8	0.55	810	0.07
20	5.6	4.4	1660	0.27
30	8.3	14.3	2730	0.52
40	11.1	34.2	3850	0.89
50	13.9	67.1	5380	1.25
60	16.7	116.4	7240	1.61
70	19.4	182.5	9380	1.95
80	22.2	273.5	11970	2.28
90	25.0	390.6	15000	2.60
100	27.8	537.1	19040	2.82
110	30.6	716.3	23130	3.10
120	33.3	923.2	28260	3.27

На рис. 1 у вигляді діаграми представлено залежність значень коефіцієнта збільшення запасу ходу електромобіля (у відсотках) від швидкості руху електромобіля. Як видно з рис. 1, коефіцієнт збільшення запасу ходу електромобіля суттєво збільшується зі зростанням швидкості вказаного транспортного засобу. Відповідно, використання вітрогенератора для перетворення енергії повітряного потоку в енергію електричного струму виявляється найбільш ефективним під час руху електромобіля зі швидкістю більшою 50 км/год. Такий діапазон швидкостей руху електромобіля задовольняє потребу в переміщенні поза неселеними пунктами. Під час руху електромобіля зі швидкістю меншою 50 км/год, значення коефіцієнта збільшення запасу ходу не перевищують 1 %.

Необхідно відзначити, що запропонований метод отримання додаткової електричної енергії для акумулятора електромобіля за рахунок використання енергії повітряного потоку потребує подальшого теоретичного та експериментального дослідження з метою уточнення технічних параметрів вітрогенератора, а також практичної можливості його розташування в підкапотному просторі електромобіля.

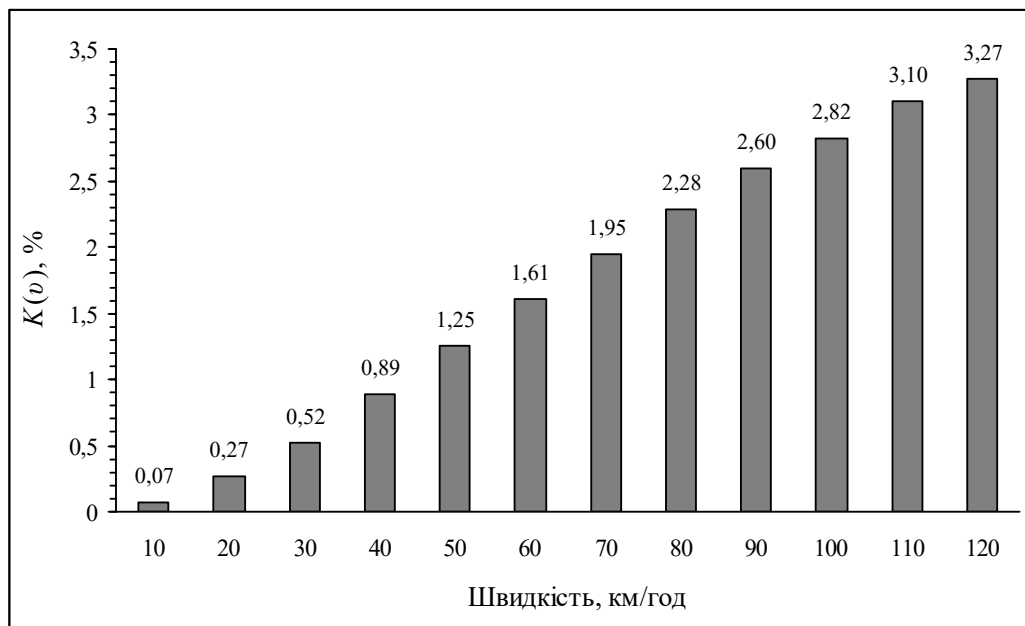


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта збільшення запасу ходу від швидкості електромобіля
Figure 1 – Dependence of the coefficient of increase in power reserve on the speed of the electric car

Висновки і перспективи подальших досліджень.

Таким чином, у представленій роботі отримано співвідношення для визначення коефіцієнту збільшення запасу ходу електромобіля за рахунок використання енергії повітряного потоку, який потрапляє до вітрогенератора горизонтального типу, встановленого в підкапотному просторі вказаного транспортного засобу. Ключовою змінною величиною в зазначеному співвідношенні є швидкість руху електромобіля.

Виконано розрахунок коефіцієнту збільшення запасу ходу для електромобіля Nissan Leaf у діапазоні швидкостей від 10 до 120 км/год. Встановлено, що коефіцієнт збільшення запасу ходу електромобіля суттєво збільшується зі зростанням швидкості вказаного транспортного засобу. Тому найбільш ефективне використання запропонованого методу отримання додаткової електричної енергії для акумулятора електромобіля виявляється в діапазоні швидкостей руху, що перевищують 50 км/год. Такий діапазон швидкостей руху електромобіля задовольняє потребу в переміщенні поза населеними пунктами.

В подальшому планується додаткове теоретичне і експериментальне дослідження вказаного методу збільшення запасу ходу електромобіля за рахунок використання енергії повітряного потоку з метою уточнення технічних параметрів вітрогенератора, а також практичної можливості його встановлення на реальному електромобілі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. A review on electric vehicles: technologies and challenges / A. Sanguesa, V. Torres-Sanz, P. Garrido, F. Martinez, J. Marquez-Barja // Smart Cities. – 2021. – № 4. – P. 372-404.
2. 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.
3. Аргун Щ.В. Вітрогенераторна установка як додаткове джерело електричної енергії для електромобіля / Щ.В. Аргун, О.Д. Голіков // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. – 2017. – № 12. – С. 6-11.

4. Quartey G. Generation of electrical power by a wind turbine for charging moving electric cars / G. Quartey, S.K. Adzimah // *Journal of Energy Technologies and Policy*. – 2014. – Vol. 4, № 3. – P. 19-29.
5. Electric vehicle with charging facility in motion using wind energy / S.M. Ferdous, W.B. Khaled, B. Ahmed, S. Salehin, O.E. Ghani // *World Renewable Energy Congress 2011: collection of scientific papers*. – Sweden, Linköping, 8-13 May 2011. – P. 3629-3636.
6. Steffen A.D. These wind-powered cars defy physics! [Electronic resource] / A.D. Steffen // *Intelligent Living Media Ltd*. – 2021. – Access mode: <https://www.intelligentliving.co/wind-powered-cars-defy-physics/>.
7. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Ципленков. – Дніпро: НГУ, 2015. – 335 с.
8. Аль-Амморі А.Н. Підвищення ефективності використання відновлюваних джерел енергії та інформаційна безпека на транспорті: монографія. [Електронний ресурс] / А.Н. Аль-Амморі, Р.М. Іщенко, М.М. Дехтяр. – Київ: НТУ, 2023. – 250 с.
9. 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.
10. Технічні характеристики електромобіля Nissan Leaf [Електронний ресурс] // *Info Car*. – 2023. – Режим доступу: https://nissan-leaf.infocar.ua/mod_3691_leaf_id2776.html.

REFERENCES

1. Sanguesa, A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F., Marquez-Barja, J. (2021). A review on electric vehicles: technologies and challenges. *Smart Cities*, 4, 372-404 [in English].
2. 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].
3. Argun, Sh.V., Holikov, O.D. (2017). Vitroeneratorna ustanovka yak dodatkove dzherelo elektrychnoyi enerhiyi dlya elektromobilya [Wind generator installation as an additional source of electrical energy for an electric car]. *Avtomobili i elektronika. Suchasni tekhnolohiyi – Automobile and Electronics. Modern Technology*, 12, 6-11 [in Ukrainian].
4. Quartey, G., Adzimah, S.K. (2014). Generation of electrical power by a wind turbine for charging moving electric cars. *Journal of Energy Technologies and Policy*, 4 (3), 19-29 [in English].
5. Ferdous, S.M., Khaled, W.B., Ahmed, B., Salehin, S., Ghani, O.E. (2011). Electric vehicle with charging facility in motion using wind energy. *World Renewable Energy Congress 2011: collection of scientific papers*. Sweden, Linköping, 8-13 May 2011, 3629-3636 [in English].
6. Steffen, A.D. (2021). These wind-powered cars defy physics! [Electronic resource]. *Intelligent Living Media Ltd*. Access mode: <https://www.intelligentliving.co/wind-powered-cars-defy-physics/> [in English].
7. Pivniak, H., Shkrabets, F., Neuberger, N., Tsyplenkov, D. (2015). *Osnovy vitroenerhetyky. Pidruchnyk*. [Basics of wind energy. Textbook]. Dnipro: NGU. 335 p. [in Ukrainian].
8. Al-Ammouri, A.N., Ishchenko, R.M., Dekhtyar, M.M. (2023). *Pidvyshchennya efektyvnosti vykorystannya vidnovlyuvanykh dzherel enerhiyi ta informatsiyina bezpeka na transporti. Monohrafiya*. [Increasing the efficiency of the use of renewable energy sources and information security in transport. Monograph]. [Electronic resource]. Kyiv: NTU. 250 p. [in Ukrainian].
9. 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].
10. *Tekhnichni kharakterystyky elektromobilya Nissan Leaf* [Technical characteristics of electric car Nissan Leaf]. (2023). *Info Car*. [Elektronnyy resurs]. *Rezhym dostupa*: https://nissan-leaf.infocar.ua/mod_3691_leaf_id2776.html [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Аль-Амморі А.Н. Використання вітрогенератора для збільшення запасу ходу електромобіля / А.Н. Аль-Амморі, Р.М. Іщенко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

У статті запропоновано метод збільшення запасу ходу електромобіля за рахунок використання енергії повітряного потоку.

Об'єкт дослідження – процес перетворення енергії повітряного потоку в електричний струм.

Мета роботи – отримання співвідношення для визначення коефіцієнту збільшення запасу ходу електромобіля за рахунок використання енергії повітряного потоку, який потрапляє до вітрогенератора горизонтального типу, а також встановлення залежності коефіцієнту збільшення запасу ходу від швидкості руху електромобіля.

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 повітряного потоку, який потрапляє до вітрогенератора горизонтального типу, встановленого в підкапотному просторі вказаного транспортного засобу. Ключовою змінною величиною в зазначеному співвідношенні є швидкість руху електромобіля. Встановлено, що коефіцієнт збільшення запасу ходу електромобіля суттєво збільшується 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 – планується додаткове теоретичне та експериментальне дослідження вказаного методу збільшення запасу ходу електромобіля за рахунок використання енергії повітряного потоку з метою уточнення технічних параметрів вітрогенератора, а також практичної можливості його встановлення на реальному електромобілі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВІТРОГЕНЕРАТОР, ЕНЕРГІЯ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ, ШВИДКІСТЬ РУХУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ, ПОТУЖНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ, ЗАПАС ХОДУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ.

ABSTRACT

Al-Ammouri A.N., Ishchenko R.M. Using a wind generator for increasing of power reserve of electric car. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

In this paper a method of increasing the power reserve of electric car by using air flow energy is proposed.

The object of the study – process of converting air flow energy into electric current.

Purpose of the study – obtaining a formula for determining the coefficient of increasing the power reserve of electric car due to the use of the energy of the air flow entering a horizontal type wind generator, as well as establishing the dependence of the coefficient of increasing the power reserve of electric car on the speed of the specified vehicle.

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 formula was obtained for determining the coefficient of increasing the power reserve of electric car due to the use of the energy of the air flow, which enters the wind generator of the horizontal type, installed in the underhood space of the specified vehicle. The key variable in this formula is the speed of the electric car. It was established that the coefficient of increasing the power reserve of electric car significantly increases with the increasing in the speed of the specified 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 – an additional theoretical and experimental study of the specified method of increasing the power reserve of electric car by using the energy of the air flow is

planned in order to clarify the technical parameters of the wind generator, as well as the practical possibility of its installation on a real electric car.

KEY WORDS: WIND GENERATOR, AIR FLOW ENERGY, ELECTRIC CAR MOVEMENT SPEED, 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.

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.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Данчук В.Д., доктор фізико-математичних наук, професор, Національний транспортний університет, декан факультету транспортних та інформаційних технологій, Київ, Україна.

Ісаєнко Г.Л., кандидат фізико-математичних наук, доцент, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, доцент кафедри математики та фізики, Київ, Україна.

REVIEWER:

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

Isaienko G.L., candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, Kruty Heroes Military Institute of Telecommunications and Information Technology, associate professor of the Department of Mathematics and Physics, Kyiv, Ukraine.

МІСЬКА МОБІЛЬНІСТЬ В УКРАЇНІ: АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ВИКЛИКІВ

Білоног О.Є., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, bilonog.oksana@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2471-5388

Янішевський С.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, s.yanishevskiy@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0113-5463

Климчук Ю.О., Національний транспортний університет, Київ, Україна, yur.klymchuk@gmail.com, orcid.org/0009-0006-7104-5275

Черненко І.О., Національний транспортний університет, Київ, Україна, ig.chernenko7@gmail.com, orcid.org/0009-0000-4393-221X

URBAN MOBILITY IN UKRAINE: ANALYSIS OF THE MAIN CHALLENGES

Bilonoh O.Y., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, bilonog.oksana@gmail.com, orcid.org/0000-0003-2471-5388

Yanishevskiy S.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, s.yanishevskiy@gmail.com, orcid.org/0000-0002-0113-5463

Klymchuk Y.O., National Transport University, Kyiv, Ukraine, yur.klymchuk@gmail.com, orcid.org/0009-0006-7104-5275

Chernenko I.O., National Transport University, Kyiv, Ukraine, ig.chernenko7@gmail.com, orcid.org/0009-0000-4393-221X

Постановка проблеми. Необхідність організації ефективного логістичного обслуговування торговельних та виробничих підприємств, комунальних та інших об'єктів, які знаходяться в містах, створює додаткове навантаження на всі системи їх життєзабезпечення, а найбільше – на транспортну. При цьому стає все більш очевидним, що очікуване подальше зростання чисельності міського транспорту призведе до перевантаження транспортних комунікацій, які, в свою чергу, мають обмежені можливості до розвитку.

В якості ефективного підходу для вирішення вказаної проблеми науковці вбачають впровадження сітілогістики – науково-практичного напрямку, предметом якого є удосконалення транспортно-логістичних схем та маршрутів перевезень вантажів і пасажирів в умовах великих міст [1]. Загалом концепція сітілогістики передбачає підвищення якості життя населення міста, що обумовлюється певним (необхідним) рівнем комфортності міського середовища для проживання в ньому. В свою чергу, комфортність (зручність) життя соціуму в міському середовищі залежить від трьох основних чинників: безпечності, екологічності і, особливо, мобільності даного середовища. При цьому варто відзначити, що такі виклики як пандемія COVID-19 та воєнні дії в Україні спричинили величезний збій у існуючих системах мобільності, довгострокові наслідки якого значною мірою залежатимуть від темпів економічного відновлення, безпекового стану, а також від того, як довго вищезазначені виклики будуть частиною нової реальності.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням планування та забезпечення міської мобільності були присвячені роботи багатьох закордонних та українських науковців і практиків. Серед останніх ініціаторами відповідних досліджень виступали представники державних та міжнародних інституцій, а також громадських організацій.

Залежність між розвитком систем міської мобільності та ефективністю сітілогістичної діяльності знайшла висвітлення в роботі [1]. При цьому автори даної роботи розмежовують поняття транспортної мобільності як здатності до швидкого пересування та дій в умовах міського середовища, та інформаційної мобільності – як здатності до швидкого та точного отримання оперативної інформації щодо стану транспортних магістралей міста. Загалом мобільність в цій роботі розглядається в якості індикатора комфортності проживання в місті.

В умовах впровадження підходів концепції сталого розвитку актуальності набули питання формування систем сталої мобільності. Висвітлення цієї проблематики останнім часом активно проводиться вітчизняними науковцями. Серед актуальних досліджень варто вказати на роботи [2, 3, 4]. В свою чергу, аналіз закордонних розробок за цим напрямком показав, що в якості практичного посібника для визначення доцільних та важливих з точки зору реалізації планів сталої міської

мобільності кроків (заходів) можуть розглядатися Настанови [5], що розроблені Генеральним директором з мобільності та транспорту Європейської комісії. Також важливо, що ці Настанови доповнюються Планом дій [6, 7], в якому пропонуються конкретні заходи як на короткострокову, так і на середньострокову перспективу щодо питань міської мобільності на основі комплексного підходу, а також тематичними оглядами різноманітних аспектів планування міської мобільності [8] та рекомендаціями щодо моніторингу стану виконання плану сталої мобільності [9].

Структурування досліджень за проблематикою міської мобільності найчастіше відбувається за такими напрямками як розвиток та організація роботи громадського транспорту, організація пішохідних та велосипедних переміщень, а також реорганізація міського простору. В роботі [10] розглянуті практичні аспекти та конкретні приклади вдалої реалізації проєктів розвитку міської мобільності в Україні за вказаними напрямками. Зокрема, серед проєктів, які були впроваджені з метою покращення сфери громадського транспорту, на особливу увагу заслуговує автоматизована система оплати проїзду в громадському транспорті м. Вінниці, проєкт розвитку міської мобільності м. Києва з акцентом на розвиток екологічного транспорту та покращення дорожньої інфраструктури, а також виділення смуг для громадського транспорту. Серед вдалих проєктних рішень, покликаних перетворити вулиці на комфортні пішохідні простори – проєкти капітального ремонту вулиці Руданської у м. Львові, розробки безпечних шкільних маршрутів в м. Житомирі та реконструкції вулиці Короленка в м. Дніпрі. В свою чергу, серед проєктів розвитку велосипедної інфраструктури в Україні на особливу увагу заслуговує досвід м. Миргорода. Напрямок розвитку міської мобільності через реорганізацію міського простору передбачає заходи, реалізація яких спрямована на поліпшення умов руху відразу для трьох категорій його учасників – пішоходів (забезпечення їх пріоритету), велосипедистів (формування інфраструктури) та громадського транспорту. Серед таких вдалих прикладів варто виділити проєкти реконструкції площі Двірцевої у м. Львові та вулиці Замостянської у м. Вінниці.

В контексті підвищення безпеки сталої міської мобільності (зокрема – щодо вразливих учасників дорожнього руху) заслуговують на увагу роботи [11, 12, 13].

З урахуванням постійного зростання вимог стейкхолдерів щодо рівня мобільності в сучасних містах, а також зважаючи на велику кількість стохастичних факторів, які впливають на її формування (зокрема, і український контекст безпекової ситуації), особливої актуальності на даний час набуває вивчення викликів, які здійснюють безпосередній вплив на її забезпечення.

Мета роботи полягає в дослідженні основних викликів, які обумовлюють сучасні тенденції забезпечення мобільності міського середовища в Україні.

Виклад основного матеріалу дослідження. Рухомість населення з різною метою пересування з урахуванням варіації логістичних ланцюгів за витратами часу на пересування визначає найважливішу складову ефективності сітілогістичної системи – мобільність. При цьому, транспортна мобільність полягає в наступному [1]:

- можливість використання особистого транспорту для швидкого та комфортного пересування до місця тяжіння;
- конкуренція в організації мобільних поїздок особистим автомобілем або громадським транспортом (автобусами, тролейбусами, трамваями, метро, електрифікованою залізницею тощо);
- мобільність пересування через муніципальні логістичні ланцюги (торговельні, будівельні, комунальні об'єкти тощо);
- мобільність доставки-відправлення ресурсів, напівфабрикатів, готової продукції промисловим та торговельним підприємствам, які розташовані в географічних межах міста та залежать від графіків постачань;
- мобільність транзиту матеріальних потоків, які проходять через міські транспортні комунікації;
- транспортна мобільність у непередбачуваних природних умовах.

Забезпечення належного рівня мобільності міського середовища є одним із найскладніших завдань і викликів для міст, їх функціонування і ефективного розвитку. Населення міст зростає швидкими темпами та, за прогнозами фахівців Організації Об'єднаних Націй, його частка досягне 70% у 2050 р. [14]. При цьому вже зараз 64% усіх поїздок здійснюється на території міських агломерацій і, як зазначають експерти, динаміка зміни даного показника характеризується різким зростанням [15].

Наразі проблеми, пов'язані з функціонуванням транспортних систем міських агломерацій, розглядаються як один із головних викликів для життєзабезпечення їх жителів, а тому для їх вирішення необхідні найбільші інвестиції (рисунок 1).

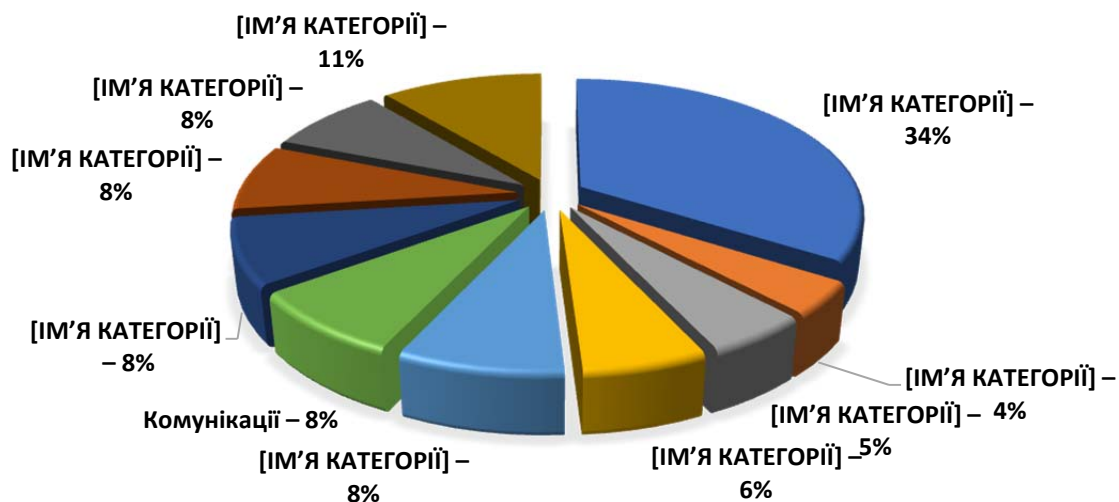


Рисунок 1 – Сфери, які потребують найбільших інвестицій в містах [14]
 Figure 1 – Areas that require the greatest investment in cities [14]

Проблеми мобільності міського середовища можуть бути досить специфічними у різних країнах, проте переважна більшість з них викликана обмеженими ресурсами, невдалим транспортним плануванням, недостатньо розвиненою інфраструктурою, недосконалою транспортною мережею та неефективним муніципальним управлінням.

Для оцінки рівня міської мобільності використовуються різні показники і індекси, які враховують фактори, пов'язані з дорожніми умовами (затори, тривалість поїздки, аварійні ситуації, дорожньо-транспортні пригоди), ефективністю перевезень, обсягами викидів в атмосферу відпрацьованих газів транспортними засобами, якістю різних режимів пересування і рівнем задоволення жителів міста та його гостей.

До прикладу, запропонований консалтинговою компанією Arthur D. Little індекс міської мобільності враховує 19 критеріїв щодо рівня розвитку транспортної інфраструктури, частки і привабливості громадського транспорту, велосипедів тощо, а також ефективності роботи транспорту (зокрема – викиди відпрацьованих газів, летальні випадки у дорожньо-транспортних пригодах, витрати часу на пересування) [15].

В контексті реалізації концепції сталого розвитку особливої уваги також заслуговує індекс сталої міської мобільності, запропонований Todd Litman [16], який є достатньо гнучким і може використовуватись для оцінки мобільності у містах із різними характеристиками. Цей індекс дозволяє оцінювати три виміри мобільності: соціальний, економічний і екологічний.

Така якісна оцінка дозволяє сформулювати інтегровану стратегію розвитку сталої міської мобільності. При цьому відмінність поняття мобільності від поняття сталої мобільності полягає в тому, що під останньою розуміють будь-який спосіб або організаційну форму пересування, що дозволяють знизити рівень впливу (навантаження) на довкілля. До такого роду видів сталої мобільності можна зарахувати пішохідний і велосипедний рух, пересування на екологічних автомобілях, транзитно-орієнтоване проектування, оренду транспортних засобів, а також системи міського транспорту, які є економічними, сприяють збереженню простору та пропаганді здорового способу життя [3].

Цілком очевидно, що екологічний аспект є домінуючим чинником при визначенні пріоритетів сталої мобільності, однак ця концепція – це передусім система інтегрованого довгострокового планування, що робить особливий акцент на залученні до його розроблення усіх стейкхолдерів, координації між різними сферами (транспорт, землекористування, екологія, економічний розвиток, соціальна політика, охорона здоров'я тощо), між органами влади різного рівня, дає змогу ефективно управляти транспортною системою міста, зменшуючи його негативний вплив на довкілля, моніторити заходи щодо покращення системи міської мобільності та створювати комфортні умови для життя та відпочинку мешканців міських агломерацій.

Під час розроблення довгострокових стратегій розвитку міст (зокрема, в контексті планів стійкої мобільності) важко передбачати такі обставини, як, до прикладу, світова пандемія COVID-19.

Протягом останніх років нідерландська аналітична компанія TomTom, яка є відомим у світі розробником технологій локації та відповідного програмного забезпечення, складає рейтинг міст світу за найбільшими заторами. Даний рейтинг будується на основі значення показника рівня завантаженості доріг міста, який, в свою чергу, визначається з залежності від того, наскільки більше часу у відсотковому вираженні витрачають водії на поїздку в реальних умовах у порівнянні з витратами часу за звичайних (без ускладнень) умов руху (тобто відсотковий показник усереднено показує кількість додаткового часу подорожі, який водії витрачають протягом певного проміжку часу). Обчислення проводилися за даними GPS-сервісів, які накопичувалися анонімно. Як свідчать оприлюднені результати, у 2020 р. фактичне завантаження вулично-дорожньої мережі м. Києва швидко досягло та вже у червні перевершило докартинний рівень (рисунок 2 [17, 18]). Це пояснюється, насамперед, тим, що на фоні загальних карантинних обмежень (зокрема, щодо роботи громадського транспорту) пересування на особистому (приватному) автомобілі залишилося чи не єдиним доступним видом мобільності, якому кияни надавали найбільшу перевагу.

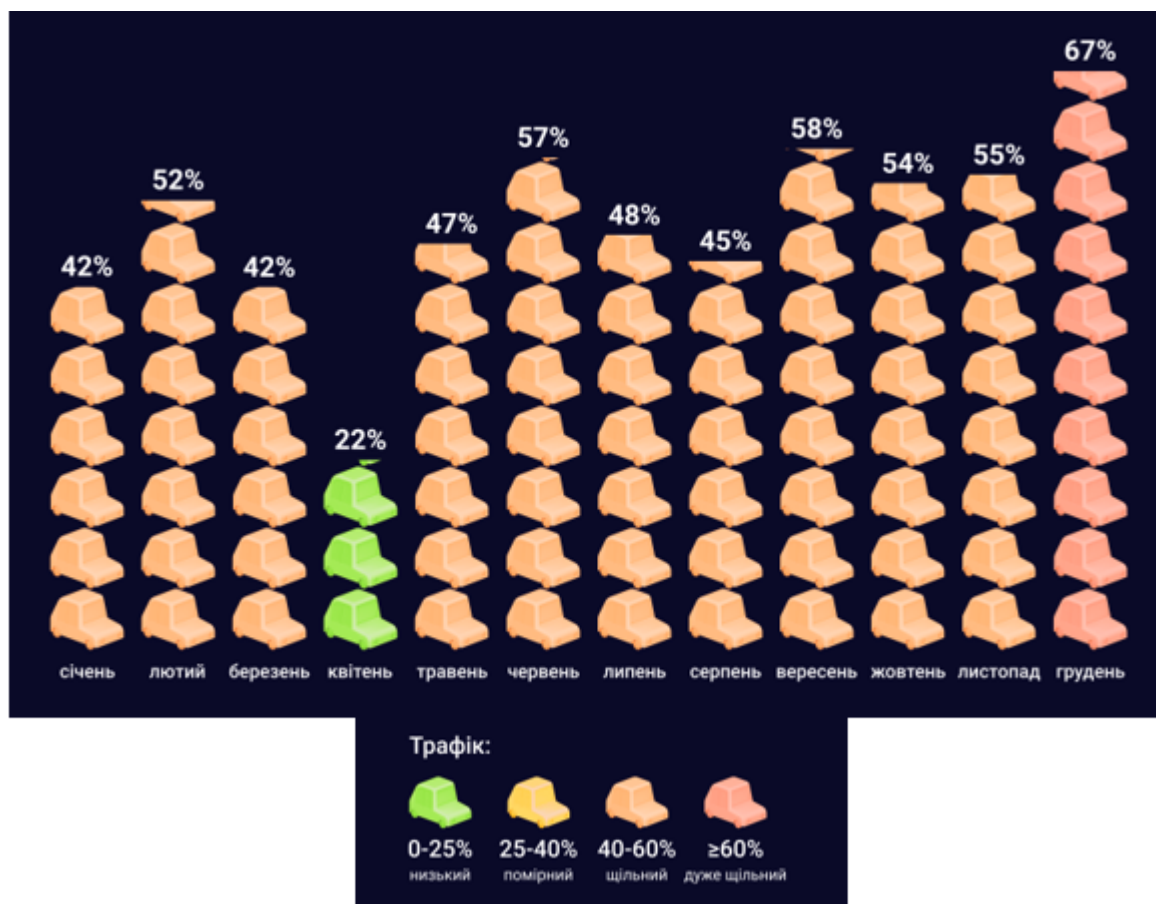


Рисунок 2 – Рівень завантаженості вулично-дорожньої мережі м. Києва у 2020 р. [17, 18]
Figure 2 – The level of congestion of the street and road network of the city of Kyiv in 2020 [17, 18]

Незважаючи на те, що криза була болючою для багатьох, вона також відкрила значні нові можливості. Індустрія мобільності повинна намагатись максимально використати кризу для подолання бар'єрів, використання можливостей і переосмислення систем мобільності.

В умовах карантинних обмежень частка індивідуальних переміщень (велосипедний та пішохідний рух, а також застосування приватних автомобілів) у структурі транспортного балансу багатьох міст світу зросла у відповідь на вимоги урядів про соціальне дистанціювання. Пішохідні пересування та поїздки на велосипеді заохочувалося багатьма органами державної влади шляхом створення нових «зелених» та пішохідних зон, а також створення (удосконалення) велосипедних смуг та доріжок. Таким чином, пандемія посилила світові тенденції до розвитку велосипедної інфраструктури та актуалізації велосипедного руху [19]. До прикладу:

– в м. Мілані було переоблаштовано понад 30 км центральних вулиць, щоб зменшити навантаження на громадський транспорт і забезпечити велосипедистам і пішоходам більше безпечного простору;

– центр м. Брюсселя став зоною з пріоритетом велосипедного та пішохідного руху, в межах якої автомобілям дозволено рухатись зі швидкістю не більше 20 км/год;

– в м. Берліні рекордно швидко (лише за три дні) на автомобільних смугах облаштували додаткову велосипедну інфраструктуру.

На жаль, в м. Києві, попри майже повну заборону громадського транспорту, подібні заходи не впроваджувалися. За час карантину у місті облаштували лише дві нові велосипедні доріжки (на вулицях Ярославів Вал та Рейтарській), проте заборонили користуватися велосипедним маршрутом через Труханів острів, який був чи не єдиним відокремленим велосипедним маршрутом, що забезпечував можливість зручного переміщення з житлового масиву Троєщина до центру міста (проїзд за цим маршрутом прирівняли до відвідування парків, яке на той час знаходилося під заборонаю). Попри це, за підрахунками організації U-Cycle (ГО «Асоціація велосипедистів Києва»), у квітні 2020 р. на вулицях м. Києва було в 2,5 рази більше велосипедистів, ніж навесні 2019 р. [20].

На рисунку 3 наведені відомості щодо відносних змін пішохідних та автомобільних переміщень в Україні за період з січня 2020 р. по березень 2021 р. (базою для подальшого порівняння стали дані за 13 січня 2020 р.). Як видно з цієї діаграми, максимальна мобільність спостерігалася в теплу пору року. Зауважимо, що отримати наведені показники мобільності в цілому по Україні допомогли дані компанії Apple (мобільного застосунку Apple Maps, тобто карт, що встановлено на iOS за замовчуванням), а тому вони відображають лише пересування власників iPhone. Також в Apple запевняють, що ці відомості ніяк не прив'язані до конкретних Apple ID і компанія не зберігає історію пересувань користувачів.



Рисунок 3 – Динаміка кількості пішохідних та автомобільних переміщень в Україні (січень 2020 р. – березень 2021 р.), % [18]

Figure 3 – Dynamics of the number of pedestrian and car movements in Ukraine (January 2020 – March 2021), %, [18]

Внаслідок запровадження владою карантинних вимог щодо соціального дистанціювання, частка громадського транспорту в структурі видів транспорту в короткостроковій перспективі зменшилась. До прикладу, за рік наявних карантинних обмежень кількість пасажирів метрополітену м. Києва, який з 17 березня майже на два місяці повністю припиняв свою роботу, так і не повернулася до докарантинного рівня, який у лютому 2020 р. складав понад 38 мільйонів осіб (поїздок) – рисунок 4 [18].

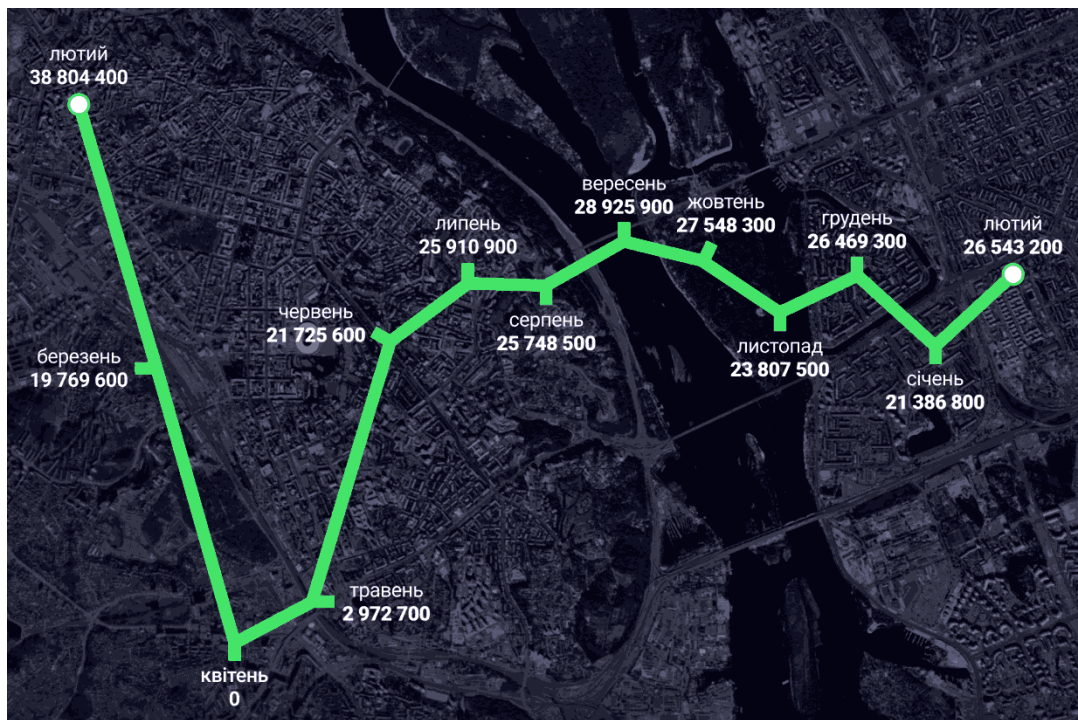


Рисунок 4 – Динаміка кількості пасажирів метрополітену м. Києва (лютий 2020 р. – лютий 2021 р.) [18]

Figure 4 – Dynamics of the number of passengers of the Kyiv metro (February 2020 – February 2021) [18]

Фахівці компанії Artur de Little оцінили вплив COVID-19 на довгострокові моделі мобільності за допомогою виокремлення основних наслідків кризи, що охоплюють тенденції в трьох вимірах: глобальному, поведінковому та технологічному/ринковому [21].

Глобальними наслідками кризи є: посилення соціально-економічної нерівності, що впливає на попит на мобільність та використання видів транспорту; зниження темпів зростання попиту на пасажирську мобільність; прискорення розвитку електронної комерції та попиту на товари; прискорення трансформації топології міст.

В свою чергу, поведінкові наслідки кризи зводяться до наступного: прискорення темпів поширення роботи з дому та гнучкого робочого часу; прискорення усвідомлення безпеки подорожей (страх перед загрозою інфікування); прискорення впровадження більш здорових способів пересування.

Щодо впливу технологій та ринкових тенденцій на довгострокові моделі мобільності, то вони полягають у наступному: прискорення цифровізації; прийняття нових форм мобільності як частини системи; прискорення консолідації ринку приватних гравців мобільності; прискорення впровадження засобів для інтелектуальних транспортних систем.

Варто зазначити, що дуже часто формування одних тенденцій призводило до появи та посилення інших. Так, до прикладу, робота з дому і усвідомлення ризиків для здоров'я через контактування з іншими людьми призвело до різкого зростання частки сегменту електронної комерції та актуалізувало потребу у «логістиці останньої милі». На рисунку 5 представлені дані компанії Glovo щодо фактичного зростання попиту на доставку готових страв за період з березня 2020 р. по лютий 2021 р. в м. Києві (у порівнянні з лютим 2020 р.) [18].

Отже, у середньо- та довгостроковій перспективі пандемія прискорила низку вже існуючих тенденцій, що впливають на попит, пропозицію та структурні зміни в системах міської мобільності. Окрім масштабів самої кризи, ключовим фактором, який матиме значний вплив на те, чи відбудуться тривалі зміни в системах мобільності, є здатність органів влади скористатися цією можливістю, щоб прискорити зміну транспортної психології щодо мобільності та впровадити структурні зміни в способах організації систем мобільності в містах і навколо них [21].

На відміну від зміни мобільності внаслідок впливу світової пандемії COVID-19, яка носила майже однаковий характер по всій території України, вплив воєнних дій призвів до абсолютно різних тенденцій зміни мобільності в окремих містах (місцевостях, областях та регіонах загалом), які

обумовлюються дією сукупності різних чинників, серед яких домінуючими є: відстань від лінії вогню, перебування в окупації, обмеження руху громадського транспорту внаслідок загроз повітряних тривог, затримки руху через необхідність перетину контрольно-пропускних пунктів на під'їздах до міст, наплив внутрішньо-переміщених осіб, криза паливних матеріалів, зростання частки маломобільних учасників дорожнього руху тощо.

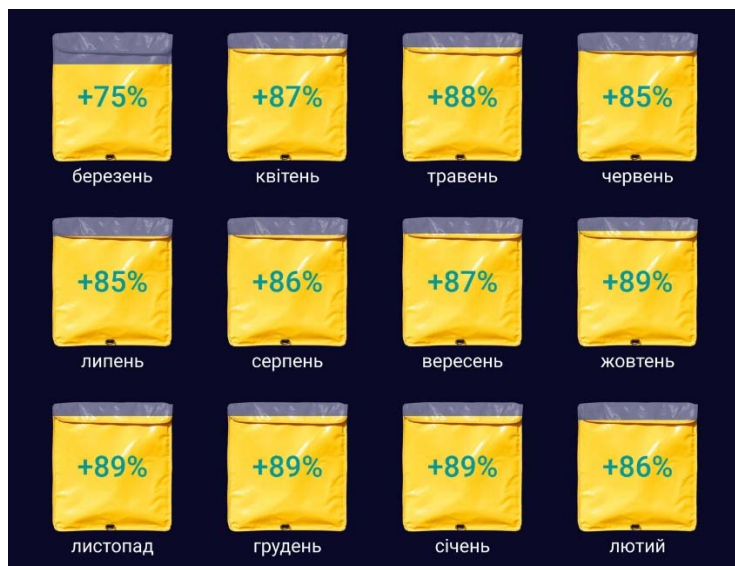


Рисунок 5 – Попит на доставку готових страв у Києві (березень 2020 р. – лютий 2021 р.) [18]

Figure 5 – Demand request of ready meals in Kyiv (March 2020 – February 2021) [18]

Серед основних викликів, які призвели до змін у системах мобільності тих міст та населених пунктів, які відновлюються після бойових дій та окупації, варто вказати на наступні [22]:

- зруйнована транспортна інфраструктура (вулиці, дороги, мости);
- викрадений/знищений рухомий склад громадського транспорту;
- зруйноване житло, заклади освіти, охорони здоров'я, адмінбудівлі;
- зруйновані підприємства-роботодавці (із можливістю/без можливості релокації);
- відтік населення;
- зміна транспортної поведінки населення: збільшення велосипедних і пішохідних переміщень через обмеження в роботі громадського транспорту й паливну кризу;
- ризик повторної збройної агресії.

З іншого боку, виклики в містах та населених пунктах, які знаходяться в тилу та прийняли велику кількість внутрішньо-переміщених осіб, характеризуються [22]:

- збільшенням чисельності населення (~10 % приросту);
- зростанням попиту на робочі місця;
- збільшенням навантаження на наявну транспортну систему (більше потенційних користувачів);
- змінами транспортної поведінки населення: збільшенням велосипедних і пішохідних переміщень через обмеження в роботі громадського транспорту та паливну кризу;
- змінами транспортних зв'язків (при розміщенні внутрішньо-переміщених осіб в гуртожитках і гуманітарних центрах);
- переїздом підприємств-роботодавців на територію громади;
- ризиком збройної агресії.

На сьогоднішній день вже чітко простежується проблема інклюзії при забезпеченні мобільності осіб, які зазнали травмування. Так, лише за період з 24 лютого до 10 вересня 2023 року ООН вже зафіксувала 17535 випадків поранення цивільного населення внаслідок бойових дій [23]. Що стосується військових, то хоча наразі відповідні дані не розголошуються, проте, на жаль, слід очікувати, що сумарна кількість травмованих серед них виявиться на порядок більшою.

Згідно з даними Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України, наразі близько 40 % енергетичної інфраструктури пошкоджено внаслідок ракетних обстрілів зі сторони російської федерації. Водночас можливі проблеми з автомобільним паливом не повинні спричинити колапс системи мобільності. Як показав досвід паливної кризи навесні 2022 року, єдиним ефективним способом пересування в містах та інших населених пунктах України виявився велосипед. Ті населені пункти, які розвивали велоінфраструктуру та стимулювали використання велосипедів, виявились більш підготовленими до цього виклику, ніж ті, хто покладався лише на автомобільний транспорт. Тому можна стверджувати, що розвиток способів пересування, які приводяться в рух мускульною силою та електричними двигунами, створює більшу стійкість системи мобільності до можливої паливної нестабільності [22].

Таким чином, криза мобільності, спричинена війною, враховуючи її масштаб та тривалість, на жаль, буде лише посилюватись. Тому ключовим пріоритетом транспортної політики в містах України має стати не лише пошук шляхів щодо відновлення їх інфраструктури та джерел фінансування відповідних проєктів відновлення мобільності, а й реалізація заходів щодо зміни поведінки самих користувачів систем мобільності.

Висновки. За результатами проведеного аналізу впливу на забезпечення мобільності міського середовища в Україні безпрецедентних викликів останніх років (криза внаслідок пандемії COVID-19 та активні воєнні дії на території України внаслідок повномасштабного вторгнення росії) можна стверджувати, що криза COVID-19 фактично призвела до потенційного прискорення тенденцій, які вже існували. Очікуваний вплив наслідків COVID-19 на майбутні моделі мобільності було визначено в глобальному, поведінковому та технологічному/ринковому аспектах.

В свою чергу, враховуючи масштаб та тривалість кризи мобільності, спричиненої активними воєнними діями в Україні, виклики щодо функціонування транспортних систем для міст, що відновлюються після бойових дій та окупації, відрізняються від тих, що виникають в містах, які прийняли значну кількість внутрішньо-переміщених осіб. Разом з тим, на жаль, вказані виклики будуть лише множитися та посилюватися. Тому ключовим пріоритетом транспортної політики в містах України має стати не лише пошук шляхів щодо відновлення їх інфраструктури та джерел фінансування відповідних проєктів відновлення мобільності, а й реалізація заходів щодо зміни поведінки самих користувачів систем мобільності з урахуванням підходів сталого розвитку.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Губенко В.К., Николаенко И.В. City Logistics: имплементация парадигмы креативных логистических цепей: монография. – Мариуполь, 2015. – 493 с.
2. Маргіта Н.О., Вороніна Р.М., Карий О.І. / Особливості планування сталої міської мобільності // Національний університет «Львівська політехніка». URL: <https://ena.lpnu.ua/>
3. Стала мобільність у Львові. URL: <https://mobility.lviv.ua/>
4. План сталої міської мобільності м. Житомирі. URL: <https://zt-rada.gov.ua/?pages=8685>
5. Wefering F., Rupprecht S., Bührmann S., Böhler-Baedeker S. Настанови. Розробка та виконання Плану сталої міської мобільності / Європейська Комісія. Генеральний Директорат з Мобільності та Транспорту. – 2014. – 152 с.
6. План дій з питань міської мобільності (2009). Комісія ЄС, Брюсель. URL: http://www.transport-ukraine.eu/sites/default/files/ec_action_plan_on_urban_mobility.pdf.
7. Action Plan on Urban Mobility – State of Play (2012) European commission directorate-general for mobility and transport. URL: http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/urban_mobility/doc/apum_state_of_play.pdf.
8. Леген Г. Планування сталої міської мобільності (2014): огляд та сфера застосування. URL: <http://www.slideshare.net/gladovsky/ss-41891271?related=1>.
9. Сімпсон Дж. Інтегровані підходи до планування міської мобільності (2013). Розумні міста та Мобільність// Секретаріат CIVITAS. URL: <http://www.slideshare.net/gladovsky/civitas-j-simpsonvinnytsiaukr>.
10. Прокопенко В. Розвиток сталої мобільності: кращі практики міст України. Представництво фонду ім. Гайнріха Бюлля. ГО «Центр екологічних ініціатив». 2020. – 69 с.

11. Янішевський С.В., Білоног О.Є. Підвищення безпеки сталої міської мобільності для людей літнього віку та осіб з обмеженими можливостями здоров'я // Третя Всеукраїнська науково-практична конференція «Транспортні технології та безпека дорожнього руху», 16–17 червня 2022 року, тези доповідей. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2022. С. 64-68.
12. Володимир Поліщук, Сергій Янішевський, Оксана Білоног. Управління швидкістю для підвищення безпеки вразливих учасників дорожнього руху // Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні Транспортні Системи: Екологія, Безпека, Якість, Комфорт». – К.: НТУ, 2022, Вип. 1 – С. 200 – 205.
13. Янішевський С.В., Білоног О.Є., Корчевська А.А. Обмеження швидкості транспортних засобів в містах для підвищення безпеки вразливих учасників дорожнього руху. Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий збірник. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (55). С. 335-347. <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/55/335.pdf>
14. Вороніна Р.М. Розвиток міської мобільності у світі / Молодий вчений, № 2 (17), лютий, 2015 р., с. 13-16.
15. Arthur D. Little future lab, UITP. The Future of Urban Mobility 2.0. / Arthur D. Little and UITP, 2014. 72 с.
16. Litman T. Sustainable Transportation Indicators – A Recommended Research Program for Developing Sustainable Transportation Indicators and Data. Presented at 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 2009.
17. TomTom Traffic Index. URL: <https://www.tomtom.com/traffic-index/>
18. Як карантин вплинув на мобільність та звички. URL: <https://misto.lun.ua/year-of-quarantine>.
19. Хмарочос – Київський міський журнал. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/>
20. U-Cycle (ГО «Асоціація велосипедистів Києва»). URL: <https://u-cycle.org.ua/about/>
21. Arthur D. Little future lab, UITP. Future of mobility post-COVID / Arthur D. Little and UITP, 2020, с. 11-14.
22. Посібник «СТАЛА МОБІЛЬНІСТЬ У ГРОМАДАХ: рекомендації щодо відновлення». URL: <https://u-lead.org.ua/media?tab=manuals>
23. Офіс вповноваженого з прав людини ООН. Дані про число жертв серед цивільного населення станом на 10 вересня 2023 року. URL: <https://www.ohchr.org/en/news/2022/10/ukraine-civilian-casualty-update-10-september-2023>

REFERENCES

1. Hubenko V.K., Nikolayenko I.V. Mis'ka lohistyka: realizatsiya paradyhmy kreatyvnykh lohistychnykh lantsyuhiv : monohr. – Mariupol', 2015. – 493 s.
2. Marhita N.O., Voronina R.M., Kariy O.I. / Osoblyvosti planuvannya staloyi mis'koyi mobil'nosti // NU «L'vivs'ka politehnika». URL: <https://ena.lpnu.ua/>
3. Stala mobil'nist' u L'vovi. URL: <https://mobility.lviv.ua/>
4. Plan staloyi mis'koyi mobil'nosti m. Zhytomyra. URL: <https://zt-rada.gov.ua/?pages=86851>.
5. Wefering F., Rupprecht S., Bührmann S., Böhler-Baedeker S. Nastavi. Rozrobka ta vykonannya Planu staloyi mis'koyi mobil'nosti / Yevropeys'ka Komisiya. Heneral'nyy dyrektorat z mobil'nosti ta transportu. – 2014. – 152 s.
6. Plan diy z pytan' mis'koyi mobil'nosti (2009). Komisiya YES, Bryusel'. URL: http://www.transport-ukraine.eu/sites/default/files/ec_action_plan_on_urban_mobility.pdf.
7. Plan diy shchodo mis'koyi mobil'nosti – potochnyy stan (2012) Heneral'nyy dyrektorat Yevropeys'koyi komisiyi z mobil'nosti ta transportu. URL: http://ec.europa.eu/transport/themes/urban/urban_mobility/doc/apum_state_of_play.pdf.
8. Lehen H . Planuvannya staloyi mis'koyi mobil'nosti (2014): ohlyad ta sfera zastosuvannya. URL: <http://www.slideshare.net/gladovsky/ss-41891271?related=1>.
9. Simpson Dzh. Intehrovani pidkhody do planuvannya mis'koyi mobil'nosti (2013). Rozumni mista ta Mobil'nist'// Sekretariat CIVITAS. URL: <http://www.slideshare.net/gladovsky/civitas-j-simpsonvinnytsiaukr>.
10. Prokopenko V . Rozvytok staloyi mobil'nosti: krashchi praktyky mist Ukrayiny. Predstavnytstvo fondu im. Haynrikha B'ollya. HO «Tsentr ekolohichnykh initsiatyv». 2020. – 69 s.

11. Yanishevs'kyy S.V., Bilonoh O.YE. Pidvyshchennya bezpeky staloyi mis'koyi mobil'nosti dlya lyudey litn'oho viku ta osib z obmezhenyimi mozhlyvostyamy zdorov'ya // Tretya Vseukrayins'ka naukovo-praktychna konferentsiya «Transportni tekhnolohiyi ta bezpeka dorozhn'oho rukhu», 16–17 chervnya 2022 roku, tezy dopovidey. – Zaporizhzhya: NU «Zaporiz'ka politekhnika», 2022. S. 64-68.
12. Volodymyr Polishchuk, Serhiy Yanishevs'kyy, Oksana Bilonoh. Upravlinnya pidvyshchennya shvydkosti dlya bezpeky vrazlyvykh uchasnykiv dorozhn'oho rukhu // Mizhnarodna naukova konferentsiya «Intelektual'ni Transportni Systemy: Ekolohiya, Bezpeka, Yakist', Komfort». – K.: NTU, 2022, Vyp. 1 – S. 200 – 205.
13. Yanishevs'kyy S.V., Bilonoh O.YE., Korchevs'ka A.A. Obmezhennya shvydkosti transportnykh zasobiv u mistakh dlya pidvyshchennya bezpeky vrazlyvykh uchasnykiv dorozhn'oho rukhu. Visnyk Natsional'noho transportnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky». Naukovyy zbirnyk. – K. : NTU, 2023. – Vyp. 1 (55). S. 335-347. <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/55/335.pdf>
14. Voronina R.M. Rozvytok mis'koyi mobil'nosti u sviti / Molodyy vchenyy, № 2 (17), lyuty, 2015 r., s. 13-16.
15. Artur D. Malen'ka laboratoriya maybutn'oho, UITP. Maybutnye mis'koyi mobil'nosti 2.0. / Artur D. Littl i UITP, 2014. 72 s.
16. Litman T. Indykatory staloho transportu – Rekomendovana doslidnyts'ka prohrama dlya rozrobky indyktoriv i danykh staloho transportu. Predstavleno na 88-mu shchorichnomu zasidanni Rady z doslidzhen' transportu, Vashynhton, okruh Kolumbiya, 2009 r.
17. TomTom Traffic Index. URL: <https://www.tomtom.com/traffic-index/>
18. Yak karantyn vplynuv na mobil'nist' ta zvychky. URL: <https://misto.lun.ua/year-of-quarantine>.
19. Khmarochos – Kyyivs'kyy mis'kyy zhurnal. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/>
20. U-Cycle (HO «Asotsiatsiya velosypedystiv Kyryeva»). URL: <https://u-cycle.org.ua/about/>
21. Artur D. Malen'ka laboratoriya maybutn'oho, UITP. Maybutnye mobil'nosti pislya COVID / Artur D. Littl i UITP, 2020, s. 11-14.
22. Posibnyk «STALA MOBIL'NIST' U HROMADAKH: rekomendatsiyi shchodo vidnovlennya». URL: <https://u-lead.org.ua/media?tab=manuals>
23. Ofis vprovnovazhenoho z prav lyudyny OON. Dani pro chyslo zhertv sered tsyvil'noho naselennya stanom na 10 veresnya 2023 roku. URL: <https://www.ohchr.org/en/news/2022/10/ukraine-civilian-casualty-update-10-september-2023>

РЕФЕРАТ

Білоног О.Є. Міська мобільність в Україні: аналіз основних викликів / О.Є. Білоног, С.В. Янішевський, Ю.О. Климчук, І.О. Черненко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

В якості ефективного підходу для вирішення проблеми перевантаження транспортних комунікацій сучасних міст фахівці визначають реалізацію концепції сітілогістики – науково-практичний напрям, предметом якого є удосконалення транспортно-логістичних схем та маршрутів перевезень вантажів і пасажирів. При цьому одним із основних чинників, який розглядається в якості індикатора комфортності проживання в міському середовищі та водночас характеризує ефективність сітілогістичної системи, є міська мобільність. Мобільність визначають різноманітні фактори (показники) транспортного обслуговування населення при реалізації різних видів пересування з урахуванням варіації логістичних ланцюгів.

З урахуванням постійного зростання вимог стейкхолдерів щодо рівня мобільності в сучасних містах, а також зважаючи на велику кількість стохастичних факторів, які впливають на її формування (зокрема, і український контекст безпекової ситуації), особливої актуальності на даний час набуває вивчення викликів, які здійснюють безпосередній вплив на забезпечення мобільності. В даній статті наведені результати аналізу основних викликів, які обумовлюють сучасні тенденції забезпечення мобільності міського середовища в Україні.

На основі аналізу наукових та інших інформаційних джерел можна стверджувати, що криза внаслідок пандемії COVID-19 фактично призвела до потенційного прискорення тенденцій, які вже

існували. Прогнозований вплив негативних наслідків COVID-19 та відповідного досвіду їх подолання на майбутні моделі мобільності було визначено в глобальному, поведінковому та технологічному/ринковому аспектах.

В свою чергу, враховуючи масштаб та тривалість кризи мобільності, спричиненої активними воєнними діями в Україні, виклики щодо функціонування транспортних систем для міст, що відновлюються після бойових дій та окупації, відрізняються від тих, що виникають в містах, які прийняли значну кількість внутрішньо-переміщених осіб. Разом з тим, на жаль, вказані виклики будуть лише множитися та посилюватися.

Тому ключовим пріоритетом сучасної (післявоєнної) транспортної політики в містах України має стати не лише пошук шляхів щодо відновлення їх інфраструктури та джерел фінансування відповідних проєктів відновлення мобільності, а й реалізація заходів щодо зміни поведінки самих користувачів систем мобільності з урахуванням підходів сталого розвитку.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СІТЛОГІСТИКА, МІСЬКЕ СЕРЕДОВИЩЕ, МІСЬКА МОБІЛЬНІСТЬ, СТАЛИЙ РОЗВИТОК, ВИКЛИКИ, COVID-19, ВОЄННІ ДІЇ

ABSTRACT

Bilonog O.E., Yanishevskyi S.V., Klymchuk Y.O., Chernenko I.O. Urban Mobility in Ukraine: Analysis of the Main Challenges. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

As an effective approach to solving the problem of overloading of transport communications in modern cities, experts identify the implementation of the concept of city logistics – a scientific and practical direction, the subject of which is the improvement of transport and logistics schemes and routes for the transportation of goods and passengers. At the same time, one of the main factors, which is considered as an indicator of the comfort of living in an urban environment and at the same time characterizes the efficiency of the city logistics system, is urban mobility. Mobility is determined by various factors (indicators) of transport services for the population during the implementation of various types of movement, taking into account the variation of logistics chains.

Taking into account the constant growth of stakeholder requirements regarding the level of mobility in modern cities, as well as taking into account the large number of stochastic factors that influence its formation (in particular, the Ukrainian context of the security situation), the study of challenges that directly influence to ensure mobility. This article presents the results of the analysis of the main challenges that determine modern trends in ensuring the mobility of the urban environment in Ukraine.

Based on the analysis of scientific and other information sources, it can be argued that the crisis caused by the COVID-19 pandemic actually led to a potential acceleration of trends that already existed. The projected impact of the adverse effects of COVID-19 and related coping experiences on future mobility patterns has been identified in global, behavioral and technological/market aspects.

In turn, given the scale and duration of the mobility crisis caused by the active hostilities in Ukraine, the challenges to the functioning of transport systems for cities recovering from hostilities and occupation are different from those that arise in cities that have received significant numbers of internally displaced persons. However, unfortunately, these challenges will only multiply and intensify.

Therefore, the key priority of the modern (post-war) transport policy in the cities of Ukraine should be not only the search for ways to restore their infrastructure and sources of funding for relevant mobility restoration projects, but also the implementation of measures to change the behavior of mobility system users themselves, taking into account sustainable development approaches.

KEY WORDS: CITY LOGISTICS, URBAN ENVIRONMENT, URBAN MOBILITY, SUSTAINABLE DEVELOPMENT, CHALLENGES, COVID-19, MILITARY ACTIONS

АВТОРИ:

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.

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.

Климчук Юрій Олександрович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, e-mail: yur.klymchuk@gmail.com, тел. +380979548062, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 435, orcid.org/0009-0006-7104-5275.

Черненко Ігор Олегович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, e-mail: ig.chernenko7@gmail.com, тел. +380504444958, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 435, orcid.org/0009-0000-4393-221X.

AUTHORS:

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.

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/00000002-0113-5463.

Klymchuk Yurii, National Transport University, PhD student of the department of transport systems and road safety, e-mail: yur.klymchuk@gmail.com, tel. +3809795480628, Ukraine, 01010, Kyiv, Mykhaila Omelianovich-Pavlenko str. 1, of. 435, orcid.org/0009-0006-7104-5275.

Chernenko Igor, National Transport University, PhD student of the department of transport systems and road safety, e-mail: ig.chernenko7@gmail.com, tel. +380504444958, Ukraine, 01010, Kyiv, Mykhaila Omelianovich-Pavlenko str. 1, of. 435, orcid.org/0009-0000-4393-221X

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Турпак Сергій Миколайович, доктор технічних наук, професор, Національний університет «Запорізька політехніка», завідувач кафедри транспортних технологій, Запоріжжя, Україна.

Бубела Андрій Володимирович, доктор технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Turpak Serhii M., Doctor of Technical Sciences, Professor, Zaporizhzhia Polytechnic National University, Head of the Department of Transportation Technologies, Zaporizhzhia, Ukraine.

Bubela Andrii V., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Professor of the Road Construction and Property Management Department, Kyiv, Ukraine.

МЕТОД ОБҐРУНТУВАННЯ РЕСУРСУ ТЯГОВОЇ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ

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

Харламов С.А., Національний транспортний університет, Київ, Україна, stanyslav.kharlamov@gmail.com, orcid.org/0009-0005-2358-850X

METHOD OF RESOURCE INVOLVEMENT TRACTION BATTERY

Budnychenko V.B., PhD in Engineering, National Transport University, Kyiv, Ukraine, budnjb@i.ua, orcid.org/0000-0002-1235-3781

Kharlamov S.A., National Transport University, Kyiv, Ukraine, stanyslav.kharlamov@gmail.com, orcid.org/0009-0005-2358-850X

Постановка проблеми.

Енергоефективність кожного окремого підприємства електротранспорту є рушієм розвитку інфраструктури транспортної галузі в цілому, що має на меті покращення матеріально-технічних умов для ефективного використання потенціалу електротранспорту. Між тим, електротранспорт є потужним споживачем електричної енергії. [1].

Звісно, для функціонування міського транспорту необхідні енергоресурси, середньорічний світовий попит на які щорічно зростає на 1,5 % і, за прогнозами, зростає на 40 % уже до 2030 року. Отже, одним із найважливіших напрямків розвитку рухомого складу міського транспорту, являється зменшення споживання електричної енергії [2].

Вирішення проблем енергозбереження, як однієї зі складових частин ресурсозбереження, являється надзвичайно актуальним напрямком для сфери комунального транспорту [2]. А у сфері експлуатації транспортних засобів з електричними тяговими силовими установками виникає потреба в особливому підході до збереження енергоресурсу.

Враховуючи особливості експлуатації транспортних засобів з електричними тяговими установками, що здійснюють пасажирські перевезення в містах України та обладнанні системами автономного ходу, що передбачає використання тягових акумуляторних батарей, постає проблема у ресурсо-заощадженні самих тягових акумуляторних батарей (далі ТАБ). А тому, проблема ефективного використання ТАБ є актуальною.

Аналіз публікацій

За останні час в Україні збільшилося кількість досліджень експлуатаційних характеристик транспортних засобів з електричною тяговою установкою. Так в роботі [3] була запропонована математична модель енергетичної ємності тягової акумуляторної батареї. В роботах [4, 5] надані результати дослідження енергетичних показників транспортних засобів з електричним приводом. Перспективи подальшого вдосконалення акумуляторних батарей для електромобілів розглянуті в роботах [6,7,8]. Питанню особливостей експлуатації та ефективності використання ресурсів, зокрема тягових АКБ, присвячені роботи [9-11]. Проте, дані роботи не розглядають вплив умов експлуатації на конкретному маршруті на ресурс ТАБ.

Метою даної роботи є розроблення математичної моделі для визначення ресурсу ТАБ в роках за заданих умов експлуатації на міському маршруті та ресурсу елемента ТАБ, який заданий кількістю циклів заряду розряду.

Виклад основного матеріалу

Відомо, що для будь якого транспортного засобу (далі ТЗ), що здійснює перевезення пасажирів на міському маршруті, зокрема і ТЗ тяговою електричною силовою установкою (далі ТЕСУ) експлуатаційним підприємством може бути надана така інформація:

- добовий пробіг ТЗ;
- довжина одного оборотного рейсу на маршруті, де передбачається експлуатація ТЗ;
- кількість днів перебування ТЗ в русі;
- доля днів роботи ТЗ в одно змінному режимі відносно кількості днів перебування транспортного засобу в русі.

За цих умов, ресурс ТАБ буде залежати від її початкової енергетичною ємності, яка вибирається в залежності від:

- питомих витрат енергії ТЗ під час перевезення пасажирів в кВт*год/км;
- робочого діапазон ТАБ, як доля енергетичної ємності ТАБ від її загальної енергетичної ємності;
- щорічної долі втрати енергетичної ємності ТАБ від її енергетичної ємності.

Питомі витрати енергії транспортним засобом під час перевезення пасажирів в кВт*год/км визначаються за результатами статистичних спостережень за витратами енергії та виконаної транспортної роботи.

Під час статистичних спостережень фіксують добовий показ лічильників постійного струму, зокрема віртуальних, якими обладнано пульт водія та добовий пробіг за показом спідометра транспортного засобу.

За отримання зазначених вище вихідних даних можна отримати математичну модель її ресурсу прийнявши припущення, що один оборотний рейс є одним циклом її розряду заряду (далі Р-З).

Кількість циклів Р-З ТАБ під час роботи на маршруті за добу ($N_{\text{цд}}$) має бути визначено так:

$$\begin{cases} N_{\text{цд}}^{\text{др}} = \frac{L_{\text{д}}}{L_{\text{м}}} + 1, & \text{для двох змінного режиму роботи} \\ N_{\text{цд}}^{\text{ор}} = \frac{0,5L_{\text{д}}}{L_{\text{м}}} + 1, & \text{для одно змінного режиму роботи} \end{cases} \quad (2)$$

де $L_{\text{д}}$ – пробіг транспортного засобу за добу, км;

$L_{\text{м}}$ – довжина одного оборотного рейсу на маршруті, км.

6.1.3 Кількість циклів Р-З за один календарний рік ($N_{\text{цр}}$) має бути обчислена так:

$$N_{\text{цр}} = (N_{\text{цд}}^{\text{др}} \cdot p_{\text{др}} + N_{\text{цд}}^{\text{ор}} \cdot p_{\text{ор}}) n_{\text{рд}} \quad (3)$$

де: $p_{\text{др}}$, $p_{\text{ор}}$ – доля двох та одно змінних режимів роботи, відносно кількості діб використання транспортного засобу на маршруті за рік ($p_{\text{др}} + p_{\text{ор}} = 1$);

$n_{\text{рд}}$ – кількість діб використання транспортного засобу на маршруті за рік.

Долю одно змінних режимів роботи можна визначити так:

$$p_{\text{од}} = \frac{1}{T_{\text{ТО1}}}, \quad (4)$$

а двох змінних:

$$p_{\text{др}} = 1 - p_{\text{од}} \quad (5)$$

де $T_{\text{ТО1}}$ – періодичність ТО1 в календарних днях (7 днів або 14 днів)

Кількість років експлуатації ТАБ (T_e) з урахуванням річної кількості циклів Р-З, має бути обчислено так:

$$T_e = \frac{C_{\text{н}}}{N_{\text{цр}}} \quad (6)$$

де $C_{\text{н}}$ – унормована кількість циклів Р-З для елемента батареї, яка визначена нормативним документом, в залежності від його типу, наприклад технічними умовами на ТАБ.

З урахуванням вирізів 1-6 математична модель для обчислення ресурсу буде мати такий вигляд:

$$T_e = \frac{C_{\text{н}}}{\left(\left(\frac{L_{\text{д}}}{L_{\text{м}}} + 1\right)p_{\text{др}} + \left(\frac{0,5L_{\text{д}}}{L_{\text{м}}} + 1\right)p_{\text{ор}}\right)n_{\text{рд}}} \quad (7)$$

Математична модель 7 побудована із припущення, що за один оборотний рейс ТАБ має один цикл Р-З, величина якого дорівнює його робочому діапазону і він є сталою величиною для кожного року подальшої експлуатації ТАБ.

Зазначимо, що фактично енергетична ємність ТАБ вибирається з запасом, щоб урахувати щорічну втрату енергетичної ємності ТАБ і тому тільки в останній рік експлуатації один оборотний рейс буде означати один цикл Р-З, а в перший та інші роки лише меншу частину робочого циклу, яка визначається в залежності від щорічної втрати ємності.

Щоб урахувати це, необхідно ввести уточнення в отриману математичні моделі для обчислення ресурсу ТАБ, а саме:

$$T_e^{os} = \frac{T_e}{((1-b/100)^{T_e-1})} \quad (8)$$

де T_e^{os} – уточнений ресурс ТАБ, роки

b – щорічний відсоток втрати енергетичної ємності ТАБ, %.

Або з урахуванням виразів 7 та 8 будемо мати таку математичну модель для визначення ресурсу ТАБ:

$$T_e^{os} = \frac{C_n}{((1-b/100)^{T_e-1}) \left(\left(\frac{L_d}{L_m} + 1 \right) \cdot p_{др} + \left(\frac{0,5L_d}{L_m} + 1 \right) p_{ор} \right) n_{рд}} \quad (9)$$

Математична модель 8 не визначає для якої енергетичної ємності ТАБ вона отримана але зазначається, що один цикл Р-З забезпечується за один оборотний рейс. Для цієї умови енергетична ємність ТАБ на останньому році експлуатації можна визначити так:

$$C_{таб} = \frac{E \cdot l_{бкк}}{k_1} \quad (9)$$

де: E - питома витрата енергії транспортним засобом під час руху маршрутом, кВт*год/км;

$l_{бкк}$ – загальна довжина ділянок маршруту, де відсутнє живлення від контактної мережі, км;

k_1 - коефіцієнт, що ураховує робочий діапазон ТАБ;

Тоді енергетична ємність ТАБ на початку її експлуатації, коли за один оборотний рейс здійснюється лише частка циклу Р-З, та з урахуванням щорічної втрати енергетичної ємності, може бути обчислена так:

$$C_{таб}^п = \frac{C_{таб}}{(1-b/100)^{T_e-1}} \quad (10)$$

З урахуванням виразів 9 та 10 можна отримати математичну модель для визначення енергетичної ємності ТАБ, яка забезпечує ресурс визначений за виразом 9, буде мати таких вигляд:

$$C_{таб}^п = \frac{E \cdot l_{бкк}}{k_1 (1-b/100)^{T_e-1}} \quad (11)$$

Висновки.

Збільшення кількості ТЗ з ТЕСУ, що здійснюють пасажирські перевезення на міських маршрутах та мають функцію АХ робить актуальною задачу обґрунтування ресурсу ТАБ для планування витрат на їх експлуатацію.

За результатами проведених досліджень запропонований метод визначення ресурсу ТАБ та її енергетичної ємності для визначених характеристик маршруту та витрат енергоносія. Запропонований метод дозволяє урахувати щорічне зниження ресурсу ТАБ, що дозволяє гарантувати можливість застосування ТЗ з ТЕСУ, що має ТАБ на запланованому маршруті.

Окремо зазначимо, що вичерпання ресурсу ТАБ під час експлуатації на заданому маршруті її виведення із експлуатації. ТЗ з такою ТАБ, може використовуватися на іншому маршруті, характеристики якого можна визначити із запропонованої математичної моделі.

Перспектива подальшого дослідження.

Подальші дослідження мають бути виконані в напрямку обґрунтування питомого енергоспоживання ТЗ з ТЕСУ що урахувати мінливий характер цього процесу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Жуков О.А., Доценко В.М. До питань впровадження джерел розосередженої генерації в системі електропостачання об'єктів інфраструктури електротранспорту. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Світові тенденції ресурсозбереження на електричному транспорті» (м Харків 25-27 жовтня 2023 р.) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова [та ін.; редкол.: В. Х. Далека, Н. І. Кульбашна, А. В. Коваленко]. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 225 с.-С. 175
2. Войтків С.В. Напрями енергозбереження у міському електробусному транспорті. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Світові тенденції ресурсозбереження на електричному транспорті» (м Харків 25-27 жовтня 2023 р.) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова [та ін. ; редкол.: В. Х. Далека, Н. І. Кульбашна, А. В. Коваленко]. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 225 с.-С. 3
3. Андрусенко С.І. Математична модель енергетичної ємності тягової акумуляторної батареї / Андрусенко С.І., Будниченко В.Б.// Науково-технічний збірник “Вісник Національного транспортного університету, НТУ. –2021. –№ 3(50).– С. 3-11].
4. 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).
5. Багач Р.В. Перспективи подальшого вдосконалення акумуляторних батарей для електромобілів /Р.В. Багач//Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті і при підготовці фахівців: наук. пр. Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 27–29 жовт. 2021 р./Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. ХНАДУ. – С. 293–294 –Харків, 2021.–С. 346–349.
6. Войтків С. В. Оцінка доцільності створення міських електробусів Типу ONC-C з колісною формулою 6х4.1. Матеріали XI Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 13-14 квітня 2023 року: збірник наукових праць /Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – 366 с.-С 82
7. Гайдамака В., Іванов Л. Акумуляторні батареї. Вплив на життєвий цикл акумуляторної батареї Виробництво & Мехатронні Системи 2022: матеріали VI-ої Міжнародної конференції, Харків, 21-22 жовтня 2022 р.: тези доповідей / [редкол. І .Ш. Невлюдов (відповідальний редактор)].-Харків: [електронний друк],2022.-136 с.-С.51
8. Fabio Widmer, Andreas Ritter, Pol Duhr, Christopher H. Onder [2022]. Battery lifetime extension through optimal design and control of traction and heating systems in hybrid drivetrains. eTransportation. Volume 14, November 2022, 100196. <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2022.100196>
9. Harald Helander, Maria Ljunggren [2023] Battery as a service: Analysing multiple reuse and recycling loops. Resources, Conservation and Recycling. Volume 197, October 2023, 107091. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107091>
10. Maria Anna Cusenza, Silvia Bobba, Fulvio Ardente, Maurizio Cellura, Franco Di Persio [2019] Energy and environmental assessment of a traction lithium-ion battery pack for plug-in hybrid electric vehicles. Journal of Cleaner Production. Volume 215, 1 April 2019, Pages 634-649. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.056>
11. Wenqi Wu, Nan Cong, Xueli Zhang, Qian Yue, Ming Zhang [2023] Life cycle assessment and carbon reduction potential prediction of electric vehicles batteries. Science of The Total Environment. Volume 903, 10 December 2023, 166620 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166620>

REFERENCES

1. Zhukov O.A., & Dotsenko V.M. (2023) Do pytan vprovadjennya dжерel rozoseredjenoї generatsii v systemi elektropostachannya ob'ektiv infrastruktury elektrotransportu. [To the issues of introducing sources of distributed generation in the power supply system of electric transport infrastructure objects]. V. H. Daleka, N. I. Kulbashna, A. V. Kovalenko [Eds.]. *Svitovi tendetsii resursozberjennya na electrychnomu transporti.-World trends of resource conservation in electric transport: Proceeding of the All-Ukrainian scientific and practical conference*, (pp.225-P.82-83) October 25-27, 2023, Kharkiv: XNUMX named after O. M. Beketova [in Ukrainian].
2. Voitkiv S.V. (2023) Napryamy energozberjennya u myskomu eletrobusnomu transporty. [Directions of energy saving in urban electric bus transport]. V. H. Daleka, N. I. Kulbashna, A. V. Kovalenko [Eds.]. *Svitovi tendetsii resursozberjennya na electrychnomu transporti -World trends of resource conservation in electric transport: Proceeding of the All-Ukrainian scientific and practical*

conference, (pp.225-P.3) October 25-27, 2023, Kharkiv: XNUMX named after O. M. Beketova [in Ukrainian].

3.Andrusenko S.I. (2021) Metematychna model enegetychnoi yemnosti tyagovoi akumulyatornoi batarei [Mathematical model of the energy capacity of the traction battery] /Andrusenko S.I., Budnychenko V.B.//*Naukovo-Tekhnichniy zbirnyk "Vysnyk Natsionalnogo trasportnogo universitetu" NTU- Scientific and technical collection "Bulletin of the National Transport University, - 3(50).- 3-11. NTU..Kyiv. [in Ukrainian].*

4.Valery Dembytskyi. (2022).Doslidjennya energetychnykh pokaznykiv traspotnykh zasobiv z elektrychym pryvodom [Research of energy indicators of vehicles with an electric drive].Monograph / by general ed. D.V. Lomotka – (pp 1 - 77-P.114). Publisher H.M. Kushnir *Akademiya Tekhnichnykh nauk Ukrainy.- Academy of Technical Sciences of Ukraine. – Ivano-Frankivsk:*

5. Bagach R.V. (2021) Perspektyvy podalshogo vdoshkonalennya akumulyatornykh batarei dlya elektromobiliv. [Prospects for further improvement of batteries for electric vehicles]/R.V. Bagach//*Novitny tekhnologii v avtomobilebuduvanni, transporti i pry pidgotovtsi fakhivtsiv,-The latest technologies in automobile manufacturing, transport and in the training of specialists: Proceedings of the Materials International science and practice conference (pp.460-P.346-349), October 27–29 2021/Kharkiv. national automobil.-dor. University. [in Ukrainian].*

6. Voitkiv S.V. (2023) Otsinka dotsilnosti stvorenniya myskikh elektobusivTypu ONC-C z kolisnoyu formuloyu 6x4.1. [Feasibility assessment of creating urban electric buses of the ONC-C type with a wheel formula of 6x4.1.] Collection of scientific works / Ministry of Education and Science of Ukraine. *Problemy ta perspektyvi rozvytku avtomobilnogo transportu. - Problems and prospects of automotive development of transport.* Proceedings of the Materials of the 11th International Scientific and Technical Internet conference (pp.366-P.346-349), April 13-14, 2023, Vinnytsia National technical university [etc.]. – Vinnytsia: VNTU. [in Ukrainian].

7. Haydamaka V., Ivanov L. (2022) Akumulyatorny batarei. Vplyv na jyttyevyi tsykl akumulyatornoi batarei. [Accumulator batteries. Impact on the life cycle of the battery]. Theses of Reports [Ed. I.Sh. Nevlyudov (chief editor) [electronic version]. *Vyrobnytstvo&Mekhatronny systemy2022- Manufacturing & Mechatronic Systems 2022: Proceedings of VIst International Conference, Kharkiv, October 21-22,2022, (pp.136-P.51) Kharkiv National University of Radioelectronic.NURE [in Ukrainian].*

8. Fabio Widmer, Andreas Ritter, Pol Duhr, Christopher H. Onder [2022]. Battery lifetime extension through optimal design and control of traction and heating systems in hybrid drivetrains. eTransportation. Volume 14, November 2022, 100196. <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2022.100196>

9. Harald Helander, Maria Ljunggren [2023] Battery as a service: Analysing multiple reuse and recycling loops. Resources, Conservation and Recycling. Volume 197, October 2023, 107091. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107091>

10. Maria Anna Cusenza, Silvia Bobba, Fulvio Ardente, Maurizio Cellura, Franco Di Persio [2019] Energy and environmental assessment of a traction lithium-ion battery pack for plug-in hybrid electric vehicles. Journal of Cleaner Production. Volume 215, 1 April 2019, Pages 634-649. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.056>

11. Wenqi Wu, Nan Cong, Xueli Zhang, Qian Yue, Ming Zhang [2023] Life cycle assessment and carbon reduction potential prediction of electric vehicles batteries. Science of The Total Environment. Volume 903, 10 December 2023, 166620 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166620>

РЕФЕРАТ

Будниченко В.Б. Метод обґрунтування ресурсу тягової акумуляторної батареї / В.Б. Будниченко, С.А. Харламов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

У статті розглянуті параметри та характеристики маршруту, які впливають на тривалість роботи тягової акумуляторної батареї транспортного засобу

Метою дослідження є розробка методу визначення терміну служби тягової акумуляторної батареї транспортного засобу, який здійснює пасажирські перевезення на міському маршруті

Об'єкт дослідження – тягова акумуляторно батарея, що забезпечує живлення електричного двигуна транспортного засобу який здійснює перевезення пасажирів на міському маршруті.

За результатами дослідження отримано математичні моделі ресурсу тягової акумуляторної батареї та її енергетичної ємності на початку експлуатації транспортного засобу на міському маршруті.

Результати дослідження мають практичне значення бо надають можливість виробнику транспортного засобу робити обґрунтований вибір енергетичної ємності тягової акумуляторної

батареї для заданих замовником характеристик маршруту та транспортної роботи де передбачається застосування нового транспортного засобу.

Стаття рекомендована для фахівців підприємств виробників транспортних засобів та експлуатаційних підприємства, які здійснюють їх переобладнання, зокрема тролейбусів з автономним ходом.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТРАНСПОРТНИЙ ЗАСІБ, ТЯГОВА БАТАРЕЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ, МАРШРУТ, РЕСУРС, ЕНЕРГЕТИЧНА ЄМНІСТЬ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ.

ABSTRACT

Budnychenko V.B., Kharlamov S.A. Method of resource involvement Traction battery. Visnyk National Transport University. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

The article examines the parameters and characteristics of the route, which affect the duration of operation of the traction battery of the vehicle

The purpose of the study is to develop a method for determining the service life of the traction battery of a vehicle that carries out passenger transportation on an urban route

The object of the study is a traction battery that provides power to the electric motor of a vehicle that transports passengers on an urban route.

According to the results of the research, mathematical models of the resource of the traction battery and its energy capacity at the beginning of the operation of the vehicle on the city route were obtained.

The results of the study are of practical importance because they enable the vehicle manufacturer to make a reasonable choice of the energy capacity of the traction battery for the characteristics of the route and transport work specified by the customer where the new vehicle is expected to be used.

The article is recommended for specialists of enterprises that manufacture vehicles and operating enterprises that carry out their conversion, in particular trolleybuses with autonomous driving.

KEY WORDS: VEHICLE, TRACTION BATTERY, OPERATION, ROUTE, RESOURCE, ENERGY CAPACITY OF THE ACCUMULATORY BATTERY.
KEY WORDS: ELECTRIC TRANSPORT, TRACTION BATTERY, OPERATION, TROLLEY BUS WITH AUTONOMOUS MOTION, ACCUMULATORY BATTERY RESOURCE.

АВТОР:

Будниченко Валерій Борисович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, Національний транспортний університет, e-mail: budnjb@i.ua, тел. +380679318431, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 306, <https://orcid.org/0000-0002-1235-3781>

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/0009-0005-2358-850>

AUTHOR:

Valerii Budnychenko PhD in Engineering, associate professor of the department of technical operation of cars and car service, National Transport University, e-mail: budnjb@i.ua, tel.+3800679318431, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko str. 1, of. 306, <https://orcid.org/0000-0002-1235-3781>

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/0009-0005-2358-850>

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гвоздик Б.С., кандидат технічних наук, заступник директора ТОВ «БАС МОТОР», м. Луцьк, Україна

Поляков В.М., професор кафедри автомобілів, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, м. Київ, Україна.

REVIEWERS:

Gvozdyk B.S., candidate of technical sciences, deputy director of BAS MOTOR LLC, Lutsk, Ukraine

Poljakov V.M., Professor of the Department of Automobiles, PhD in Technical Science, associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

МЕТОД СИТУАЦІЙНОГО СТРУКТУРУВАННЯ ПОРТФЕЛЯ ПРОЄКТІВ ГРОМАДСЬКОЇ УЧАСТІ

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

Божок Ю.О., Національний транспортний університет, Київ, Україна, bozhok2008@bigmir.net, orcid.org/0000-0002-0404-0961

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

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

METHOD OF SITUATION STRUCTURING OF PUBLIC PARTICIPATION PROJECTS PORTFOLIO

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, orcid.org/0000-0002-0404-0961

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

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

Постановка проблеми. На сьогоднішній день в світі громадський бюджет (ГБ) розглядається за потужний інноваційний механізм забезпечення стратегічного соціально-економічного розвитку, важливий інструмент прямої демократії. Даний інструмент, спрямовуючись, насамперед, на створення засад до формування спільної відповідальності влади та громадян за власний добробут, має значний потенціал для консолідації ресурсів і підвищення результативності та ефективності діяльності територіальних громад, сприяє зростанню прозорості і довіри до рішень, які приймаються на рівні територіальних громад.

Паралельно з процесом децентралізації в Україні також набула поширення ініціатива ГБ. Станом на 2019 р. всі обласні центри України, в тому числі, і столиця – м. Київ, а також міста, які тимчасово виконували роль обласних центрів, запровадили ГБ. Частка ГБ у загальних бюджетах територіальних громад міст України варіює в межах від 0,5% до 3,0% від обсягу доходів бюджету розвитку. Або ГБ встановлюються як наперед визначена фіксована сума. В 2021 р. у 197 територіальних громадах України, де було на той час впроваджено ГБ, передбачалась реалізація близько 2,5 тис. проєктів у рамках ГБ – проєктів громадської участі (ГУ) – на загальну суму 592,5 млн. грн [1].

Узагальнено, можна зазначити, що, натеper, серед наукових робіт, присвячених ГБ, превалюють роботи, які, здебільшого, концентруються на питаннях забезпечення демократичних цінностей, прозорості, взаємодії та відповідальності у відносинах між владою та громадянами. Відповідно, це публікації, які знаходяться в площині наукових дисциплін гуманітарного спрямування, регіональної економіки або державного управління.

Разом із тим, проведений в роботах [1–5] аналіз кращої практики і уроків застосування ГБ у територіальних громадах міст України дозволяє визначити ряд проблем, які стосуються управління проєктами ГУ. Це, зокрема, такі проблеми як: структурування, в тому числі, у відповідності до фаз життєвого циклу, проєктів ГУ за тематичними спрямуваннями і масштабом, оцінюванням через запит на обсяг фінансування; визначення критеріїв для оцінювання, відбору і пріоритизації проєктів ГУ; оптимізація сукупності проєктів ГУ в умовах прийняття їх до реалізації [6, 7]. До проблем управління проєктами ГУ можна віднести і виокремлювану в ряді аналітичних робіт проблему неузгодженості видатків ГБ зі стратегіями розвитку громад і територій [1, 5].

Очевидно, що вирішення вищезазначених проблем у забезпеченні управління проектами ГУ вимагає застосування методологічних підходів наукової дисципліни управління проектами, насамперед, в частині управління портфелями проектів. Зазначене, в свою чергу, потребує опрацювання самих методологічних підходів до управління проектами – в розумінні як розроблення нових, так і вдосконалення та подальшого розвитку існуючих у контексті їх застосування до управління проектами ГУ із урахуванням особливостей останніх.

Наукова прогалина ідентифікується в частині браку методологічного забезпечення умов виокремлення підрозділів і/або підпортфелів у складі сукупності проектів ГУ, розглядуваної за портфель проектів.

Таким чином, за актуальне науково-прикладне завдання виступає розроблення моделей і методів раціонального структурування сукупності проектів ГУ, розглядуваної за портфель проектів, за умовами виокремлення підрозділів і/або підпортфелів.

Аналіз останніх досліджень. Натепер, загального визнання набуває думка, що об'єднання проектів у портфелі дозволяє отримувати нову якість управління ними, покращувати результат від їх реалізації, а саме портфельно-орієнтоване управління поступово перетворюється на дієвий механізм управління не тільки реалізацією стратегічних цілей, а й формуванням останніх [8]. На підвищення значущості управління портфелями проектів у теорії і практиці управління проектами опосередковано вказує і той факт, що, починаючи з 2006 р., найбільша професійна організація в області управління проектами – Інститут управління проектами (Project Management Institute, PMI) виокремлює зі свого базового стандарту з управління проектами – Зводу знань із управління проектами (A Guide to the Project Management Body of Knowledge, PMBOK®Guide), розвиває і доводить до відома фахівців із управління проектами стандарт управління портфелем. Разом із тим, дотепер, портфелі розглядалися в наукових роботах і стандартах управління портфелями переважно в контексті проблематики реалізації стратегій окремих, здебільшого, бізнесових, організацій або організаційних мереж.

На сьогоднішній день PMI запропонував чотири версії стандарту управління портфелем, які побачили світ, відповідно, в 2006 р. [9], 2008 р. [10], 2013 р. [11] і 2017 р. [12]. Як зазначалося в першій версії даного стандарту, управління проектами – це один із тих термінів, який має багато значень. Тривалий час він асоціювався виключно з проектами. Проте, тепер, стає зрозумілим, що управління проектами охоплює також управління портфелями і програмами, зосереджуючись на тезі «робити правильну роботу», на відміну від традиційної для управління проектами і програмами, – «робити роботу правильно».

У стандартах управління портфелем вихідними виступають поняття «портфель» і «управління портфелем». Порівнюючи визначення портфеля у версіях стандарту управління портфелем PMI, можна дійти висновку, що в перших трьох версіях [9–11] портфель розглядається як такий, що включає проекти, програми, а також інші роботи, які не ввійшли до попередньо зазначених компонентів – проектів і програм.

Водночас, з кінця 2000 рр., вже в другій версії стандарту управління портфелем [10] та ряді інших стандартів PMI починає вживатися поняття «портфель вищого рівня» (англ. – highest level portfolio). Даний портфель, крім проектів і програм, за визначенням, може містити «портфелі відносно нижчого рівня» (англ. – lower level portfolio). В цьому ж періоді фахова спільнота відмічає, що на практиці простежується тенденція, коли в будь-якому крупному портфелі спорадично, а іноді системно, виникають більш або менш стійкі групи проектів. Доти, доки ці групи проектів існують тільки для зручності управління, можна вести мову про «підрозділи» єдиного портфеля. Проте, коли починається виділення ресурсів окремо на групу і рейтингування проектів в межах такої групи, то тут вже йдеться про виокремлення портфеля відносно нижчого рівня в межах портфеля відносно вищого рівня. До даних нових «утворень» можуть застосовуватися всі техніки й інструменти традиційного управління портфелем. Ці практики були взяті до уваги при визначенні портфеля в четвертій версії стандарту управління портфелем PMI через введення до компонентів портфеля підпортфелів (іноді для перекладу із англ. subsidiary portfolios вживаються, крім терміну «підпортфелі», терміни «субпортфелі» або «дочірні портфелі») [12].

Розвиваючи поняття «портфель» у четвертій версії стандарту управління портфелем, PMI пов'язує виокремлення і існування портфеля з реалізацією певних стратегій і досягненням певних цілей організацій та бізнесових одиниць [12]. При цьому портфель передбачає існування як поточних компонентів, так і тих, які увійдуть до нього в подальшому. Вочевидь, наявність багатьох стратегій і цілей призводить до того, що організація може мати, в загальному випадку, більше ніж один

портфель. Нові ініціативи щодо проєктів і програм включаються до існуючих або нових портфельів. На додачу, відносно більші портфелі можуть включати підпортфелі. Здебільшого, спостерігається ієрархічне структурування. Портфелі можуть бути зовнішніми або внутрішніми відносно організації, а також існувати на різних рівнях організації – організації в цілому, підрозділу, бізнес-одиниці або функції [12]. За приклад зовнішніх щодо окремої організації портфельів можна розглядати, зокрема, деякі варіанти портфельів організаційних мереж [8].

У даній роботі поняття «портфель» і «управління портфелем» вживаються в значенні, пропонованому в четвертому виданні стандарту управління портфелем РМІ [12], якщо окремо не зазначається інше. При цьому порівняльний аналіз еволюції поняття «управління портфелем», представленого у версіях відповідного стандарту [9–12], дає підстави дійти висновку, що зміст зазначеного поняття має тенденцію «рухатися» – від виокремлення «управління власне портфелем» до поєднання «управління власне портфелем» із контекстом використання останнього. В роботі [12] мається на увазі це використання в організаціях.

Тобто, портфель – це сукупність проєктів, програм, підпортфельів, а також операцій, які управляються як єдина група для досягнення стратегічних цілей. Управління портфелем – це централізоване управління одним, або більше, портфелем із метою досягнення стратегічних цілей. Це застосування принципів управління портфелем для узгодження портфеля і 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 [12]. Очевидно, що, в даному випадку, в якості такої організації виступають структури публічного управління територіальними громадами.

Узагальнено, процес оцінювання, відбору і пріоритизації проєктів ГУ, на основі якого проєкти ГУ приймаються до реалізації, розглядуваний у даній роботі за умовами запровадження ГБ у територіальних громадах міст України, насамперед, обласних центрів, а також, окремо м. Києва, натеper виглядає наступним чином. Запити на проєкти ГУ мають пройти попередній відбір у відповідних структурах виконавчої влади територіальної громади. Надалі, ті із запитів, які успішно пройшли попередній відбір, пропонуються на розгляд жителям, у деяких нормативних документах – мешканцям, територіальної громади. Останні мають певну, наперед встановлену, кількість голосів на одну особу. Визначення понять «мешканець територіальної громади» або «житель територіальної громади» можуть зазнавати змін, зокрема, в часі. У даній роботі ці поняття використовуються як рівнозначні. В подальшому, на основі кількості набраних голосів на підтримку – або як одиничного показника, або як одиничного показника, представленого у вигляді певної функціональної залежності від кількості отриманих голосів на підтримку, або як одиничного показника у встановленому поєднанні з іншими одиничними показниками в рамках відповідних комплексних чи інтегральних показників – проєкти ГУ, в наперед визначений спосіб, рекомендуються до реалізації.

Аналіз існуючих практик за процесом формування сукупності проєктів ГУ, яка розглядається в даній роботі як портфель проєктів ГУ, дає підстави виокремити, принаймні, два принципово відмінних підходи до структурування такого портфеля [5, 13–16]. За першим із них не передбачається окреме попереднє виділення (фіксація) бюджетів відносно будь-яких складових портфеля проєктів ГУ. Проєкти, які є відмінними за своїми характеристиками, за основні з яких, можна розглядати приналежність до певного тематичного спрямування і запит на обсяг фінансування, отримують свій рейтинг у межах загального списку. Відповідно до цього списку проєкти ГУ, в подальшому, можуть пріоритизуватися. Водночас, бюджет на всі проєкти ГУ виділяється спільний. Таким чином, слідуючи загальноновизначаній натеper інтерпретації портфеля (підпортфеля) проєктів, зокрема, представлений у роботі [12], в цьому випадку ми можемо мати справу тільки з підрозділами портфеля проєктів ГУ. Дані підрозділи якщо й виокремлюються, то відбувається це, за більшості випадків, лише для зручності управління. Як приклад можна навести громадські проєкти м. Києва, умови виокремлення тематичних спрямувань за якими, починаючи з 2017 р., як видно з табл. 1, зазнавали постійних змін [6]. При цьому щодо кожного проєкту ГУ групами з питань громадського бюджету передбачалось визначення відповідального за експертизу проєкту ГУ підрозділу за тематикою реалізації такого проєкту. Мали місце й інші аспекти управління проєктами ГУ в м. Києві, умови здійснення за якими залежали від тематичного спрямування громадського проєкту. Разом із тим, виділення окремих бюджетів за категоріями тематичних спрямувань у період часу, який розглядається в даній роботі, тобто, 2017–2022 рр., не було передбачено.

Таблиця 1 – Умови виокремлення тематичних спрямувань за проєктами ГУ, які було реалізовано в м. Києві в 2017–2021 рр. і планувались до реалізації в 2022 р.

Table 1 – Conditions for the selection of thematic directions under the PP projects that were implemented in the city of Kyiv in 2017–2021 and were planned for implementation in 2022.

Тематичне спрямування	Рік					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022 (план)
1	2	3	4	5	6	7
ІТ (інформаційні технології)	+	+	+	+	+	+
Безпека	+	+	+	+	–	–
Освіта	+	+	+	+	–	–
Громадянське суспільство	–	+	+	+	–	–
Освіта, громадянське суспільство	–	–	–	–	+	+
Дороги, транспорт	+	+	+	+	+	+
Екологія	+	+	+	+	+	+
Комунальне господарство, енергозбереження	+	+	+	+	–	–
ЖКГ (комунальне господарство, енергоефективність)	–	–	–	–	+	+
Культура, туризм	+	+	+	+	+	+
Охорона здоров'я	+	+	+	+	–	–
Здоров'я	–	–	–	–	+	+
Публічний простір	–	–	+	+	–	–
Соціальний захист	+	+	+	+	–	–
Соціальний захист, інклюзія	–	–	–	–	+	+
Спорт	+	+	+	+	–	–
Молодь, спорт	–	–	–	–	+	+
Інше	–	+	+	+	–	–
Міжтематичні	–	–	–	–	+	+

Узагальнено, структурна будова сукупності проєктів ГУ, як портфеля проєктів ГУ, яка відповідає вищезазначеному, першому, з двох розглядуваних, підходу до його структурування, може бути представлена у вигляді моделі, яка наведена на рис. 1.

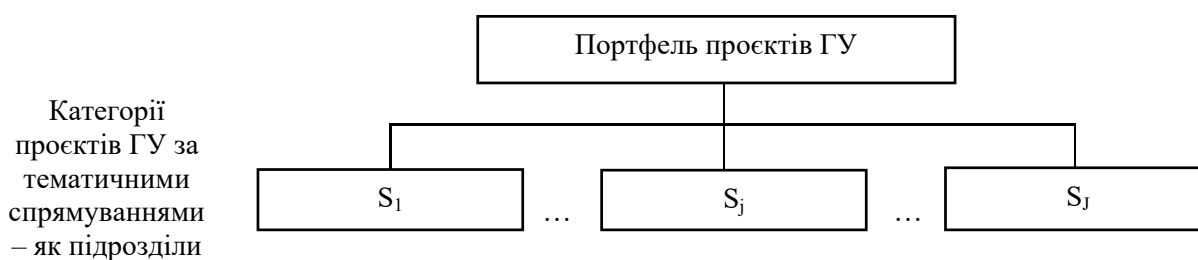


Рисунок 1 – Модель структури портфеля проєктів ГУ: категорії тематичних спрямувань проєктів ГУ виступають як підрозділи

Figure 1 – Model of the structure of the PP project portfolio: thematic categories directions of PP projects act as subdivisions

Як окремо наголошується в роботі [5], порівняльне дослідження питання формування тематичних спрямувань за проєктами ГУ, зокрема, й за містами України, ускладнюється дією ряду факторів. Це, насамперед, наступне:

– кожне місто на власний розсуд виокремлює тематичні спрямування, що значно ускладнює їх приведення до єдиної системи;

– якими б не були за визначенням блоки тематичних спрямувань, вони ніколи не є чистими типами, і більшість громадських проєктних ініціатив, насправді, одночасно належить до кількох тематичних спрямувань;

– завжди існують проекти ГУ, які не підпадають під жодне із наперед визначених тематичних спрямувань;

– на практиці тематичне спрямування, зазвичай, визначають автори проєктної ініціативи, які, доволі часто, не роблять це коректно.

Умовна, як самі це визнають дослідники за роботою [5], уніфікована схема тематичних спрямувань виглядає, як така, що складається з наступних 12 тематичних спрямувань:

– освіта – охоплює проекти ГУ, які стосуються всіх навчальних (освітніх) закладів усіх рівнів, навіть, якщо вони безпосередньо і не пов'язані з наданням освітніх послуг (наприклад, проекти ГУ щодо покращення інфраструктури цих закладів), а також будь-яких форм неформальної освіти;

– охорона здоров'я – охоплює проекти ГУ, які стосуються всіх закладів системи охорони здоров'я, навіть, якщо вони безпосередньо і не пов'язані з наданням медичних послуг (наприклад, проекти ГУ щодо покращення інфраструктури цих закладів), а також будь-якої іншої діяльності, дотичної до сфери медичних послуг і громадського здоров'я;

– дорожньо-транспортна інфраструктура – охоплює проекти ГУ, які стосуються облаштування і ремонту доріг, тротуарів, пішохідних переходів, світлофорів, дорожнього освітлення, пішохідних маршрутів, а також велосипедних маршрутів та усієї інфраструктури громадського транспорту;

– безпека та громадський порядок – охоплює проекти ГУ, які стосуються заходів громадської безпеки і цивільного захисту в містах;

– благоустрій та публічний простір – охоплює проекти ГУ, які стосуються облаштування громадських (публічних) місць, включаючи встановлення та реставрацію дитячих майданчиків, озеленення, благоустрій дворів, парків, скверів тощо;

– комунальне господарство та енергозбереження – охоплює проекти ГУ, пов'язані з наданням житлово-комунальних послуг та вжиттям заходів із енергозбереження;

– соціальний захист – охоплює будь-які проекти ГУ, які стосуються інтересів вразливих груп населення та надання соціальних послуг і послуг соціального характеру;

– навколишнє середовище – охоплює проекти ГУ, які пов'язані із захистом та відновленням довкілля та формуванням екологічної культури населення;

– фізична культура та спорт – охоплює проекти ГУ, які передбачають створення (розвиток) спортивної інфраструктури, включаючи спортивні майданчики, а також проведення різноманітних спортивних та спортивно-розважальних заходів;

– інформаційно-комунікаційні технології – охоплює проекти ГУ, які передбачають заходи із цифровізації і/або створення чи впровадження цифрових продуктів і послуг;

– культура та мистецтво – охоплює проекти ГУ щодо розвитку соціокультурної інфраструктури, а також створення і просування культурних продуктів і послуг, проведення різноманітних культурно-мистецьких заходів, розвитку культурних індустрій;

– інше – охоплює проекти ГУ, які не потрапляють до жодної із наведених категорій.

За даними вищезгаданого дослідження [5], аналіз тематичних спрямувань вказує на перевагу таких тематичних спрямувань як «Освіта», «Благоустрій та публічний простір», «Фізична культура та спорт» відносно інших. При цьому, за даними 35 міст України, які фігурують у цьому дослідженні [5], до яких, зокрема, увійшли і всі міста – обласні центри України і м. Кривий Ріг, на дані тематичні спрямування припадає 23%, 19% та 14% ініційованих проєктів ГУ відповідно. Можна виокремити як значні, за часткою, яка на них припадає, тематичні спрямування «Культура та мистецтво» (9%), «Інше» (8%) і «Комунальне господарство та енергозбереження» (7%).

За другим, із двох розглядуваних, підходом до структурування портфеля проєктів ГУ, на відміну від першого, окремі бюджети для проєктів ГУ, які значуще різняться за значеннями певних, визначених і обраних для категоризації характеристик, передбачаються. Якщо звернутись, знову таки, до громадських проєктів м. Києва, то на 2022 р. передбачалось виокремлення, як і у деякі з попередніх років, зокрема, в 2018 р. і 2021 р., категорій за запитом на обсяг фінансування (загальною вартістю реалізації). Це категорії «малі» та «великі» проекти ГУ. До категорії «малі» проекти ГУ, які повинні були бути прийнятими до реалізації в м. Києві, наприклад, у 2022 р., було віднесено проекти ГУ з бюджетом від 100,0 до 999,9 тис. грн., а до категорії «великі» від 1000,0 до 3000,0 тис. грн. При цьому бюджет для категорії «великі» складав 60%, а для категорії «малі» – 40% від загального бюджету, виділеного на проекти ГУ. Аналогічні умови поділу за категоріями «малі» та «великі» проекти ГУ мали місце і в 2021 р.

Таким чином, за «мовою» управління портфелями проєктів, можемо інтерпретувати сукупність громадських проєктів м. Києва до реалізації на 2018 р., 2021 р. і 2022 р. як портфель, у складі якого виокремлюються дві категорії: категорія «малі» і категорія «великі» проекти. Дані категорії,

відповідно до визначення підпортфеля, можна інтерпретувати як підпортфелі. Поділ проєктів ГУ за категоріями тематичних спрямувань, в свою чергу, можемо продовжувати розглядати як виокремлення підрозділів портфеля (підпортфеля) для зручності управління.

Узагальнено, структурна будова сукупності проєктів ГУ, як портфеля проєктів ГУ, яка відповідає вищезазначеному, другому, підходу до його структурування, може бути представлена у вигляді моделі, яка наведена на рис. 2.

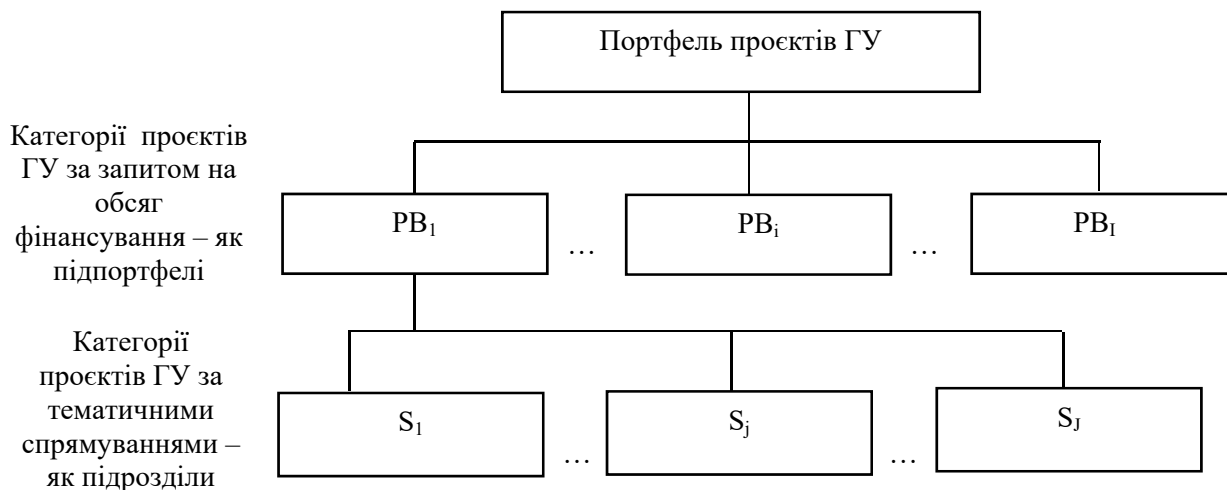


Рисунок 2 – Модель структури портфеля проєктів ГУ: категорії проєктів ГУ за запитом на обсяг фінансування виступають як підпортфелі; категорії тематичних спрямувань проєктів ГУ виступають як підрозділи підпортфелів, виокремлюваних за запитом на обсяг фінансування

Figure 2 – The model of the structure of the portfolio of PP projects: categories of PP projects appear as sub-portfolios upon request for the amount of funding; categories of thematic directions of PP projects act as subdivisions of sub-portfolios, separated according to the request for the amount of funding

В дослідженні [5] зазначається, що, з 35, розглянутих у цьому дослідженні міст, у 27 проєкти ГУ поділялись на «малі» та «великі». При цьому в ряді міст цей поділ застосовувався лише в окремих конкурсах. Водночас, від конкурсу до конкурсу могли різнитися граничні обсяги фінансування за проєктами ГУ, які було визначено за «малі» та «великі».

Серед таких міст України, як столиця, обласні центри, а також м. Кривий Ріг, як одне із значніших міст України, – поділ на категорії «малі» та «великі» ніколи не застосовували лише міста Луцьк, Суми, Харків і Хмельницький. У межах конкурсу 2017 р. в м. Києві, з подальшою реалізацією в 2018 р., проєкти поділялись на категорії «малі» та «великі». У наступних конкурсах столиця відмовилася від поділу проєктів на категорії «малі» і «великі», а з часом, як зазначається в роботі [2], відновила, але на інших умовах. У Львові, перманентно, протягом всього часу існування ГБ, за категорією «малі» розглядаються ті, проєкти ГУ, бюджет яких становить від 50 до 600 тис. грн., а за категорією «великі» – проєкти ГУ, бюджет яких становить від 600 до 3000 тис. грн.

Маємо зауважити, що граничні суми щодо віднесення проєктів ГУ за запитом на обсяг фінансування до певної категорії, і поділ за такими категоріями взагалі, встановлюються місцевими радами в положеннях про ГБ і, в цілому, доволі часто зазнають змін. Водночас, як зазначається в роботі [5], чимало міст доповнюють поділ проєктів ГУ на категорії «малі» і «великі» деякими іншими категоріями або застосовують альтернативні типології. У м. Суми, наприклад, встановлюється поділ проєктів ГУ на «загальноміські» і «локальні». При цьому для обох типів встановлена лише верхня межа – до 750,0 тис. грн. для локальних проєктів ГУ і до 1,5 млн. грн. – для загальноміських проєктів ГУ. На практиці, такий поділ, то швидше про масштаб проєктів ГУ за обсягом їх фінансування як за категоріями. Оскільки доволі значна частина загальноміських проєктів ГУ мають меншу величину бюджету порівняно до локальних. У м. Запоріжжі, протягом тривалого часу, проєкти ГУ взагалі не поділяли за категоріями за якими-сь ознаками. Проте, починаючи з 2019 р., вони діляться на проєкти ГУ загальноміського значення (за сутністю – «великі») і пов'язані з комунальними закладами (за сутністю – «малі») й житловим сектором (за сутністю – «малі»). У м. Дніпрі впродовж двох років, 2018 р. і 2019 р., застосовувався поділ проєктів ГУ за категоріями «гуманітарні великі», «гуманітарні малі», «муніципальні великі», «муніципальні малі». До цього, в 2017 р., лише на «малі» та «великі».

В 2020 р. до них також додалися «освітні великі» та «освітні малі». А в 2021 р. до цих шести категорій додалися ще три «медико-соціальні малі», «медико-соціальні великі», а також «інформаційно-молодіжні». У м. Кривому Розі маємо досвід поділу проєктів ГУ на категорії «малі», «середні», й «великі», а в м. Полтаві, наприкінці 2010-х рр., їх почали поділяти за категоріями «великі», «малі», «мікропроєкти». У м. Херсоні, окрім поділу на категорії «великі» й «малі», проєкти ГУ поділяються на «тверді» – мається на увазі такі, що пов’язані зі створенням інфраструктури, і «м’які» – ті, що стосуються проведення заходів.

Узагальнюючи, можемо спостерігати, що в кожному місті України, в сенсі поділу проєктів ГУ за категоріями, виокремлюваними, головним чином, за обсягом фінансування, який запитується на кожен проєкт ГУ, склалася унікальна ситуація. Чимало, як бачимо, міст експериментують із різними типами категорій щодо поділу проєктів ГУ за запитом останніх на обсяг фінансування, в тому числі, в поєднанні з виокремлюваними тематичними спрямуваннями. Сталих практик щодо цього питання не сформовано [5].

У 2016 р. в таких містах, де був чіткий поділ проєктів ГУ відповідно до категорій «малі» та «великі», а це, зокрема, міста Вінниця, Краматорськ, Тернопіль, Ужгород і Черкаси, більше половини поданих проєктних ініціатив були за категорією «великі». Найбільше їх було в м. Черкаси, на рівні 67% від загальної кількості проєктних ініціатив громадян. Найбільше ж проєктних ініціатив за категорією «малі» було подано в м. Чернівці – їхня частка склала 69% [5]. У 2017 р. в загальній кількості ініційованих проєктів ГУ за категорією «великі» домінували міста Київ, Вінниця, Миколаїв, Рівне, Ужгород і Черкаси. Знову таки, попереду – м. Черкаси, з 66%, а також м. Київ – 65% від загальної кількості ініційованих проєктів ГУ. Стосовно категорії «малі», то тут перше місце посіло м. Полтава – 75%. У 2018 р. лише у містах Вінниця, Житомир, Краматорськ, Одеса і Черкаси превалювали «великі» проєкти ГУ. У м. Кривому Розі, як і у більшості інших міст, домінували «малі» проєкти ГУ. На їх долю припадало 79% від загальної кількості проєктних ініціатив. Але маємо зазначити, що, в останньому випадку, в категорії «малі» об’єднані власне «малі» і «середні» проєкти ГУ. У 2019 р. категорія «великі» за поданими проєктними ініціативами переважала лише в містах Вінниця, Краматорськ, Одеса і Херсон. При цьому в м. Одесі на категорію «великі» припадало 75% проєктних ініціатив. Найбільша частка проєктних ініціатив за категорією «малі» була зафіксована в м. Кропивницькому – 85%. Хоча, очевидно, в останньому випадку це питання лише назви, бо альтернативу їм склали «соціальні» і обидві категорії мали однакові межі для запиту на обсяг фінансування – до 300,0 тис. грн.

Таким чином, аналізуючи дані за 2016–2019 рр., можна зазначити, що лише жителі міст Вінниці і Черкас подавали проєктних ініціатив за категорією «великі» більше, ніж за категорією «малі». Із жителями таких міст як Дніпро, Львів, Кривий Ріг, Кропивницький і Полтава спостерігаємо протилежну ситуацію. Стосовно інших міст окреслена ситуація не була однозначно визначеною в часі, змінюючись від одного конкурсу до іншого. В м. Тернополі на 2-х, із 4-х розглянутих, конкурсах кількість запитів на фінансування за категоріями «малі» і «великі» проєкти ГУ була однаковою.

Мета статті – розробити метод ситуаційного структурування портфеля проєктів ГУ, який дозволяє диференціювати ситуації щодо управління портфелем проєктів ГУ за умовами виокремлення категорій проєктів ГУ за тематичними спрямуваннями і запитами на обсяг фінансування на засадах підпортфелів або підрозділів у складі портфеля проєктів ГУ.

Об’єкт дослідження – процес управління проєктами ГУ.

Предмет дослідження – методи, моделі, механізми і стандарти формування портфеля проєктів, розглядувані в контексті формування портфеля проєктів ГУ.

Виклад основного матеріалу дослідження. Завдання раціонального структурування портфеля проєктів ГУ, як виокремлення категорій проєктів ГУ на умовах підпортфелів або підрозділів, має самостійне значення в рамках концепції формування портфеля проєктів ГУ [7]. Умови постановки і вирішення даного завдання можуть мати кілька аспектів. Насамперед, це створення засад до стратегічно-орієнтованого структурування портфеля проєктів ГУ. Відповідно даному аспектові, розглядаючи портфелі проєктів, у тому числі, і проєктів ГУ, територіальних громад за засіб реалізації, а, за певних умов, і формування стратегії територіальної громади, рівень вагових коефіцієнтів при розподілі ГБ можна встановлювати як такий, що стимулює, насамперед, розвиток певних тематичних спрямувань. Водночас, дані тематичні спрямування розглядаються за такі, що або відповідають вже визначеним для територіальної громади стратегічним напрямкам розвитку, або знаходяться у витоках нових. Тобто, це може бути або «посилення» визнаних за особливо важливі для територіальної громади стратегічних напрямків розвитку, або «посилення» стратегічних напрямків,

які «не добирають» коштів для свого розвитку за «звичайним» бюджетом територіальної громади, або вишукування нових перспективних напрямів стратегічного розвитку територіальної громади, орієнтованих на виявлення і задоволення потреб мешканців цієї громади. В останньому випадку проекти ГУ за окремими тематичними спрямуваннями можуть розглядатися за такі, що носять, до певної міри, характер експериментів, а вагові коефіцієнти при розподілі ГБ між тематичними спрямуваннями встановлюватися ситуаційно. Наприклад, пропорційно або до кількості поданих запитів за окремими тематичними спрямуваннями, або до кількості голосів, які набрали разом проекти ГУ відповідних тематичних спрямувань на підтримку вже за результатами голосування. Очевидно, що, слідуючи за визначенням портфеля (підпортфеля), виокремлення бюджетів за тематичними спрямуваннями дозволяє розглядати останні вже не як підрозділи портфеля ГБ, а як підпортфелі. Відповідно, якщо виокремлювані тематичні спрямування будуть виступати як підпортфелі, то моделі структури портфеля проектів ГУ, наведені на рис. 1 і 2, можуть бути трансформовані в моделі, які представлено на рис. 3–5 [17]. Дані структурні моделі портфеля проектів ГУ, можуть бути використані в умовах встановлення вагових коефіцієнтів для бюджетів тематичних спрямувань, якщо останні будуть виступати за підпортфелі. При цьому передбачається можливість застосування методу аналізу ієрархій [17].

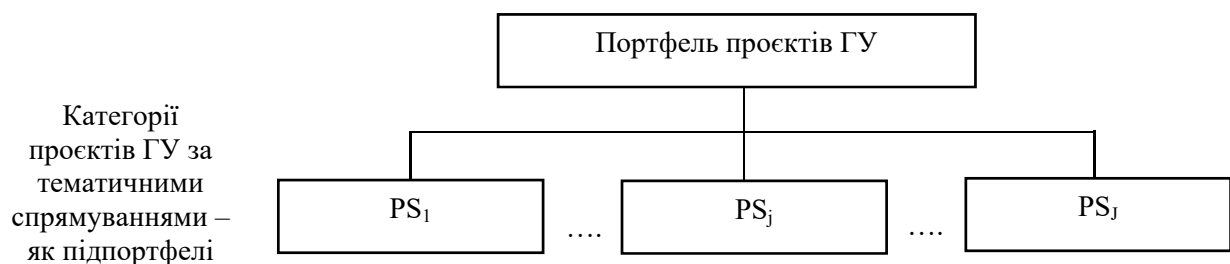


Рисунок 3 – Модель структури портфеля проектів ГУ: категорії проектів ГУ за тематичними спрямуваннями виступають як під портфелі
 Figure 3 – Model of the structure of the portfolio of PP projects: categories of PP projects according to thematic areas, they act as portfolios

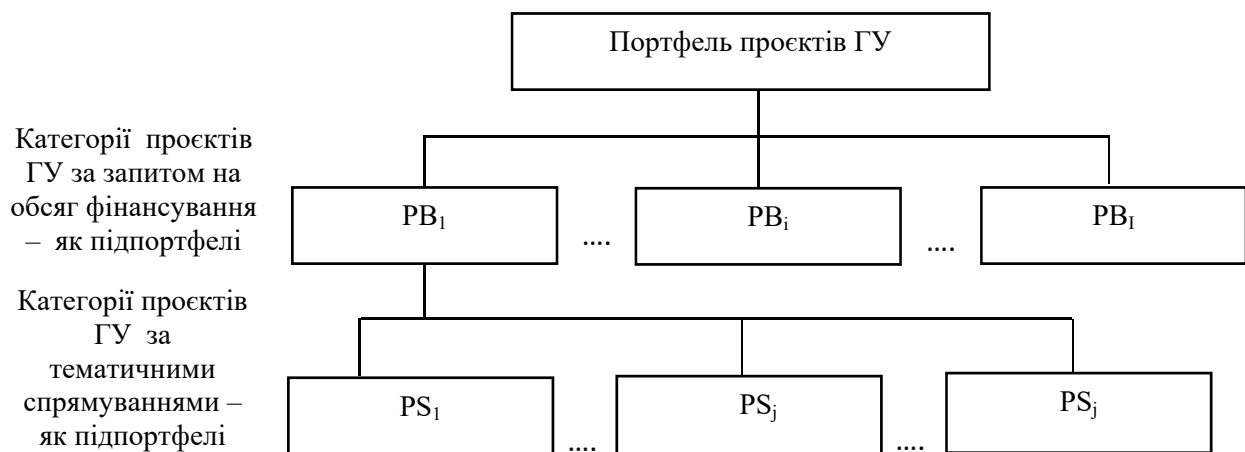


Рисунок 4 – Модель структури портфеля проектів ГУ: категорії проектів ГУ за запитом на обсяг фінансування виступають як підпортфелі; категорії проектів ГУ за тематичними спрямуваннями виступають як підпортфелі підпортфелів, виокремлюваних за запитом на обсяг фінансування
 Figure 4 – The model of the structure of the portfolio of PP projects: categories of PP projects appear as sub-portfolios upon request for the amount of funding; categories of PP projects by thematic directions act as sub-portfolios of sub-portfolios, separated according to the request for the amount of funding

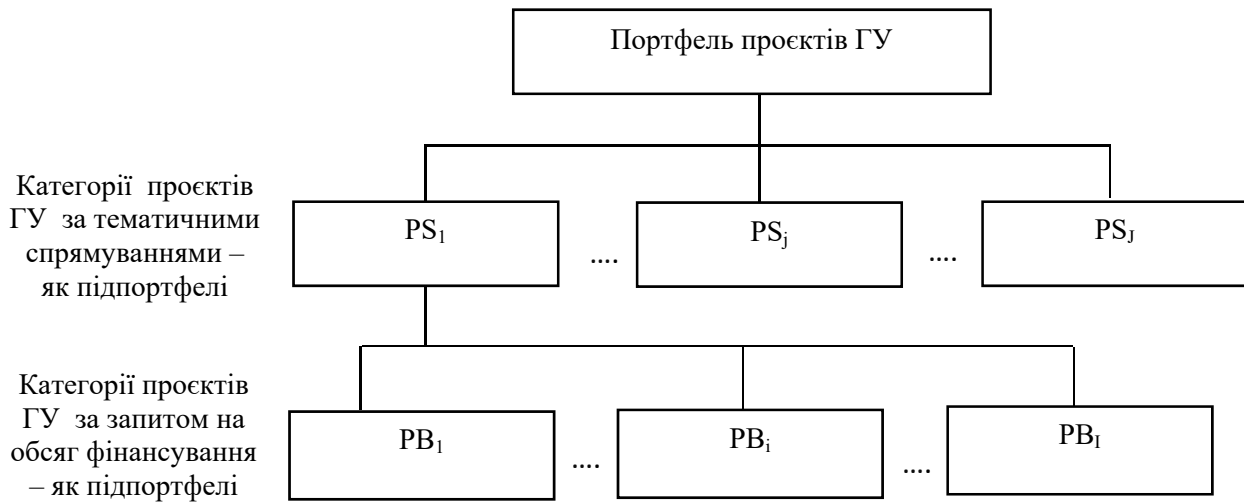


Рисунок 5 – Модель структури портфеля проєктів ГУ: категорії проєктів ГУ за тематичними спрямуваннями виступають як підпортфелі; категорії проєктів ГУ за запитом на обсяг фінансування виступають як підпортфелі підпортфелів, виокремлюваних за запитом на обсяг фінансування

Figure 5 – Model of the structure of the portfolio of PP projects: categories of PP projects according to thematic directions act as sub-portfolios; PP project categories according to the request for the amount of financing act as sub-portfolios of the sub-portfolios separated according to the request for the amount of financing

В межах стратегічно-орієнтованого структурування портфеля проєктів ГУ зацентруємо увагу на умовах підвищення ефективності реалізації відібраних проєктів ГУ. Таке підвищення ефективності може мати місце, насамперед, завдяки можливості при реалізації проєктів ГУ централізації закупівель однотипних ресурсів ззовні за певною сукупністю проєктів ГУ і/або реалізації проєктів ГУ разом із іншими проєктами територіальної громади на спільному пулі ресурсів, які є власними для громади, – людські ресурси, виробничі потужності тощо. В обох цих випадках можна очікувати на додатний ефект від синергії.

В якості механізму досягнення такої синергії може виступати об'єднання проєктів ГУ в умовах їх реалізації в портфелі. Разом із тим, це можуть бути як ті самі портфелі проєктів ГУ, в складі яких останні рекомендувались до виконання, тобто, формувались. І це можуть бути нові портфелі, до яких проєкти ГУ увійдуть лише при реалізації. За приклад, який ілюструє перший випадок, можна навести проєкти ГУ, які реалізовувались у 2020 р. в м. Києві за тематичним спрямуванням «Освіта». Ми можемо бачити там значну кількість запитів на фінансування в однаковому обсязі грошових коштів однотипних проєктів ГУ для різних шкіл із встановлення звукового та мультимедійного обладнання. За приклад, який ілюструє другий випадок, можуть виступати проєкти ГУ за тематичним спрямуванням «Дороги, транспорт». Реалізація багатьох із проєктів ГУ даного тематичного спрямування вимагає залучення людських ресурсів, виробничих потужностей тощо, які задіяні в транспортно-дорожньому комплексі міста. Зокрема, при виконанні проєктів, які реалізуються в рамках відповідних видатків бюджету територіальної громади за функціями, або елементами, – «Транспорт» чи «Капітальне будівництво». При цьому має передбачатися формування календарно-ресурсних планів робіт за проєктами з урахуванням обмеженості відповідних ресурсів. Тобто, в другому випадку, проєкти ГУ тематичного спрямування «Дороги, транспорт» – всі або частково – можуть розглядатися в складі, принаймні, двох портфелів. Це портфель проєктів ГУ, який формується в умовах прийняття проєктів ГУ до реалізації, і це портфель проєктів, який об'єднує дані проєкти ГУ зі «звичайними» проєктами, які реалізуються в рамках загального бюджету територіальної громади за відповідними видатками останнього. Водночас, у цьому, другому, випадку проєкти ГУ тематичного спрямування «Дороги, транспорт» можуть одночасно залишатися і в портфелі проєктів ГУ, за яким зберігається, повністю або частково, функція моніторингу і контролю щодо реалізації зазначених проєктів ГУ.

Виходячи з вищевикладеного, можна рекомендувати виокремлювати тематичні спрямування за проєктами ГУ узгоджуючись із переліком і змістом тематичних спрямувань щодо видатків бюджетів територіальних громад. Наприклад, протягом багатьох років, видатки бюджету м. Києва виокремлюються за такими функціональними сферами як: освіта; транспорт і дорожнє господарство;

охорона здоров'я; соціальний захист; житлово-комунальне господарство; культура і мистецтво; фізкультура і спорт; будівництво. Мають місце й інші видатки, зміст яких, у певній частині, варіює за роками. При цьому, за умовами запровадження портфельно-орієнтованого механізму реалізації стратегії територіальної громади, передбачається, що всі проекти територіальної громади складають портфель, а проекти за сферами видатків, які виокремлюються в бюджеті громади, як і власне ГБ, це підпортфелі в загальному портфелі проектів територіальної громади.

Результати дослідження, проведеного з використанням статистичної методології на базі даних проектів ГУ, які було реалізовано в м. Києві в 2017 – 2021 рр., показали, що вид критерію, на основі значень якого приймається рішення стосовно рекомендації проектів ГУ до реалізації, може ситуаційно значуще впливати на характеристики сукупності обираємих до реалізації проектів ГУ. При використанні в якості критерію показника кількості голосів на підтримку спостерігалось збільшення середнього значення величини запиту на обсяг фінансування за проектами ГУ, прийнятими до реалізації, порівняно до проектів ГУ, допущених до голосування, за більшістю тематичних спрямувань. При використанні альтернативного критерію, за який виступав показник відношення кількості голосів на підтримку до запиту на обсяг фінансування, для більшості тематичних спрямувань маємо відмінні наслідки – середнє значення величини запиту на обсяг фінансування за проектами ГУ, прийнятими до реалізації, було меншим від середнього значення величини запиту на обсяг фінансування за проектами ГУ, допущеними до голосування [6].

Можна зробити припущення, що простежувані зміни в середньому значенні величини запиту на обсяг фінансування за проектами ГУ при одночасній незначній зміні у значеннях відповідного коефіцієнта варіації відбувалися, насамперед, за рахунок збільшення в сукупності проектів ГУ, прийнятих до реалізації, частки тих, які мали відносно більший або менший, залежно від використовуваного критерію, запит на обсяг фінансування. За існування обмеження на бюджет ГУ за обставин використання в якості критерію показника кількості голосів на підтримку маємо збільшення частки відмов у прийнятті проектів ГУ до реалізації і, відповідно, зменшення частки проектів ГУ прийнятих до реалізації, якщо співставляти з умовами використання в якості критерію показника відношення кількості голосів на підтримку до запиту на обсяг фінансування. Таким чином, можна очікувати, що проекти ГУ, які мають більший запит на обсяг фінансування, матимуть відносно більшу ймовірність бути рекомендованими до реалізації, якщо за критерій виступатиме показник кількості голосів на підтримку. Разом із тим, коли за критерій виступатиме відношення кількості голосів на підтримку до запиту на обсяг фінансування, то можна очікувати, що проекти ГУ, які мають більший запит на обсяг фінансування, матимуть відносно меншу ймовірність бути рекомендованими до реалізації.

В розвиток вищезазначеного можна припускати наступне. Якщо за проектами ГУ, відібраними до реалізації, разом або за окремими тематичними спрямуваннями, в умовах застосування певного критерію для оцінювання, відбору і пріоритизації проектів портфеля ГУ простежується статистично значуща залежність між кількістю голосів, які отримали проекти ГУ на підтримку, від запиту за проектами ГУ на обсяг фінансування, – пряма чи обернена, то для уникнення такої ситуації, якщо вона розглядається як проблема, портфель проектів ГУ має бути поділено за категоріями, як підпортфелями, щодо зазначеного запиту. Наприклад, введено категорії «малі» та «великі».

Методичні засади до проведення аналізу залежності між кількістю голосів, які отримали проекти ГУ на підтримку, від запиту за проектами ГУ на обсяг фінансування за прийнятого виду критерію для оцінювання, відбору і пріоритизації проектів ГУ розглянуто в наступній роботі авторів [18].

Можна також припускати, що якщо проекти ГУ відмінних тематичних спрямувань значуще різняться між собою за запитом на обсяг фінансування, відповідно до природи свого тематичного спрямування, то умови сумісного оцінювання, відбору і пріоритизації в рамках єдиного портфеля проектів ГУ різних тематичних спрямувань можуть привести, залежно від обраного критерію, до надання переваг проектам ГУ тематичних спрямувань з відносно більшим, або, навпаки, меншим, запитом на обсяг фінансування. Тобто, до, свого роду, прихованої «дискримінації» або, навпаки, «преференції» щодо проектів ГУ певних тематичних спрямувань. Така ситуація може виникнути, коли напочатку не передбачається розділення ГБ за тематичними спрямуваннями.

Таким чином, залежно від ситуації, яка складається щодо наявності значущої відмінності проектів ГУ виокремлюваних тематичних спрямувань за запитом на обсяг фінансування, а також умов інтерпретації даної ситуації як проблеми, бюджет ГУ може бути розділений за виокремлюваними тематичними спрямуваннями – коли дана відмінність є значущою, або збережений як єдиний – коли дана відмінність значущою не є. При цьому має бути коректно обрано метод для перевірки такої значущості.

Методичні засади до аналізу відмінностей між проектами ГУ виокремлюваних тематичних спрямувань розглянуті в наступних роботах авторів [19, 20].

Очевидно, що, за даних обставин, також має перевірятися чи є значущою залежність між кількістю голосів, які отримали проекти ГУ на підтримку, від запиту за проектами ГУ на обсяг фінансування за прийнятого виду критерію для оцінювання, відбору і пріоритизації проектів ГУ. Виявлення такої залежності також є підставою до розділення проектів ГУ підпортфелів тематичних спрямувань на категорії «малі» та «великі».

Виходячи з вищевикладеного, можемо дійти висновку, що пропонований ситуаційний метод структурування сукупності проектів ГУ як портфеля є гнучким і адаптивним – у розумінні створення умов до виявлення і врахування в процесах управління портфелем проектів ГУ характеристик проектів ГУ, за якими надходять запити від жителів територіальної громади, з одного боку, і проведення певної політики щодо пріоритетів в сфері ГБ, із іншого.

Концептуальні засади методу ситуаційного структурування портфеля проектів ГУ можна представити у вигляді узагальнюючих схем, які наводяться на рис. 6 і 7. Дані схеми відповідають двом відмінним підходам. За першим із цих підходів передбачається попереднє стратегічно-орієнтоване структурування портфеля проектів ГУ за тематичними спрямуваннями. За другим підходом портфель проектів ГУ структурується за тематичними спрямуваннями ситуаційно, виходячи із отримуваних даних щодо характеристик проектів ГУ, запити за якими подаються, і/або проектів ГУ, які приймаються до реалізації.

Висновки з проведеного дослідження та перспективи подальших розвідок за даним напрямом. В умовах постановки і вирішення завдання раціонального структурування портфеля проектів ГУ запропоновано метод ситуаційного структурування портфеля проектів ГУ. В рамках методу ситуаційного структурування портфеля проектів ГУ маємо два відмінні підходи. За першим із цих підходів передбачається попереднє стратегічно-орієнтоване структурування портфеля проектів ГУ за тематичними спрямуваннями. При виокремленні тематичних спрямувань у якості підпортфелів за портфелем проектів ГУ ієрархічної структурної будови передбачається встановлення значень вагових коефіцієнтів за умовами розподілу ГБ між підпортфелями тематичних спрямувань. Значення вагових коефіцієнтів при розподілі ГБ можна приймати на рівні, що сприяє розвитку наперед визначених тематичних спрямувань у контексті реалізації стратегії територіальної громади. За варіанти даного розвитку можуть виступати: «посилення» тематичних спрямувань, які визнані за стратегічно особливо важливі для територіальної громади; «посилення» тематичних спрямувань, які мають дефіцит коштів для свого розвитку в межах «звичайного» бюджету територіальної громади; вишукування нових перспективних напрямів стратегічного розвитку територіальної громади, орієнтованих на виявлення і задоволення потреб мешканців цієї громади. В останньому випадку проекти ГУ за окремими тематичними спрямуваннями можуть розглядатися за такі, що носять характер експериментів, а вагові коефіцієнти при розподілі ГБ між тематичними спрямуваннями встановлюватися ситуаційно. Зазначене створює передумови до можливості розглядати портфель проектів ГУ територіальної громади в якості засобу реалізації, а, за певних умов, і формування стратегії територіальної громади. В межах другого підходу за методом ситуаційного структурування портфеля проектів ГУ структурування відбувається за тематичними спрямуваннями ситуаційно, виходячи із отримуваних даних щодо характеристик проектів ГУ, запити за якими подаються, і/або проектів ГУ, які прийняті до реалізації.

Запропоновано виокремлювати тематичні спрямування як підпортфелі за портфелем проектів ГУ на засадах відповідності переліку та змісту тематичних спрямувань видатків загального бюджету територіальної громади. В умовах такого структурування можна очікувати на додатний ефект синергії при реалізації проектів ГУ. Насамперед, завдяки можливості реалізації проектів ГУ разом із іншими проектами територіальної громади на спільному пулі ресурсів, які є власними для громади, і/або централізації закупівель однотипних ресурсів ззовні. При цьому проекти ГУ певних тематичних спрямувань можуть розглядатися в складі, принаймні, двох підпортфелів – того, який формується в умовах прийняття проектів ГУ до реалізації, і того, який об'єднує дані проекти ГУ з проектами загального бюджету територіальної громади за відповідними видатками останнього в умовах власне реалізації.

Умовами будови пропонованого методу ситуаційного структурування портфеля проектів ГУ передбачається використання методичних рекомендацій щодо: аналізу залежності між кількістю голосів, які отримали проекти ГУ на підтримку, від запиту за ними на обсяг фінансування; аналізу відмінностей між проектами ГУ виокремлюваних тематичних спрямувань за запитом на обсяг фінансування.

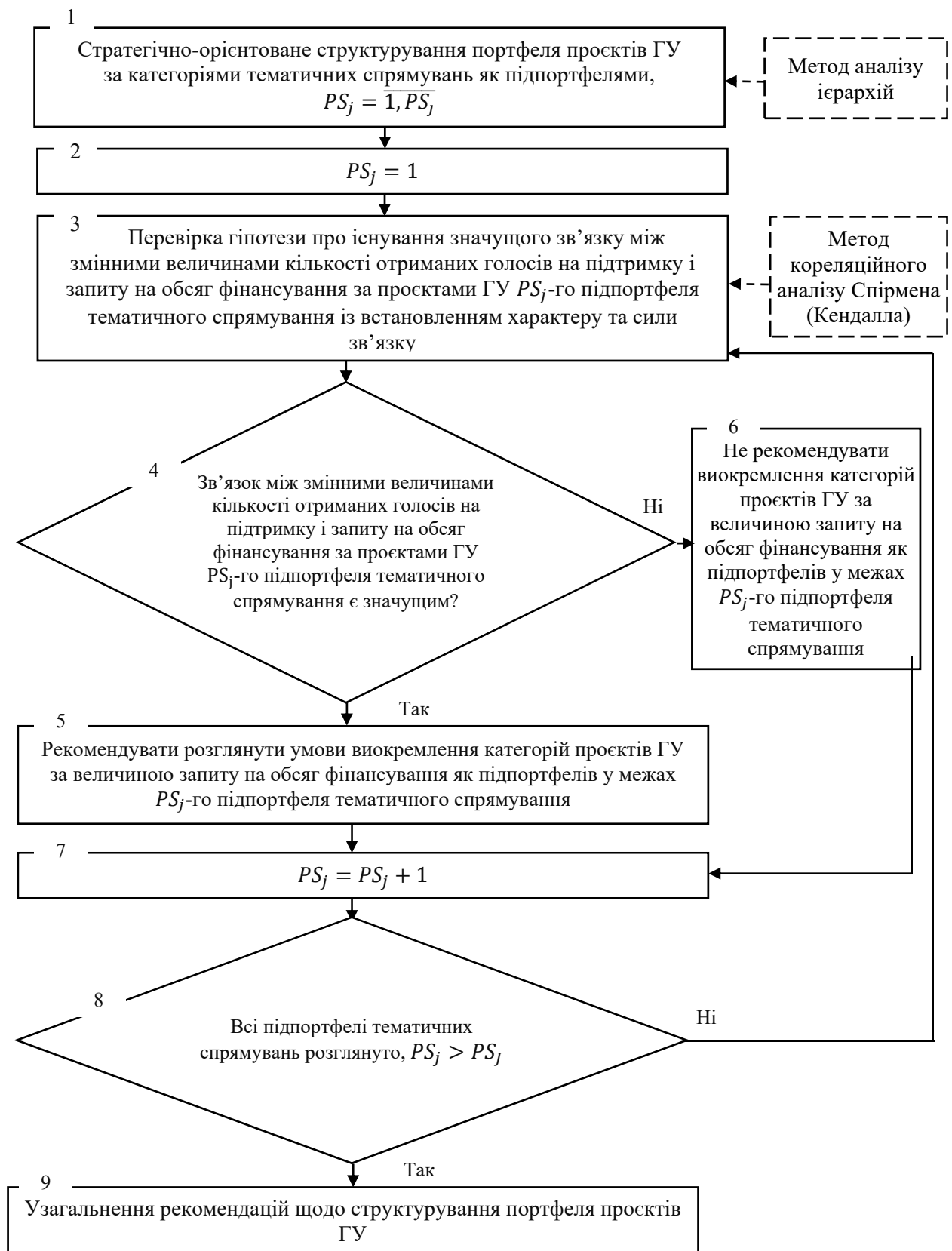


Рисунок 6 – Схема методу ситуаційного структурування портфеля проєктів ГУ за підходом стратегічно-орієнтованого структурування портфеля проєктів ГУ за категоріями тематичних спрямувань як підпортфелями

Figure 6 – Scheme of the method of situational structuring of the portfolio of PP projects according to the approach of strategic-oriented structuring of the portfolio of PP projects by categories of thematic directions as sub-portfolios

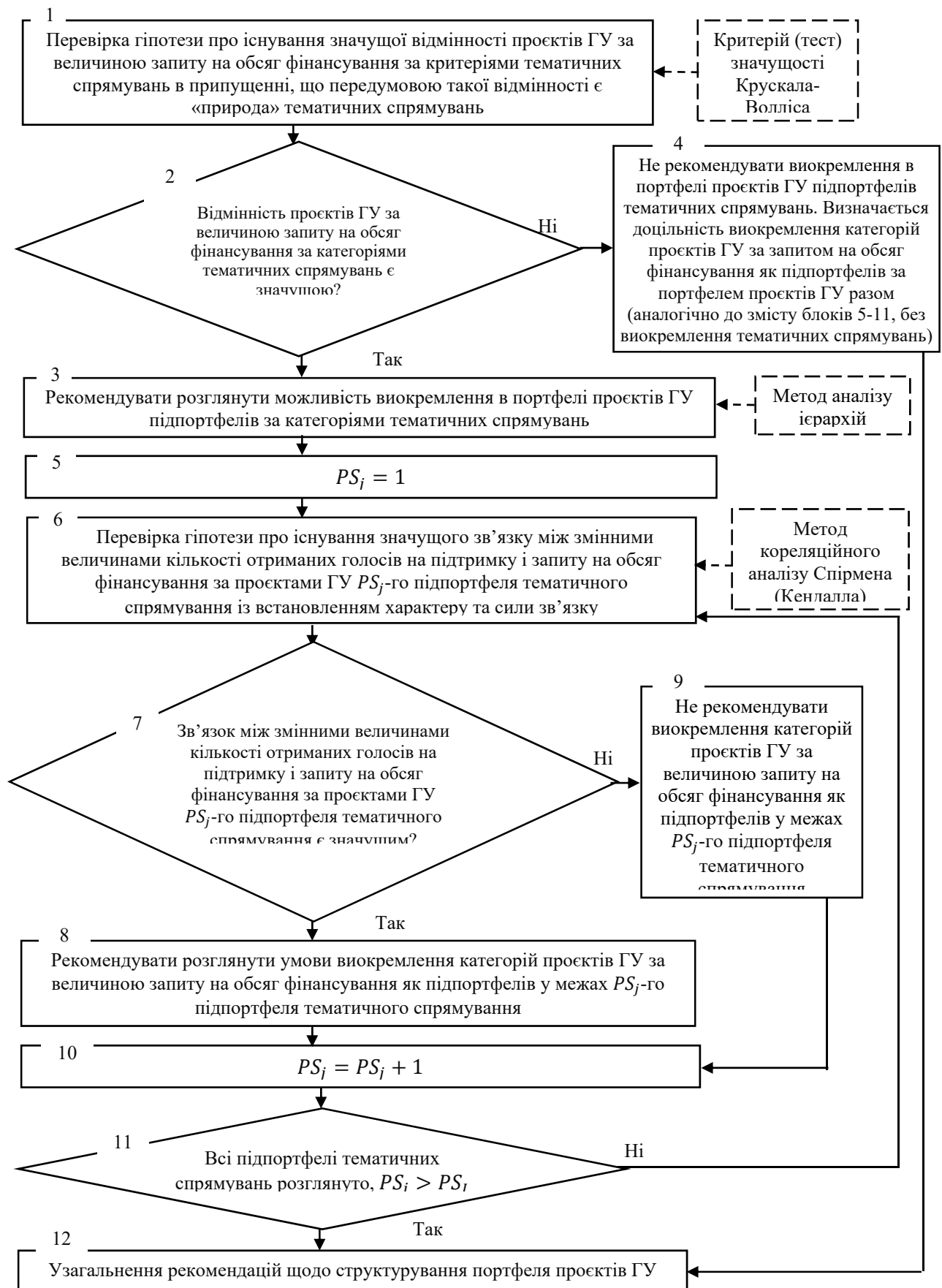


Рисунок 7 – Схема методу ситуаційного структурування портфеля проєктів ГУ за підходом ситуаційного структурування портфеля проєктів ГУ за тематичними спрямуваннями
 Figure 7 – Scheme of the method of situational structuring of the portfolio of PP projects according to the approach of situational structuring of the portfolio of PP projects by thematic directions

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Маляревський Є., Бараннік В. Громадські бюджети як перспективний інструмент розвитку громад і територій: аналітична записка. НІСД, ЦРД. Київ, 2022. Режим доступу: <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2021-11/hromadski-budzhety.pdf>.
2. Донос Л., Плоский К. Упровадження та вдосконалення Громадського бюджету: практичні рекомендації. URL: https://decentralization.gov.ua/uploads/library/file/485/Public_Budget_2019.pdf
3. Хуткий Д., Аврамченко К. Оцінка впливу бюджету участі в Україні. URL: https://www.researchgate.net/publication/337783487_Ocinka_vplivu_budzetu_ucasti_v_Ukraini
4. Сибірська Ю., Венцель В., Слободян Р. Результати запровадження та реалізації бюджету участі в об'єднаних територіальних громадах у 2019 році. URL: <https://decentralization.gov.ua/uploads/library/file/581/Participatorybudget.pdf>
5. EGAP: Дослідження розвитку інструменту “Громадський бюджет” у містах України. Аналітичний звіт. 2020 р.
6. 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.
7. Божок Ю.О. Концепція формування портфеля проєктів громадської участі. Мультидисциплінарний міжнародний журнал «Věda a perspektivy». Міжнародний економічний інститут (Чехія). №9 (28). 2023. С. 424-447. URL: [https://doi.org/10.52058/2695-1592-2023-9\(28\)](https://doi.org/10.52058/2695-1592-2023-9(28))
8. Воркут Т.А., Білоног О.Є., Дмитриченко А.М., Петунін А.В., Срібна Н.В., Третиниченко Ю.О.. Портфельно-орієнтоване управління в організаційних мережах. Монографія. – Київ: Міленіум, 2021. – 223 с.
9. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – First Edition, Project Management Institute Inc, 2006, 79 p.
10. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Second Edition, Project Management Institute Inc, 2008, 146 p.
11. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Third Edition, Project Management Institute Inc, 2013, 121 p.
12. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Fourth Edition, Project Management Institute Inc, 2017, 140 p.
13. Рішення Київської міської ради “Про затвердження Положення про громадський бюджет міста Києва” від 22 грудня 2016 року із змінами і доповненнями. Режим доступу: <https://kmr.gov.ua/uk/provisions-public-budget>.
14. Громадський бюджет Києва. Дані по проєктам за 2020 рік. Режим доступу: <https://wiki-projects.kyivcity.gov.ua/pages/viewpage.action?pageId=28180652#tab-2020>
15. Платформа була запущена влітку 2016 р. за допомоги USAID. З 2018 р. компанія SocialBoost почала переводити «Громадський проєкт» на комерційну модель URL: <https://pb.org.ua/>. Станом на 2021 р. платформою користуються понад 90 міст та територіальних громад. URL: <https://hmarochos.kiev.ua/2019/05/03/yak-gromadskyj-byudzheth-stav-komertsijnym-proektom-i-yaki-mista-za-nogoplatyat/>
16. Платформа була запущена в 2018 р. за допомоги Фонду Східна Європа та Державним агентством з питань електронного урядування України (нині – Міністерство цифрової трансформації України) в межах Програми «Електронне урядування задля підзвітності влади та участі громади» (EGAP), що фінансується Швейцарською агенцією розвитку та співробітництва. Станом на червень 2021 р. платформою користуються понад 245 територіальних громад. URL: <https://budget.e-dem.ua/>
17. Воркут Т.А., Божок Ю.О., Харута В.С. Методологічні аспекти формування сукупності проєктів громадської участі як портфеля проєктів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: науковий журнал*. Вип. 113. Частина II. Київ. 2023. С. 225-234. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/113.2/225.pdf
18. Воркут Т.А., Божок Ю.О., Патрашко М.О., Петунін А.В., Срібна Н.В., Харута В.С. Критерії формування портфелів громадської участі. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. Науковий журнал. К. : НТУ. 2023. Вип. 1 (55). С. 31-41. URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/55/031.pdf>
19. Воркут Т.А., Божок Ю.О., Луцай Ю.В., Петунін А.В., Харута В.С. Структури портфелів проєктів громадської участі. *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. Науковий журнал. К. : НТУ. 2022. Вип. 3 (53). С. 82-94. URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/53/082_094.pdf

20. Воркут Т.А., Божок Ю.О., Петунін А.В., Харута В.С., Шпильовий І.Ф. Управління проектами громадської участі в сфері транспорту і ремонту та будівництва доріг. *Науково-технічний збірник "Автомобільні дороги і дорожнє будівництво"*. Випуск 112, 2022. С. 232-240. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/112/232-240.pdf

REFERENCES

1. Maliarevskiy Ye., Barannik V. (2022) Public Budgets as a Promising Tool for the Development of Communities and Territories: an Analytical Note. NISD, CDR. Kyiv. Retrieved from <https://niss.gov.ua/sites/default/files/2021-11/hromadski-budzhety.pdf>.
2. Donos L., Ploskyi K. Uprovadzhennia ta vdoskonalennia Hromadskoho biudzhetu: praktychni rekomendatsii [Implementation and Improvement of the Public Budget: Practical Recommendations]. Retrieved from https://decentralization.gov.ua/uploads/library/file/485/Public_Budget_2019.pdf
3. Khutkyi D., Avramchenko K. Assessment of the Impact of the Participation Budget in Ukraine. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/337783487>
4. Sybirska Yu., Ventsel V., Slobodian R. Results of the Introduction and Implementation of the Participation Budget in the United Territorial Communities in 2019. Retrieved from <https://decentralization.gov.ua/uploads/library/file/581/Participatorybudget.pdf>
5. EGAP: Doslidzhennia rozvytku instrumentu "Hromadskyi biudzhety" u mistakh Ukrainy. Analichnyi zvit (2020) [EGAP: Research on the Development of the "Public Budget" Tool in Ukrainian Cities. Analytical Report]. Retrieved from <http://sg.vn.ua/wp-content/uploads/2021/01/Gromadskyj-byudzhety.pdf>
6. 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.
7. Bozhok Y.O. The concept of forming a portfolio of public participation projects. Multidisciplinary international journal. «Věda a perspektivy». International Economic Institute (Czech Republic). №9 (28). 2023. Pp. 424-447. URL: [https://doi.org/10.52058/2695-1592-2023-9\(28\)](https://doi.org/10.52058/2695-1592-2023-9(28))
8. Vorkut T.A., Bilonoh O.Ye., Dmytrychenko A.M., Petunin A.V., Sribna N.V., Tretynychenko Yu.O. (2021) Portfolio Management in Organizational Networks. Monograph – Kyiv: Milenium, 223 p.
9. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – First Edition, Project Management Institute Inc, 2006, 79 p.
10. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Second Edition, Project Management Institute Inc, 2008, 146 p.
11. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Third Edition, Project Management Institute Inc, 2013, 121 p.
12. Project Management Institute, Standard for Portfolio Management – Fourth Edition, Project Management Institute Inc, 2017, 140 p.
13. 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>.
14. 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>.
15. The Platform was Launched in the Summer of 2016 with the Help of USAID. Since 2018, the SocialBoost Company has Begun to Transfer the "Public Project" to a Commercial URL: <https://pb.org.ua/>. As of 2021, More than 90 Cities and Territorial Communities Use the Platform. Retrieved from <https://hmarochos.kiev.ua/2019/05/03/yak-gromadskyj-byudzhety-stav-komertsijnym-proektom-i-yaki-mista-za-nogoplatyat/>
16. The Platform was Launched in 2018 with the Help of the Eastern Europe Foundation and the State Agency for e-Governance of Ukraine (now the Ministry of Digital Transformation of Ukraine) within the Framework of the "E-Governance for Government Accountability and Community Participation" Program (EGAP) funded by the Swiss Development Agency and cooperation. As of June 2021, more than 245 Territorial Communities use the Platform. Retrieved from <https://budget.e-dem.ua/>.
17. Vorkut T.A., Bozhok Y.O., Kharuta V.S. Methodological aspects of forming a set of public participation projects as a portfolio of projects. *Motor roads and road construction: scientific journal. Vol. 113. Part II. Kyiv. 2023. Pp. 225-234.* Retrieved from http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/113.2/225.pdf

18. 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. *Bulletin of the National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal.* K.: NTU. 2023. Issue 1 (55). Pp. 31-41. URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/55/031.pdf>

19. Vorkut T.A., Bozhok Y.O., Luschai Y.V., Petunin A.V., Kharuta V.S. Structures of portfolios of public participation projects. *Bulletin of the National Transport University. Series «Technical Sciences». Scientific journal.* K.: NTU. 2022. Issue 3 (53). Pp. 82-94. URL: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/53/082_094.pdf

20. Vorkut T.A., Bozhok Y.O., Petunin A.V., Kharuta V.S., Shpylovy I.F. Management of public participation projects in the field of transport and road repair and construction. *Scientific and technical collection «Roads and road construction».* Issue 112, 2022. Pp. 232-240. URL: http://publications.ntu.edu.ua/avtodorogi_i_stroitelstvo/112/232-240.pdf

РЕФЕРАТ

Воркут Т.А. Метод ситуаційного структурування портфеля проєктів громадської участі / Т.А. Воркут, Ю.О. Божок, А.В. Петунін, В.С. Харута // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

Актуальність теми дослідження зумовлена, з одного боку, поширенням ініціативи громадських бюджетів у територіальних громадах міст України в умовах децентралізації, а з іншого – наявністю наукових прогалин у сфері управління проєктами громадської участі. Зокрема, в частині браку методологічного забезпечення умов виокремлення підрозділів і/або портфелів у складі сукупності проєктів громадської участі, розглядуваної за портфель проєктів. За актуальне науково-прикладне завдання виступає розроблення моделей і методів раціонального структурування сукупності проєктів громадської участі, розглядуваної за портфель проєктів за умовами виокремлення підрозділів і/або підпортфелів.

Мета дослідження – розробити метод ситуаційного структурування портфеля проєктів громадської участі, який дозволяє диференціювати ситуації щодо управління портфелем проєктів громадської участі за умовами виокремлення категорій проєктів громадської участі за тематичними спрямуваннями і запитами на обсяг фінансування на засадах підпортфелів або підрозділів у складі портфеля проєктів громадської участі.

Завдання дослідження: 1) за прикладами практики управління проєктами громадської участі в територіальних громадах міст України провести аналіз проблематики структурування сукупностей проєктів громадської участі як портфелів проєктів громадської участі у взаємозв'язку з аналізом методологічних підходів до формування портфеля проєктів; 2) розробити метод ситуаційного структурування портфеля проєктів громадської участі.

Методика дослідження. При вирішенні першого завдання було використано методи наукової ідентифікації, зіставно-порівняльного аналізу, а також збору, аналізу і систематизації статистичних даних; при вирішенні другого завдання – концепція ситуаційного управління, метод аналізу ієрархій, методи кореляційного аналізу Спірмена і Кендалла, критерій (тест) значущості Крускала-Волліса.

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

ABSTRACT

Vorkut T.A., Bozhok Y.O., Petunin A.V., Kharuta V.S. Method of situational structuring of public participation projects. *Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal.* – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

The relevance of the research topic is due, on the one hand, to the spread of the initiative of public budgets in the territorial communities of the cities of Ukraine in conditions of decentralization, and on the other hand to the presence of scientific gaps in the field of public participation project management. In particular, in terms of the lack of methodological support for the conditions for the separation of subdivisions and/or portfolios as part of the totality of public participation projects considered for the portfolio of projects. An actual scientific and applied task is the development of models and methods of rational structuring of a set of public participation projects, considered as a portfolio of projects under the conditions of separation of subdivisions and/or sub-portfolios.

The purpose of the study is to develop a method of situational structuring of a portfolio of public participation projects, which allows for differentiation of situations regarding the management of a portfolio

of public participation projects under the conditions of distinguishing categories of public participation projects by thematic direction and requests for the amount of funding on the basis of sub-portfolios or subdivisions in the portfolio of public participation projects.

The task of the research: 1) based on examples of the practice of managing public participation projects in the territorial communities of Ukrainian cities, conduct an analysis of the problems of structuring aggregates of public participation projects as a portfolio in public participation projects in connection with the analysis of methodological approaches to the formation of a portfolio of projects; 2) develop a method of situational structuring of a portfolio of public participation projects.

Research methodology. When solving the first task, methods of scientific identification, comparative analysis, as well as collection, analysis and systematization of statistical data were used; when solving the second task - the concept of situational management, the method of analyzing hierarchies, the methods of correlation analysis of Spearman and Kendall, the Kruskal-Wallis significance criteria (test).

KEY WORDS: PROJECT, PORTFOLIO OF PROJECTS, 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

Петунін Андрій Володимирович, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри транспортного права та логістики, e-mail: petunin.andrew@gmail.com, тел. (093) 602-05-10, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 433а, orcid.org/0000-0002-8072-6842

Харута Віталій Сергійович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри транспортного права та логістики, Національний транспортний університет, e-mail: kharuta_vitaliy@ukr.net, тел.: (044) 254-43-26, 01010, Україна, Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, оф. 439, orcid.org/0000-0002-8897-7558.

AUTHORS:

Tetiana A. Vorkut, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Professor at the Department of Transport Law and Logistics, e-mail: vorkutt@ukr.net, tel. (044) 2544326, Ukraine, Kyiv 01010, 1 Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka Str., office 439, orcid.org/0000-0003-0354-476X

Yulia O. Bozhok, National Transport University, Senior Lecturer at the Department of Transport Law and Logistics, e-mail: bozhok2008@bigmir.net, tel. (044) 2544326, Ukraine, Kyiv 01010, 1 Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka Str., office 439, orcid.org/0000-0002-0404-0961

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

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.

ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ПОВЕРХНЕВИХ ХВИЛЬ З ПРОНИКНИМИ ХВИЛЕЛОМАМИ

Воскобійник В.А. доктор технічних наук, Інститут гідромеханіки НАН України, vlad.vsk@gmail.com, orcid.org 0000-0003-2161-6923

Онищенко А.М., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1040-4530

Чижченко Н.П., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, chyzhenko_np@ukr.net, orcid.org/ 0000-0002-9152-2474

Клименко М.І., Національний транспортний університет, Київ, Україна, mykola.iv.klymenko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-7967-5881

Мошківський Р.В., Національний транспортний університет, Київ, Україна, moshkjoma@gmail.com, orcid.org/0009-0004-9471-4238

PHYSICAL SIMULATION OF THE INTERACTION OF SURFACE WAVES WITH PENETRATING BREAKS

Voskoboynikov V.A., Doctor of Technical Sciences, Institute of Hydromechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine Kyiv, Ukraine, vlad.vsk@gmail.com, orcid.org 0000-0003-2161-6923

Onyshchenko A.M., Doctor of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1040-4530

Chyzhenko N.P. Candidate of Technical Sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, chyzhenko_np@ukr.net, orcid.org/ 0000-0002-9152-2474

Klymenko M.I., National Transport University, Kyiv, Ukraine, mykola.iv.klymenko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-7967-5881

Moshkivskiy R.V., National Transport University, Kyiv, Ukraine, moshkjoma@gmail.com, orcid.org/0009-0004-9471-4238

Постановка проблеми.

Вітрові хвилі та хвильові течії є основними факторами, які впливають на динаміку берегів і на існування живих організмів та рослинності у прибережній зоні. Інтенсивні хвильові рухи у шельфовій зоні виникають внаслідок трансформації енергії хвиль під час їх взаємодії з берегами і дном водойми. Зведення гідротехнічних споруд в береговій зоні суттєво впливає на хід сформованих природних процесів і нерідко змінює характер динаміки берега, стан прибережних вод та біоценозів. Техногенне втручання викликає порушення кінематичних і динамічних характеристик хвильових і приводить до суттєвих змін у природному функціонуванні берегової зони.

В практиці морського гідротехнічного будівництва все частіше застосовують хвилеломи для захисту рекреаційних пляжів та в цілому берегів від розмиву. Крім того, такі споруди часто застосовують як превентивні і локальні засоби з метою зменшення хвильового навантаження на основний захисний пояс кріплень та прибережної інфраструктури за екстремальних хвильових умов, наприклад, під час дії жорстких штормів або хвиль цунамі.

Хвилеломи застосовують в основному при фронтальному підході хвиль до берега, а найбільш ефективна їх робота спостерігається при постійному горизонті води у водоймі. Переріз хвилелому виконується зазвичай скошеним з пологим напірним і вертикальним береговим укосами. Часто для запобігання розмиву берегової лінії хвилелом з'єднують з берегом траверсами.

Фізичні процеси, що мають місце під час взаємодії хвиль із хвилеломом, належать до категорії складних і являються результатом відбиття, трансформації і дисипації енергії хвиль. Взаємодія хвильового руху з берегозахисною спорудою і трансформація гравітаційних або вітрових хвиль викликають суттєві нелінійні і нестационарні гідродинамічні процеси, які супроводжуються інтенсивними пульсаціями вихрового і струменевого руху. При цьому просторово-часові характеристики гідродинамічних параметрів мають достатньо широкий спектр у частотній та хвильовій області з формуванням тональних компонент, які відповідають субгармонікам і гармонікам вищих порядків до основної гармоніки хвильового поля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

За способами захисту берегів споруди діляться на дві групи: пасивні або активні берегозахисні споруди [1-6]. Пасивні берегозахисні споруди сприймають на себе дію хвиль та

зменшують їх енергію завдяки своїй конструкції. Споруди пасивного способу дії безпосередньо захищають береговий укіс від впливу хвилювання та течії. Вони здійснюють таким чином тільки завдання збереження ділянки берега, який існував до їх зведення. Сюди відносяться поздовжні берегоукріплювальні стінки і споруди укiсного, напiвукiсного i ступеневого типiв, штучнi пляжi, хвiлегасячi берми, а також береговi дамби.

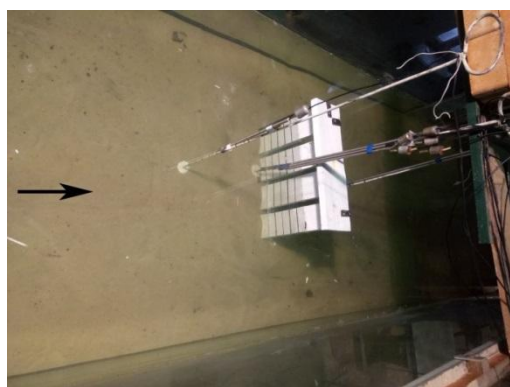
Активнi берегозахиснi споруди зберiгають пляжi або створюють умови для формування пляжiв, зменшуючи енергiю, висоту та перiод штормових хвиль. В значнiй мiрi енергiя хвиль гаситься на пiдходi до берега. Берег змцнюється спорудами, що затримують наноси, в результатi чого перед цiєю дiлянкою берега утворюється захисна смуга пляжу [7, 8]. До числа активних способiв захисту вiдносять поперечнi буни, надводнi i пiдводнi хвилеломи, банкети, пiдводнi рiвчаки, штучнi миси, поздовжнi берегоукріплювальнi хвилерiзи та iнше.

В останні роки у розвитку берегозахисних споруд намітилася тенденція використання проникних конструкцій, перевага яких полягає в поліпшенні екології захищеної акваторії, економії будівельних матеріалів [1, 5]. У проточній воді не накопичується сміття і забезпечується вільна міграція для морських мешканців. Конструкції проникних берегозахисних споруд відрізняються широким розмаїттям. Це можуть бути близько розташовані кругові палі, проникні стінки, що складаються з горизонтальних або вертикальних щілин, розташованих на певній глибині. Критерієм їх ефективності є коефіцієнти пропускання, відбиття та дисипації енергії як регулярних, так і одиночних хвиль [4, 5]. Проектування проникних берегозахисних споруд вимагає розрахунку і експериментального дослідження хвильових і ударних гідродинамічних навантажень на елементи цих споруд. Експериментальні дослідження проводяться в лабораторних і натурних умовах з використанням сучасного високоточного обладнання та засобів обробки і аналізу даних, включаючи статистичні методи теорії ймовірності та математичної статистики [6–9].

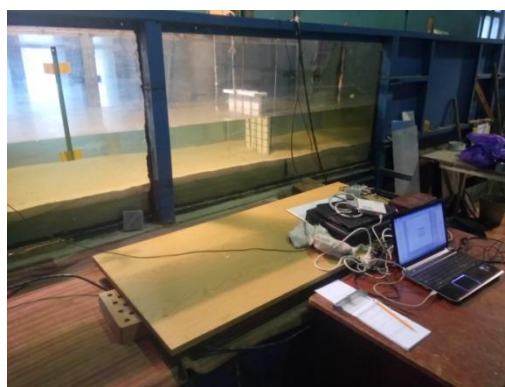
Мета роботи – вивчення особливостей гідродинамічної взаємодії морських хвиль і берегозахисних споруд проникного типу на основі експериментальних досліджень.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Експериментальні роботи проводили у гідродинамічному хвильовому каналі в лабораторних умовах. Хвильовий канал мав довжину близько 60 м, ширину та глибину 1 м. Канал був обладнаний генератором хвиль, вимірювальною ділянкою з засобами візуалізації та контрольно-вимірювальною апаратурою та ділянкою гашення енергії хвиль. Вимірювальна ділянка розташовувалася на відстані близько 50 м від генератора хвиль і мала скляні стінки для проведення візуальних досліджень. Дно вимірювальної ділянки було засипано просіяним піском (середній діаметр зерен піску складав 0,35 мм) на висоту близько 0,2 м. Модель проникного хвилелому у вигляді вертикальної стінки розташовувалася на цій піщаній основі (рис. 1).



а



б

Рисунок 1 – Експериментальна модель проникного хвилелому:

- а) розташування моделі проникного хвилелому усередині вимірювальної ділянки;
- б) контрольно-вимірювальна апаратура та засоби реєстрації даних

Figure 1 – Permeable breakwater experimental model:

- a) the permeable breakwater model location inside the measuring section;
- b) control-measuring equipment and data registration instruments

Проникний хвилелом представляв собою систему призматичних конструкцій шириною 60 мм, які було розділено щілинами шириною 12 мм (рис. 1а). Призматичні конструкції було занурено у піщаний ґрунт на глибину 200 мм і вони виступали над поверхнею води на висоту близько 200 мм. Модель проникного хвилелому розташовувалася у хвильовому каналі перпендикулярно напрямку розповсюдження хвиль.

Згідно до програми та методики проведення експериментальних досліджень проводилася візуалізація течії за допомогою кольорових барвників, які подавалися за допомогою мініатюрних трубочок перед хвилеломом. Обробка та аналіз відеоматеріалу за результатами візуальних досліджень проводилися на спеціально створеній графічній комп'ютерній станції. Це дозволило визначити напрямок і швидкість течії кольорових барвників поблизу моделі проникного хвилелому [7, 8].

Параметри хвильового руху та хвильового тиску на обтічну поверхню моделі проникного хвилелому реєструвалися за допомогою п'єзокерамічних і п'єзорезистивних датчиків пульсацій тиску та повного тиску (рис. 2). Спеціально розроблені та виготовлені мініатюрні (діаметр чутливої поверхні 1,3 мм) п'єзокерамічні датчики пульсацій тиску (рис. 2а) було встановлено на одному рівні з обтічною поверхнею хвилелому. Ці датчики реєстрували пульсації пристінного тиску і не порушували хвильовий потік та структуру течії [6-9]. Спеціально розроблені та виготовлені п'єзорезистивні датчики динамічного тиску вимірювали тиск у тонкостінних трубках, які було занурено під поверхню води (рис. 2б). Тиск в трубках змінювався під дією хвильового поля у відповідності до параметрів хвиль і реєструвався цими високоточними (чутливість 2 Па) датчиками [9].



а



б

Рисунок 2 – Вимірювальні пристрої:

а) п'єзокерамічні датчики пульсацій тиску; б) п'єзорезистивні датчики висоти хвиль.

Figure 2 – Measuring devices:

a) piezoceramic pressure pulsation sensors; b) piezoresistive wave height sensors

Спеціально розроблені та створені датчики розмиву ґрунту вимірювали глибину та форму розмиву піщаного ґрунту в околі моделі проникного хвилелому. Датчики склалися з п'єзокерамічного датчика пульсацій тиску та п'єзорезистивного датчика тиску. Ці два датчики були розташовані на фіксованій відстані один від одного на спеціальній державці, яка кріпилася на координатному пристрої, і занурювалися у місця вимірювання розмиву. Коли датчик пульсацій тиску досягав піщаного дна, то різко або імпульсно змінювався його акустичний імпеданс, що реєструвалося відповідною апаратурою. Інший п'єзорезистивний датчик в момент зміни імпедансу реєстрував глибину занурювання п'єзокерамічного датчика. Глибина розмиву ґрунту у досліджуваній області біля хвилелому, де знаходилися ці датчики, розраховувалася з урахуванням відстані між датчиками і фази хвильового руху [8].

Електричні сигнали датчиків підсилювалися, фільтрувалися і подавалися на 16-канальний аналогово-цифровий перетворювач, а далі на комп'ютер (рис. 1б), де оброблялися та аналізувалися за

спеціальними алгоритмами та програмами. Обробка та аналіз даних було проведено з застосуванням теорії ймовірності та математичної статистики [9].

Досліди проводилися для глибини води (H) над поверхнею піщаного ґрунту від 0,2 м до 0,3 м, висоти хвиль (h), які генерував генератор хвиль, від 0,04 м до 0,1 м, період хвильового руху (T) змінювався від 0,6 с до 1,8 с, а довжина хвилі (λ) складала від 0,5 м до 4,3 м. Крутизна хвиль (h/λ) змінювалася від 0,01 до 0,2.

Результати досліджень

Результати візуальних досліджень показали, що кольоровий барвник заходив у щілини проникного хвилелому, коли до мористої поверхні хвилелому підходив гребінь хвилі. Коли до хвилелому підходила підосва хвилі, то кольоровий барвник витікав зі щілини хвилелому, та з'являвся перед його мористою частиною. Таким чином, барвник то заходив у щілину хвилелому, то виходив з неї у відповідності до коливання хвильового руху. Під дією цього зворотно-поступального руху перед щілинами хвилелому утворювалися розмиви піщаного ґрунту, як поблизу мористої поверхні хвилелому, так і в його кормовій частині. Результати вимірювань показали, що поблизу щілин утворювалися розмиви піску глибиною близько (20-30) мм і шириною близько (40-50) мм. Поблизу фронтальних та кормових поверхонь призматичних складових проникного хвилелому спостерігалися намиви піщаного ґрунту висотою до (10-15) мм (рис. 3). Також інтенсивний розмив ґрунту був зареєстрований поблизу бокових частин уступу (рис. 3а). Треба зауважити, що більші розміри отворів розмивів і намивів піску мали місце для менших глибин потоку і хвиль, які мали вищу висоту і менший період [4-6].



Рисунок 3 – Розмив і намив піщаного ґрунту поблизу моделі проникного хвилелому:

а) вид збоку; б) вид на мористу поверхню хвилелому

Figure 3 – Erosion and alluvioning near the permeable breakwater model: a) side view;

б) a view of the breakwater's sealing surface

Вимірювання особливостей хвильового поля та вихрового тиску на обтічну поверхню проникливого хвилелому показали, що проникний уст хвилелом зменшує висоту хвилі на (20-30) % в залежності від параметрів хвиль. Приклад форми хвилі та її висоти наведено на рис. 4а для двох точок вимірювання, які знаходилися на відстані 0,2 м перед моделлю хвилелому (крива 1) та 0,2 м за хвилеломом (крива 2). Результати досліджень показали, що висота хвилі перед хвилеломом вища, ніж за хвилеломом, що підтверджує ефективність роботи такого проникливого хвилелому.

Розподіл енергії хвильового тиску за частотним наповненням було отримано за допомогою спектрального аналізу пульсацій тиску. Так, на рис. 4б представлені спектральні щільності потужності пульсацій пристінного тиску на обтічній поверхні проникного хвилелому та спектри пульсацій хвильового тиску перед і позаду хвилелому. Крива 1 виміряна датчиком пульсацій пристінного тиску, який розташовувався на передній поверхні хвилелому на відстані 0,1 м від рівня води. Крива 2 виміряна на відстані 0,15 м від рівня води, крива 3 – 0,2 м та крива 4 – 0,25 м від рівня води. Крива 5 отримана за допомогою датчика висоти хвилі, який розташовувався на відстані 0,2 м перед моделлю хвилелому і на глибині 0,1 м від рівня води, а крива 6 – на відстані 0,2 м позаду проникного хвилелому і також на глибині 0,1 м від рівня води.

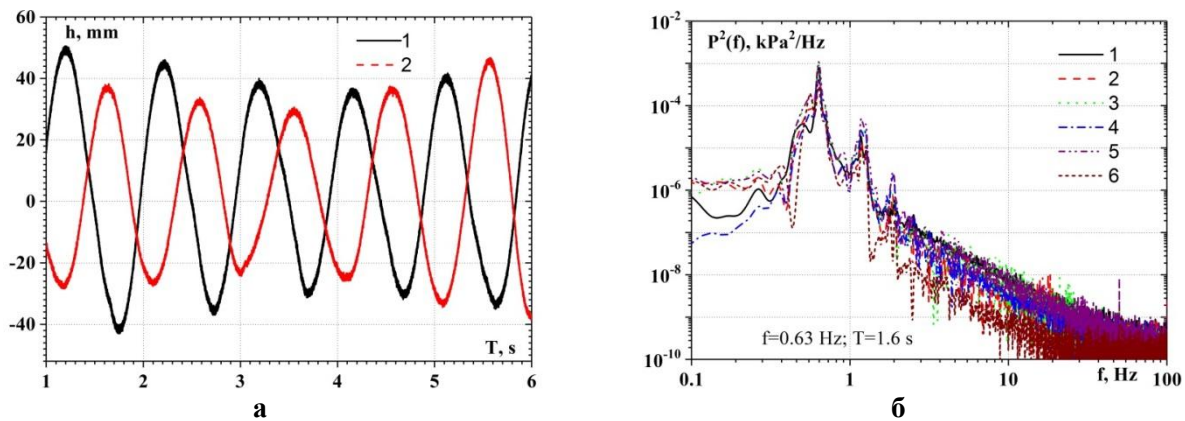


Рисунок 4 – Експериментальні дані:

а) форма і висоти хвиль; б) спектральні густини потужності пульсацій хвильового тиску поблизу моделі проникного хвилелому

Figure 4 – Experimental data:

а) shape and height of waves; б) spectral power densities of wave pressure pulsations near the permeable breakwater model'

Результати дослідження показали, що в спектрах пульсацій хвильового тиску спостерігалися тональні компоненти на основній частоті хвильового руху та на його вищих гармоніках. На обтічній поверхні проникливого хвилелому рівні пульсацій хвильового тиску зменшувалися з віддаленням від поверхні води. При цьому високочастотні компоненти спектру зменшувалися більше інтенсивно. Перед проникним хвилеломом спектральні складові хвильового руху мають більшу інтенсивність, ніж позаду хвилелому, особливо в області високих частот.

Висновки

Результати фізичного моделювання взаємодії поверхневих хвиль з проникними хвилеломом дозволили зробити наступні висновки:

Установлено, що проникний хвилелом є достатньо ефективною берегозахисною спорудою, яка зменшує хвильове навантаження на берегову приморську зону та гідротехнічні споруди. Зареєстровано, що для досліджуваних режимів хвильового руху проникний хвилелом зменшує висоту хвилі до 30% в залежності від параметрів хвиль. При цьому проникний хвилелом більше ефективний для коротких штормових хвиль.

Визначено, що під час розташування проникного хвилелому на розмивному ґрунті найбільші розмиви спостерігалися поблизу щілин хвилелому, а налив піщаного ґрунту мав місце перед і позаду призматичних конструкцій проникного хвилелому. Зі зменшенням глибини акваторії та періоду хвильового руху розмив і налив ґрунту збільшувався.

Знайдено, що в спектрах пульсацій хвильового тиску спостерігалися тональні компоненти, які відповідали основній гармоніці хвильового руху та її вищим гармонікам. З віддаленням від поверхні води спектральні рівні пульсацій тиску зменшувалися, особливо в областях високих частот, які обумовлені генерацією тиску дрібномасштабними компонентами хвильового руху. Перед моделлю проникного хвилелому спектральні складові хвильового тиску вищі, ніж позаду хвилелому, особливо в області високих частот.

Установлено, що зведення в прибережній зоні на шляху переміщення хвиль хвилелом є ефективним способом зменшення катастрофічних наслідків руйнівної дії хвиль на берег. Характерною особливістю процесу деформації є втрати енергії і зменшення амплітуди хвилі, що проходить через проникний хвилелом.

Перспективи подальшого дослідження.

Для визначення точної картини режиму відокремленої залишкової хвилі в приведених випадках потрібно дослідження тонких особливостей взаємодії хвиль з перешкодами, у тому числі розрахунки параметрів набігаючих і відбитих хвиль в захвилеломному просторі з урахуванням фазових зрушень і інтерференції хвиль.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Морська доктрина України на період до 2035. (2020). Постанова Кабінету Міністрів України від 18 грудня 2018 р. № 1108 (Із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 1023 від 28.10.2020).
2. Alkhalidi M., Alanjari N., Neelamani S. (2020). Wave interaction with single and twin vertical and sloped slotted walls. *J. Mar. Sci. Eng.*, 8, 589-1-23. <https://doi.org/10.3390/jmse8080589>.
3. Селезов І.Т., Воскобійник, В.А., Воскобойник, О.А., Харченко, А.Г., Воскобійник, А.В. (2022) Взаємодія гравітаційних хвиль з проникним хвилеломом. *Екологічна безпека та природокористування*, 42 (2), 96-111. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.2.96-111>
4. Dawn S., Gope S., Das A., Bhowmik D., Koley I. Tidal energy as emergent energy source: A review. *Proc. Intern. Conf. on Computational Intelligence and IoT (ICCIoT)*. Tripura. NITA. 2018. Pp. 340-345.
5. Voskoboinick V., Voskoboinyk O., Voskobijnyk A. Investigation of wall pressure fluctuation fields using miniature sensors. Abstracts of IX International Scientific and Practical Conference "Actual Aspects of Development in the context of Globalization". Florence. Italy. 2020. Pp. 265-269.
6. Voskoboinick V., Kornev N., Turnow J. Study of near wall coherent flow structures on dimpled surfaces using unsteady pressure measurements. *Flow Turbulence Combust.* 2013. № 4(90). Pp. 709-722.
7. Voskoboinick V.A., Turick V.N., Voskoboinyk O.A., Voskoboinick A.V., Tereshchenko I.A. Influence of the deep spherical dimple on the pressure field under the turbulent boundary layer. In: Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds) *Advances in Computer Science for Engineering and Education. ICCSEE 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer. Cham. 2019. Vol. 754. Pp. 23-32.
8. Bendat J.S., Piersol A.G. *Random Data: Analysis and Measurement Procedures*, 4th Edition. N.Y. Wiley. 2010. 640 p.
9. Vinogradnyi G.P., Voskoboinick V.A., Grinchenko V.T., Makarenkov A.P. Spectral and correlation characteristics of the turbulent boundary layer on an extended flexible cylinder. *J. Fluid Dyn.* 1989. № 5(24). Pp. 695-700.
10. Voskoboinick V.A., Makarenkov A.P. Spectral characteristics of the hydrodynamical noise in a longitudinal flow around a flexible cylinder. *Intern. J. Fluid Mech. Res.* 2004. № 1(31). Pp. 87-100.

REFERENCES

1. Maritime doctrine of Ukraine for the period until 2035. (2020). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated December 18, 2018 No. 1108 (Amended in accordance with Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1023 dated October 28, 2020).
2. Alkhalidi, M., Alanjari, N., Neelamani, S. (2020). Wave interaction with single and twin vertical and sloped slotted walls. *J. Mar. Sci. Eng.*, 8, 589-1-23. <https://doi.org/10.3390/jmse8080589>
3. Selezov I.T., Voskobijnyk, V.A., Voskobijnyk, O.A., Kharchenko, A.G., Voskobijnyk, A.V. (2022) Interaction of gravity waves with penetrating breakwater. *Environmental safety and nature management*, 42 (2), 96-111.
3. Dawn S., Gope S., Das A., Bhowmik D., Koley I. Tidal energy as emergent energy source: A review. *Proc. Intern. Conf. on Computational Intelligence and IoT (ICCIoT)*. Tripura. NITA. 2018. Pp. 340-345.
4. Voskoboinick V., Voskoboinyk O., Voskobijnyk A. Investigation of wall pressure fluctuation fields using miniature sensors. Abstracts of IX International Scientific and Practical Conference "Actual Aspects of Development in the context of Globalization". Florence. Italy. 2020. Pp. 265-269.
5. Voskoboinick V., Kornev N., Turnow J. Study of near wall coherent flow structures on dimpled surfaces using unsteady pressure measurements. *Flow Turbulence Combust.* 2013. № 4(90). Pp. 709-722.
6. Voskoboinick V.A., Turick V.N., Voskoboinyk O.A., Voskoboinick A.V., Tereshchenko I.A. Influence of the deep spherical dimple on the pressure field under the turbulent boundary layer. In: Hu Z., Petoukhov S., Dychka I., He M. (eds) *Advances in Computer Science for Engineering and Education. ICCSEE 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer. Cham. 2019. Vol. 754. Pp. 23-32.
7. Bendat J.S., Piersol A.G. *Random Data: Analysis and Measurement Procedures*, 4th Edition. N.Y. Wiley. 2010. 640 p.

8. Vinogradnyi G.P., Voskoboinick V.A., Grinchenko V.T., Makarenkov A.P. Spectral and correlation characteristics of the turbulent boundary layer on an extended flexible cylinder. *J. Fluid Dyn.* 1989. № 5(24). Pp. 695-700.

9. Voskoboinick V.A., Makarenkov A.P. Spectral characteristics of the hydrodynamical noise in a longitudinal flow around a flexible cylinder. *Intern. J. Fluid Mech. Res.* 2004. № 1(31). Pp. 87-100.

РЕФЕРАТ

Воскобійник В.А. Фізичне моделювання взаємодії поверхневих хвиль з проникним хвилеломом / В.А. Воскобійник, А.М. Онищенко, Н.П. Чиженко, М.І. Клименко, Р.В. Мошківський // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

В останні роки у розвитку берегозахисних споруд намітилася тенденція використання проникних конструкцій, перевага яких полягає в поліпшенні екології захищеної акваторії, економії будівельних матеріалів. У проточній воді не накопичується сміття і забезпечується вільна міграція для морських мешканців. Конструкції проникних берегозахисних споруд можуть бути близько розташовані кругові палі, проникні стінки, що складаються з горизонтальних або вертикальних щілин, розташованих на певній глибині. Критерієм їх ефективності є коефіцієнти пропускання, відбиття та дисипації енергії як регулярних, так і одиночних хвиль. Проектування проникних берегозахисних споруд вимагає розрахунку і експериментального дослідження хвильових і ударних гідродинамічних навантажень на елементи цих споруд. Експериментальні дослідження проводяться в лабораторних і натурних умовах з використанням сучасного високоточного обладнання та засобів обробки і аналізу даних, включаючи статистичні методи теорії ймовірності та математичної статистики.

В даній статті приведено основні результати гідродинамічного моделювання проникного хвилелома. Експериментальні дослідження проводили у гідродинамічному хвильовому каналі в лабораторних умовах. Хвильовий канал мав довжину близько 60 м, ширину та глибину 1 м. Канал був обладнаний генератором хвиль, вимірювальною ділянкою з засобами візуалізації та контрольно-вимірювальною апаратури та ділянкою гашення енергії хвиль. Вимірювальна ділянка розташовувалася на відстані близько 50 м від генератора хвиль і мала скляні стінки для проведення візуальних досліджень. Дно вимірювальної ділянки було засипано просіяним піском (середній діаметр зерен піску складав 0,35 мм) на шаром близько 0,2 м. Модель проникного хвилелома у вигляді вертикальної стінки розташовувалася на цій піщаній основі. Проникний хвилелом представляв собою систему призматичних конструкцій шириною 60 мм, які було розділено щілинами шириною 12 мм. Призматичні конструкції було занурено у піщаний ґрунт на глибину 200 мм і вони виступали над поверхнею води на висоту близько 200 мм. Модель проникного хвилелома розташовувалася у хвильовому каналі перпендикулярно напрямку розповсюдження хвиль.

Результати фізичного моделювання взаємодії поверхневих хвиль з проникними хвилеломами дозволили показати, що проникний хвилелом є достатньо ефективною берегозахисною спорудою, яка зменшує хвильове навантаження на берегову приморську зону та гідротехнічні споруди. Зареєстровано, що для досліджуваних режимів хвильового руху проникний хвилелом зменшує висоту хвилі до 30% в залежності від параметрів хвиль. При цьому проникний хвилелом більше ефективний для коротких штормових хвиль. Також встановлено, що під час розташування проникного хвилелома на розмивному ґрунті найбільші розмиви спостерігалися поблизу щілин хвилелома, а намив піщаного ґрунту мав місце перед і позаду призматичних конструкцій проникного хвилелома. Зі зменшенням глибини акваторії та періоду хвильового руху розмив і намив ґрунту збільшувався.

Аналіз даних показав, що перед моделлю проникного хвилелома спектральні складові хвильового тиску вищі, ніж позаду хвилелома, особливо в області високих частот.

Установлено, що зведення в прибережній зоні на шляху переміщення хвиль хвилелома є ефективним способом зменшення катастрофічних наслідків руйнівної дії хвиль на берег. Характерною особливістю процесу деформації є втрати енергії і зменшення амплітуди хвилі, що проходить через проникний хвилелом. Для визначення точної картини режиму відокремленої залишкової хвилі в приведених випадках потрібно дослідження тонких особливостей взаємодії хвиль

з перешкодами, у тому числі розрахунки параметрів набігаючих і відбитих хвиль в захвилеломному просторі з урахуванням фазових зрушень та інтерференції хвиль.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ГІДРОДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ГІДРОТЕХНІЧНА СПОРУДА, БЕРЕГОЗАХИСНА СПОРУДА, ПОВЕРХНЕВА ХВИЛЯ, ПРОНИКНИЙ ХВИЛЕЛОМ, ГІДРАВЛІЧНИЙ УДАР.

ABSTRACT

Voskoboynik V.F. Onyshchenko A.M., Chyzhenko N.P., Klymenko M.I., Moshkivskyi R.V. Physical modeling of the surface waves with a penetrating breakwater interacting. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

In recent years, there is a trend to use permeable structures in the coastal defense structures development. These hydrotechnical structures have the advantage of which is to improve the ecology of the protected water area, saving construction materials. Garbage does not accumulate in running water and free migration is ensured for sea creatures. The permeable coastal protection structures can be closely spaced circular piles, permeable walls consisting of horizontal or vertical slits located at a certain depth. Their effectiveness criteria are the transmission, reflection and energy dissipation coefficients of both regular and solitary waves. The permeable coastal defense structures design requires the calculation and experimental study of wave and waterhammer hydrodynamic loads on the elements of these structures. Experimental research is conducted in laboratory and nature conditions using modern high-precision equipment and data processing and analysis tools, including probability theory statistical methods and mathematical statistics.

This paper presents the main results of permeable breakwater hydrodynamic modeling. Experimental studies were carried out in a hydrodynamic wave channel under laboratory conditions. The wave channel had a length of about 60 m, a width and a depth of 1 m. The channel was equipped with a wave generator, a measuring section with visualization and control means and measuring equipment, and a section for wave energy quencher. The measuring area was located at about 50 m from the wave generator and had glass walls for conducting visual studies. The bottom of the measuring area was filled with sifted sand (the average diameter of the sand grains was 0.35 mm) in a layer of about 0.2 m. The model of the permeable breakwater in the form of a vertical wall was located on this sand base. The permeable breakwater was a system of prismatic structures with a width of 60 mm, which were separated by slits with a width of 12 mm. Prismatic structures were immersed in sandy soil to a depth of 200 mm and protruded above the water surface to a height of about 200 mm. The permeable breakwater model was in the wave channel perpendicular to the direction of wave propagation.

The physical modeling results of the surface waves with permeable breakwaters interacting showed that the permeable breakwater is a sufficiently effective coastal protection structure which reduces the wave load on the coastal zone and hydrotechnical structures. It is recorded that for the studied modes of wave motion, the permeable wave reduces the wave height by up to 30%, depending on the parameters of the waves. At the same time, a permeable breakwater is more effective for short storm waves. It was also established that during the location of the permeable breakwater on the erosive soil, the largest erosions were observed near the breakwater slits, and the sandy soil alluviation took place in front and behind the prismatic structures of the permeable breakwater. As the depth of the water area and the period of wave motion decreased, soil erosion and siltation increased.

The analysis of the data showed that in front of the permeable breakwater model, the spectral components of the wave pressure are higher than behind the breakwater, especially in the high frequency area.

It has been established that the construction of a breakwater in the coastal zone along the path of wave movement is an effective way to reduce the catastrophic consequences of the destructive effect of waves on the shore. A characteristic feature of the deformation process are energy losses and a decrease in the amplitude of the wave passing through the permeable breakwater. To determine the real regime of the separated residual wave in the given cases, it is necessary to study the subtle features of the waves with obstacles interacting, including calculations of the parameters of up running and reflected waves in the behind breakwater space, considering phase shifts and wave interference.

KEY WORDS: HYDRODYNAMIC MODELING, HYDROTECHNICAL STRUCTURE, COASTAL DEFENSE STRUCTURE, SURFACE WAVE, PERMEABLE BREAKWATER, WATER HAMMER.

АВТОРИ:

Воскобійник В.А. доктор технічних наук, Інститут гідромеханіки НАН України, vlad.vsk@gmail.com, orcid.org 0000-0003-2161-6923

Онищенко А.М., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1040-4530

Чиженко Н.П., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, chyzhenko_np@ukr.net, orcid.org/ 0000-0002-9152 2474

Клименко М.І., Національний транспортний університет, Київ, Україна, mykola.iv.klymenko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-7967-5881

Мошківський Р.В., аспірант, Національний транспортний університет, Київ, Україна, moshkjoma@gmail.com, orcid.org/0009-0004-9471-4238

AUTHORS:

Voskoboinikov V.A., Doctor of Technical Sciences, Institute of Hydromechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine Kyiv, Ukraine, vlad.vsk@gmail.com, orcid.org 0000-0003-2161-6923

Onyshchenko A.M., Doctor of Technical Science, Professor, National Transportation University, Head of bridges, tunnels and hydraulic structures Department, e-mail: onyshchenko.a.m.ntu@gmail.com, +380687771899, orcid.org/0000-0002-1040-4530

Chyzhenko N.P. Candidate of Technical Sciences, Ph. D, National Transportation University, Associate Professor of bridges, tunnels and hydraulic structures Department, e-mail: chyzhenko_np@ukr.net, +380507355080, orcid.org/ 0000-0002-9152 2474

Klymenko M.I., Associate Professor of bridges, tunnels and hydraulic structures Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, mykola.iv.klymenko@gmail.com, orcid.org/0000-0002-7967-5881

Moshkivskyi R.V., graduate student, National Transport University, Kyiv, Ukraine, moshkjoma@gmail.com, +380672357174, orcid.org/0009-0004-9471-4238

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Бубела А.В., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет.

Петрович В.В., кандидат технічних наук, професор, Національний транспортний університет.

REVIEWER:

Bubela A.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University.

Petrovych V. V., Candidate of Technical Sciences, Professor, National Transport University.

МЕТОД АДАПТИВНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ МАРШРУТУ В ДИНАМІЧНІЙ ЗАДАЧІ КОМІВОЯЖЕРА З ВИКОРИСТАННЯМ МОДИФІКОВАНОГО МУРАШИНОГО АЛГОРИТМУ

Данчук В.Д., доктор фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, vdanchuk@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4282-2400

Гутаревич О.С., Національний транспортний університет, Київ, Україна, oleksandr.hutarevych@gmail.com, orcid.org/0009-0003-7355-8160

METHOD OF ADAPTIVE ROUTE OPTIMIZATION FOR SOLVING DYNAMIC TRAVELING SALESMAN PROBLEM USING MODIFIED ANT COLONY ALGORITHM

Danchuk V.D., Dr. Sc. (Phys.-Math.), National Transport University, Kyiv, Ukraine, vdanchuk@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4282-2400

Hutarevych O.S., National Transport University, Kyiv, Ukraine, oleksandr.hutarevych@gmail.com, orcid.org/0009-0003-7355-8160

Постановка проблеми. Інтелектуальні адаптивні методи оптимізації задач маршрутизації інформаційних потоків є важливим інструментом для забезпечення ефективної передачі даних у сучасних інформаційних системах різного функціонального призначення. Вони дозволяють системам у реальному режимі часу адаптуватися до змін у зовнішньому середовищі і реалізовувати максимально ефективний розподіл трафіку, швидку передачу даних, знижувати затримки і підвищувати продуктивність мережі.

Особливої актуальності останнім часом набуває використання інтелектуальних адаптивних методів (методів штучного інтелекту (AI) та машинного самонавчання) для аналізу умов та вибору оптимальних маршрутів у міській транспортній логістиці, де трафік та умови руху постійно змінюються.

Дійсно, прискорена автомобілізація при одночасному відставанні розвитку вулично-дорожніх мереж (ВДМ) великих міст призводить до різкого зменшення ефективності функціонування міської транспортної інфраструктури (значна нерівномірність транспортного навантаження, зменшення швидкості руху транспортних потоків (ТП), затори, дорожньо-транспортні пригоди тощо). Це, зокрема, зумовлює виникнення значних затримок у транспортуванні вантажів, і, отже, до суттєвих не лише часових, але й економічних втрат. У сучасних умовах найбільш ефективно вирішення цих проблем пов'язують з розробкою, впровадженням та застосуванням інтелектуальних транспортних систем (ІТС). Саме ефективне застосування ІТС дозволяє ефективно керувати рухом транспорту, зменшуючи витрати на паливо, час та викиди в атмосферу. І тут велику роль відіграє використання сучасних інноваційних інформаційних та телекомунікаційних технологій Інтернету речей (IoT), системи глобального позиціонування і моніторингу (GPS), blockchain (BC), великих даних (BD) та штучного інтелекту AI.

Між тим, використання AI інформаційних технологій для ефективної організації, оптимізації та управління транспортно-логістичними процесами в реальному режимі часу при великій і змінній завантаженості ВДМ є епізодичним і недосконалим. В першу чергу це пов'язано з відсутністю адекватних адаптивних методів дискретної оптимізації маршрутів щодо доставки товарів, які б одночасно враховували реальну конфігурацію ВДМ та реальну динаміку ТП на її ділянках під час здійснення перевезень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішення проблеми маршрутизації транспортних засобів (VRP) – це добре відома NP-складна задача дискретної (комбінаторної) оптимізації. Головна ідея якої полягає в плануванні маршрутів для парку транспортних засобів (ТЗ) з обслуговування певної кількості просторово рознесених пунктів (споживачів, логістичних центрів, складів і т. д.) при найменших витратах [1]. У великій кількості випадків тестові дослідження методів дискретної оптимізації маршрутів, що пропонуються, проводяться на прикладі задачі комівояжера (TSP), яка полягає у знаходженні найбільш оптимального за заданим критерієм замкнутого маршруту, що проходить через всі вказані точки хоча б по одному разу. Поряд з цим, розв'язання TSP має велике значення для практичного вирішення проблем транспортної логістики, наприклад, для електронної

комерції при визначенні маршрутів останньої милі (LMRRC), VRP з обмеженнями вантажопідйомності (capacitated VRP-CVRP), VRP з декількома депо (MDVRP), VRP з фіксованими або змінними часовими вікнами (VRPTW) тощо [2 – 6].

Слід зазначити, що до недавнього часу, проблеми дискретної оптимізації та планування маршрутів для логістичних систем у більшості випадків вирішувались за допомогою відповідних методів для статичної VRP. Тут процес відправлення доставок здійснюється за фіксованими або мало змінними властивостями системи протягом часу обслуговування [3, 4]. До статичних VRP з певними наближеннями можна віднести VRP з обмеженнями вантажопідйомності (capacitated VRP-CVRP), VRP з декількома депо (MDVRP) і VRP з фіксованими часовими вікнами (VRPTW).

Між тим, у реальних умовах при доставці товарів до пунктів призначення необхідно враховувати велику кількість параметрів, що пов'язані з невизначеністю, динамічністю та іншими реальними обмеженнями.

Відповідно, для багатьох транспортно-логістичних компаній, що працюють у швидкозмінному ринковому середовищі зниження вартості доставки товарів постає гострою проблемою. Більшість цих компаній повинні бути в змозі працювати в умовах строгих часових обмежень при забезпеченні гарантованої якості обслуговування, неперервної адаптації до змін у зовнішньому середовищі. При цьому середовище, в якому вони працюють, часто є невизначеним, і тому фактор часу відіграє визначальну роль.

Підхід статичної VRP не дозволяє компанії створювати маршрут на основі інформації в реальному часі. Це також не надає способів зв'язку між менеджерами та водіями, що призводить до затримки доставки товарів, економічних втрат, втрат бізнесу та клієнтів.

Відповідно, при вирішенні проблем маршрутизації в рамках динамічного VRP (DVRP) підходу потрібно враховувати змінні фактори умов доставки вантажів (варіації часу і послуг в дорозі) за можливістю в онлайн режимі. Ці фактори обумовлені динамічними часовими вікнами вивезення та доставки; нестаціонарною динамікою ТП на ділянках ВДМ; місткістю (вантажопідйомністю) ТЗ; розміром та складом автопарку; невизначеністю у замовленнях, часу доставки, попиту та кількості клієнтів, тощо [7]. При цьому, зрозуміло, що тут для реалізації онлайн супроводу процесів перевезень вантажів необхідно застосовувати відповідні апаратно-програмні комплекси, що працюють в автоматизованому або автоматичному режимі.

Усунення комплексу зазначених проблем з управління транспортно-логістичними операціями у сучасних умовах пов'язують з розробкою, впровадженням та ефективним застосуванням ІТС [8]. Тут можливе вирішення множини комбінаторних завдань в рамках DVRP, в яких принаймні один з параметрів системи є змінним, при умові використання сучасних інноваційних інформаційно-комунікаційних технологій IoT, BC, BD, AI, нечітких множин (FL) тощо [8].

Зокрема, використання технологій IoT, GPS, BD, AI, FL в ІТС в основному дозволяє отримувати та ефективно обробляти великі масиви даних про зміни стану зовнішнього середовища в реальному режимі часу. Для вирішення задач дискретної оптимізації в рамках DVRP в основному використовують евристичні або метаввристичні AI методи, що мають достатньо високу швидкість обчислень. До них відносять: алгоритм мурашиних колоній (ACA), генетичний алгоритм (GA), еволюційний метод імітації підпалу (ESA), табу-пошук (TS), динамічна адаптована оптимізація роїв частинок (DAPSO) і пошук змінного сусідства (VNS) [9].

Як показує аналіз, велика кількість робіт, де розв'язуються задачі в рамках DVRP, присвячена вирішенню проблем оптимізації маршрутизації ТЗ з динамічними часовими вікнами (DVRPTW) (див. наприклад, [10 – 12]). В [10] представлено багатокритеріальну задачу маршрутизації ТЗ з гнучкими часовими вікнами (MOVRPFlexTW) на основі використання гібридних методів, що поєднують методи штучних нейронних мереж (ANM), як методів машинного самонавчання, так і методів AI дискретної оптимізації (генетичні, еволюційні, ройові, тощо). Тут ANM застосовують або для прогнозування певних транспортних процесів, або для налаштування евристичних параметрів інтелектуальних методів оптимізації з метою їх удосконалення при проведенні оптимізації маршруту з урахуванням впливу зовнішнього середовища. В [10] критеріями оптимізації є мінімізація загальних транспортних витрат на перевезення товару та максимізація загальної задоволеності клієнтів. При цьому запити клієнтів щодо часу доставки товару можуть змінюватись під час руху ТЗ. Така гнучкість дозволяє логістичній компанії заощаджувати витрати на розподіл товарів, забезпечуючи задоволеності клієнтів. Однак вплив динаміки ТП на процес маршрутизації в [10] не враховується. В [11] вирішується проблема маршрутизації ТЗ з декількома часовими вікнами (VRPMTW) за допомогою гібридного алгоритму, що складається з GA та VNS алгоритмів, в рамках певних обмежень (обмеження вантажопідйомності, часових вікон тощо). В [12] маршрутизація ТЗ

здійснюється з диверсифікацією часу прибуття для компаній, що працюють з готівкою у дорозі (CIT), за допомогою VRPMTW з відсутністю часу очікування, щоб розробляти маршрути з непередбачуваним часом. Проблеми маршрутизації в [12] моделюються як завдання маршрутизації DVRPMTW, в якій множинні часові вікна будуються в налаштуваннях ковзного горизонту по часу шляхом видалення інтервалів прибуття, що були в попередніх маршрутах. Проте як в [11], так і в [12] урахування динаміки ТП не здійснювалось при вирішенні DVRPMTW.

Відносно недавно дослідження проблем маршрутизації почали розширюватись на вирішення задач DVRP, де враховуються дані ІТС про стан динаміки ТП в реальному режимі часу на ділянках ВДМ або усереднені дані про попередні її стани [13–18]. Так, наприклад, в [13] запропоновано покращений мурашиний алгоритм за рахунок оновлення його параметрів за допомогою глибокого навчання моделей ANM з використанням даних про трафік в реальному режимі часу. Це дозволяє знаходити більш коректну оптимізацію шляху для розподілу логістики в складних дорожніх умовах. Проте, як зазначають автори в [13], через реалістичні умови та труднощі зі збором даних не вдається продемонструвати переваги запропонованого алгоритму оптимізації маршруту під впливом складного трафіку. В [14] оптимізація маршруту за відстанню і за часом здійснювалась за допомогою різних AI методів з використанням історичних даних ІТС про динаміку ТП. В [15] представлено модель міського попиту на вантажні перевезення, в рамках якої намагаються оцінити потоки турів на підставі підрахунків маршрутів з використанням даних ІТС. Модель в [15], що заснована на теорії максимізації ентропії, враховує набір оцінок генерації вантажних рейсів, набір підрахунків трафіку за певні часові інтервали та загальну вартість вантажних перевезень у мережі. В [16] описується імітаційна модель на основі агентів у поєднанні з процедурами оптимізації, розробленими для прогнозування поведінки водіїв та кур'єрів доставки товарів клієнтам в центральні райони міста. Модель дозволяє оптимізувати маршрути кур'єрів на основі мінімізації витрат на керування ТЗ та ходьбу з використанням інформації сенсорів ІТС в реальному режимі часу про наявність і зайнятість зон завантаження. В [17] вперше представлено уніфіковане формулювання в рамках DVRP проблеми TSP з урахуванням даних про динаміку ТП на ділянках ВДМ. Ці дані отримують від сенсорів руху ІТС як в реальному режимі часу, так і усереднених історичних даних з відповідних сенсорів. В рамках такої моделі тут проведено відповідні імітаційні моделювання дискретної оптимізації маршруту за часом з динамічним оновленням послідовності відвідування клієнтів під час руху. Таке оновлення маршруту відбувається внаслідок поточних змін завантаженості ділянок ВДМ, що впливають на час доставки товару за раніше встановленим маршрутом. Проте, в [17] оптимізація маршруту здійснювалась тільки за часом з використанням розв'язника електронних таблиць з відкритим вихідним кодом (API from Bing and VRP_Spreadsheet_Solver) для вирішення VRP [3]. При цьому, виконання обчислювальних операцій при проведенні оптимізації маршруту за допомогою цього пакету здійснюється надто повільно [3]. Це не дозволяє у повній мірі реалізувати онлайн режим DVRP. В [18], в рамках підходу [17] з використанням модифікованого мурашиного алгоритму ACA_{mod} показано принципову можливість здійснення оптимальної маршрутизації доставки вантажів з динамічним оновленням маршруту в реальному режимі часу на основі обробки IoT та BD даних про нестационарну динаміку ТП на ділянках ВДМ. Проте, в [18] імітаційні дослідження щодо оптимізації маршруту здійснюються в рамках розв'язку симетричної динамічної задачі TSP на графі з використанням матриці витрат, прямими елементами якої є час (швидкість) руху ТЗ між вершинами графу. Крім того, функціональні можливості блоку вхідних даних про динамічні характеристики ТП на ділянках ВДМ тут обмежені тільки ручним режимом їх введення.

Отже, виходячи з проведеного аналізу, в даний час уявлення про динамічну маршрутизацію логістичних потоків в умовах швидкоплинної, нестационарної динаміки ТП є незавершеними та недосконалими. В тому числі, це пов'язано з відсутністю адекватних адаптивних методів дискретної оптимізації маршрутів щодо доставки товарів, які б в онлайн режимі одночасно враховували реальну конфігурацію ВДМ та реальну динаміку ТП на її ділянках під час здійснення перевезень.

У зв'язку з цим, метою роботи є розробка методу адаптивної оптимізації маршруту в онлайн режимі з урахуванням реальної динаміки ТП на ділянках ВДМ на основі модифікованого мурашиного алгоритму, в рамках якого реалізована можливість автоматичного оновлення ваг графу в залежності від змін динамічних характеристик на ділянках ВДМ при фіксації оптимальної конфігурації частково пройденого маршруту перед його оновленням.

Виклад основного матеріалу дослідження. В роботі розглядається асиметрична динамічна задача комівояжера (DTSP) у вигляді двонаправлено орієнтованого зваженого графу. Вершини графу відповідають точкам доставки вантажів. Ваги ребер графу задаються відносними дискретними величинами відповідно до критерію оптимізації (наприклад, це може бути відстань між вершинами

графу, середній час або середня швидкість проходження ребра, витрати палива, вартість перевезень тощо). При цьому, матриця витрат для такого графу містить в собі непрямі елементи як сукупності ваг, що відповідають певному набору характеристик ділянок ВДМ, які ТЗ послідовно долає між точками доставки з урахуванням розподілу цих характеристик у певні моменти часу в залежності від конфігурації ВДМ.

Оскільки в реальному світі такі величини як час, середня швидкість, матеріальні витрати на проходження між точками можуть змінюватися залежно від різноманітних факторів, доцільно розглядати ваги ребер графу як динамічні величини. Наприклад, в умовах ВДМ великих міст факторами, які впливають на вагу проходження маршруту між певними точками, можуть виступати зміни у завантаженості певних ділянок доріг, виникнення дорожньо-транспортних пригод, часткове або повне перекриття проїжджої частини доріг у зв'язку з проведенням ремонтних робіт, тощо.

В рамках запропонованого методу, архітектура інформаційної системи адаптивної оптимізації маршруту в асиметричній DTSP з використанням модифікованого мурашиного алгоритму містить три модулі: 1. Побудова вхідного графу для поточного стану ВДМ (вхідна поточна (в певний момент часу) матриця витрат для ваги, за якою здійснюється оптимізація) з подальшою побудовою оптимального маршруту; 2. Динамічне оновлення побудованого графу відповідно до зміни дорожньої ситуації (зміни динаміки транспортних потоків на окремих ділянках ВДМ, затори, дорожньо-транспортні пригоди, тимчасові перекриття тощо); 3. Оптимізація маршруту в асиметричній DTSP на графі.

Загальна схема адаптивної оптимізації маршруту в асиметричній DTSP з використанням модифікованого мурашиного алгоритму в рамках запропонованого методу наведено на рис. 1.

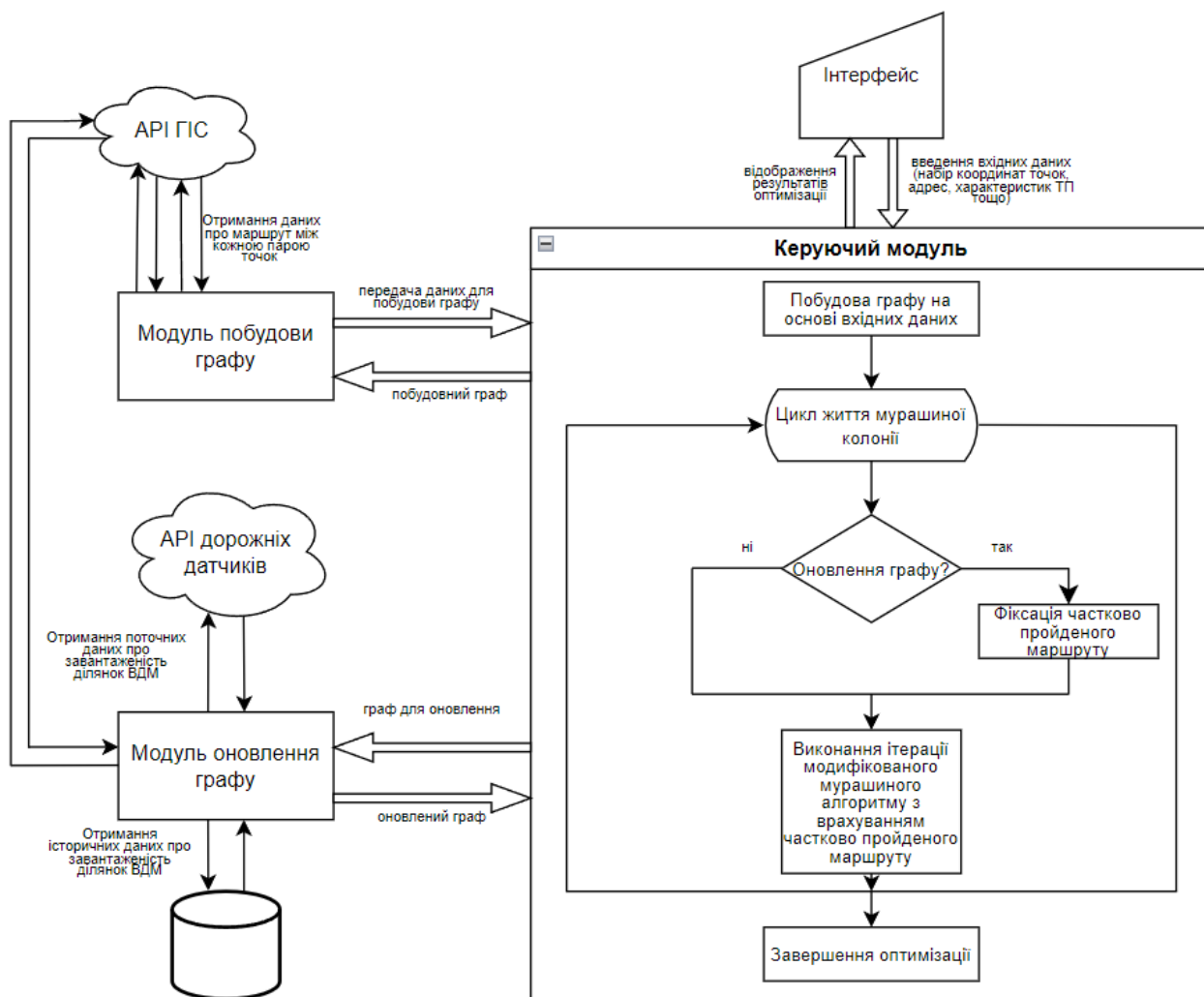


Рисунок 1 – Загальна схема адаптивної оптимізації маршруту в асиметричній динамічній задачі комівояжера з використанням модифікованого мурашиного алгоритму
Figure 1 – General scheme of adaptive route optimization in the dynamic problem of an asymmetrical traveling salesman using a modified ant algorithm

Модуль побудови графу відповідно до стану ВДМ в певні моменти часу (див. рис.1) призначений для створення двонаправлено орієнтованого зваженого графу, вершинами якого є задані точки доставки, а ребра, як було зазначено вище, характеризуються вагами послідовності ділянок ВДМ, які необхідно пройти для потрапляння з однієї вершини графу до іншої. Наприклад, час проходження ребра між двома вершинами визначається як сума часу проходження кожної ділянки з відповідної послідовності ділянок з урахуванням розподілу часів проходження по ділянках в залежності від конфігурації ВДМ.

Формування матриці витрат при побудові графу здійснюється, зокрема, за допомогою геоінформаційних систем (ГІС) [19]. Сучасні ГІС поєднують в собі географічні дані (наприклад, координати точок, висоти, кліматичні дані тощо) з інформацією про об'єкти та явища, що відбуваються у цих місцях, в тому числі інформацію про зміни стану на ВДМ. Отже, для формування графу пропонується для кожних двох вершин здійснюється запит до ГІС з метою отримання інформації про найбільш оптимальний маршрут між ними та характеристики ділянок ВДМ, через які він проходить. Наприклад, для отримання таких даних можна використати програмний інтерфейс Routes API сервісу Bing Maps (геоінформаційна система розроблена компанією Microsoft) [20].

Модуль динамічного оновлення побудованого графу призначений для введення змінених характеристик ділянок ВДМ, через які проходять ребра графу відповідно до зміни поточного стану або прогнозованих змін у майбутньому на ВДМ (див. рис.1). Зміни характеристик ділянок ВДМ, які проходять через певне ребро графу призводять до зміни характеристик цього ребра. Для оновлення графу у запропонованому методі реалізовано дві можливості введення даних про зміни характеристик ділянок ВДМ, що отримують: або а) з детекторів руху, розташованих на цих ділянках; або б) з використанням ГІС. Щодо останнього, то дані про поточний стан ВДМ отримують за допомогою Bing Maps, який надає окремий інтерфейс Traffic API, що дозволяє отримати інформацію про ДТП, затори та ремонти доріг [20]. Крім того, ГІС надає можливість будувати або перебудовувати оптимальний маршрут між вершинами графу в залежності від поточного стану ВДМ, а саме визначати або оновлювати послідовність ділянок ВДМ, яка відповідає оптимальному маршруту між кожною парою вершин графу. Це, в свою чергу, призводить до зміни характеристик ребер досліджуваного графу в цілому. Також в запропонованому методі є можливим використання історичних даних, отриманих з датчиків руху, для прогнозування динамічних характеристик ділянок ВДМ або здійснення ефективного планування маршруту в заданому часовому проміжку в майбутньому (див. рис.1).

Процедура розв'язку асиметричної DVRP (керуючий модуль, див. рис.1) за допомогою розробленого методу адаптивної оптимізації маршруту аналогічна як для графу, побудованого в рамках першого, так і другого модулю. При цьому адаптивна оптимізація здійснюється на основі запропонованої модифікації мурашиного алгоритму, в рамках якої реалізована можливість автоматичного оновлення ваг графу в залежності від змін динамічних характеристик на ділянках ВДМ при фіксації оптимальної конфігурації частково пройденого маршруту перед його оновленням. Відповідно, фіксація оптимальної конфігурації частково пройденого маршруту полягає в додаванні у «пам'ять» мурах частково-визначених маршрутів. Для цього в алгоритм вводиться Pre_k – список ребер графу, по яким k мураха зобов'язана рухатись в рамках оптимальної конфігурації частково пройденого маршруту, ігноруючи ймовірнісне правило класичного мурашиного алгоритму, описаного в [21]. Тобто, перебуваючи в вершині i графу, мураха k рухається в вершину j якщо $(i, j) \in Pre_k$, інакше наступна вершина знаходиться за ймовірнісним правилом. Така модифікація спрямована на створення можливості адаптації алгоритму до динамічних ситуацій, де вага вершин графу може змінюватися по ходу проходження мурахами частини маршруту.

Для проведення тестових досліджень було розроблено програмну реалізацію запропонованого модифікованого мурашиного алгоритму мовою програмування C# (платформа .NET 6). З метою перевірки адекватності та достовірності використання запропонованої модифікації мурашиного алгоритму для здійснення дискретної оптимізації маршруту були проведені відповідні тестові дослідження на прикладі набору загально-відомих тестових статичних TSP задач з критерієм оптимізації за відстанню у порівнянні з найбільш поширеними AI методами дискретної оптимізації (класичного алгоритму мурашиної колонії, генетичного алгоритму, алгоритму еволюційного відпалу) [22]. Результати проведених тестових досліджень подано в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати тестування алгоритмів вирішення задачі комівояжера
Table 1 – Results of testing algorithms for solving the traveling salesman problem

Назва задачі	Кількість вершин	Найкращий відомий розв'язок, м	Класичний алгоритм мурашиної колонії (ACA)		Генетичний алгоритм (GA)		Алгоритм еволюційного відпалу (ESA)		Модифікований алгоритм мурашиної колонії (Dynamic ACA)	
			Розв'язок, м (відхилення)	Час, с	Розв'язок, м (відхилення)	Час, с	Розв'язок, м (відхилення)	Час, с	Розв'язок, м (відхилення)	Час, с
Oliver30	30	420	420 (0.0%)	0,4	420 (0.0%)	0,2	420 (0.0%)	0,7	420 (0.0%)	0,4
Eil51	51	426	428.1 (0.5%)	1,7	427 (0.2%)	1,7	426 (0.0%)	2,1	429 (0.7%)	2,5
Berlin52	52	7542	7542 (0.0%)	2,1	7542 (0.0%)	2,4	7542 (0.0%)	2,3	7542 (0.0%)	3,2
St70	70	675	679.1 (0.6%)	3,9	675 (0.0%)	4,2	675 (0.0%)	4,5	683 (1.1%)	7,7
Eil76	76	538	548.1 (1.9%)	5,1	545 (1.3%)	5,6	546 (1.5%)	5,8	546.7 (1.6%)	7,4
KroA100	100	21282	21445.3 (0.8%)	10,6	21350 (0.3%)	9,9	21282 (0.0%)	14,0	21824 (2,5%)	16,3
Eil101	101	629	646.4 (2.8%)	13,1	655 (4.1%)	10,6	650 (3.3%)	16,3	654,3 (4%)	25,9
Pr107	107	44303	44793.8 (1.1%)	12,1	44392 (0.2%)	10,8	44413 (0.2%)	16,7	44936.4 (1,4%)	32,7

Як видно з табл. 1, запропонована модифікація мурашиного алгоритму для розв'язання задач комівояжера демонструє прийнятний рівень точності (з відхиленням до 4% у найгірших варіантах), що може вважатися задовільним результатом для застосування у багатьох практичних випадках.

З метою перевірки чутливості алгоритму до динамічних змін у графі було проведено імітаційні дослідження в рамках асиметричної DTSP, які містили в собі різні варіанти оновлення графу під час роботи алгоритму. Для цього, розглянуто двоорієнтований зважений граф, який складається з 10 вершин (вершини нумеруються від 1 до 10). Вага ребер графу задається відповідно до табл. 2 (тут вага ребра p_{ij} з вершини i в вершину j відповідає значенню клітинки таблиці в i -тому рядку, j -тому стовчику). Критерієм оптимізації в проведеному імітаційному дослідженні виступає мінімізація сумарної ваги ребер графу, через які проходить маршрут. Враховуючи, що запропонований в даній статті метод дискретної оптимізації має універсальний характер, величини ваг ребер графу у табл. 2, 3, 4 наведені в умовних одиницях. Це можуть бути значення відстаней проходження транспортними засобами ділянок ВДМ, час проходження цих ділянок тощо.

Таблиця 2 – Початкові ваги ребер графу для проведення імітаційного моделювання (ум.од.)
Table 2 – Initial weights of graph edges for simulation modeling (a.u.)

До \ З	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	305	477	637	451	659	828	684	494	406
2	359	0	464	388	205	410	710	435	519	463
3	481	504	0	457	549	474	669	519	344	501
4	513	361	335	0	264	261	456	374	493	570
5	488	244	492	322	0	459	633	551	669	593
6	455	283	277	201	361	0	642	558	512	512
7	931	801	778	670	626	667	0	403	701	1021
8	682	601	599	466	444	488	485	0	522	769
9	580	580	405	527	566	551	685	535	0	440
10	354	473	444	472	594	494	836	663	327	0

Для динамічного оновлення графу було обрано 5 ребер: 1-2, 2-6, 6-3, 7-8, 10-9, вага яких одночасно змінювалася відповідно до конкретної ситуації в процесі роботи алгоритму (між проведенням ітерацій життя мурашиної колонії). Відповідні зміни ваги ребер у графі та результати імітаційних досліджень подано в таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати побудови оптимального маршруту з врахуванням динамічних змін у графі на ребрах 1-2, 2-6, 6-3, 7-8, 10-9

Table 3 – Results of building the optimal route taking into account dynamic changes in the graph on edges 1-2, 2-6, 6-3, 7-8, 10-9

№	P ₁₋₂ (ум.од.)	P ₂₋₅ (ум.од.)	P ₆₋₃ (ум.од.)	P ₇₋₈ (ум.од.)	P ₁₀₋₉ (ум.од.)	Оптимальний маршрут	Вартість оптимального маршруту (ум.од.)
1	228.75	153.75	207.75	302.25	245.25	2-5-4-7-8-6-3-9-10-1-2	3296.5
2	305	205	277	403	327	2-5-4-7-8-6-3-9-10-1-2	3594
3	335.5	225.5	304.7	443.3	359.7	2-5-4-7-8-6-3-9-10-1-2	3713
4	366	246	332.4	483.6	392.4	2-1-10-9-3-6-4-7-8-5-2	3826
5	396.5	266.5	360.1	523.9	425.1	2-1-10-9-3-6-4-7-8-5-2	3899
6	427	287	387.8	564.2	457.8	2-1-10-3-9-8-7-6-4-5-2	3949
7	457.5	307.5	415.5	604.5	490.5	2-1-10-3-9-8-7-6-4-5-2	3949

В результаті, при проведенні імітаційних досліджень асиметричної DTSP за допомогою запропонованого методу адаптивної оптимізації маршруту з динамічним його оновленням під час перевезень вантажів, було виявлено низку ефектів, пов'язаних з перебудовою маршруту. Як видно з таблиці 3, реалізується 3 різні маршрути, які є оптимальними для різних станів ВДМ: маршрут 2-5-4-7-8-6-3-9-10-1-2 (позначимо як маршрут №1) є оптимальним для модельних ситуацій 1, 2, 3; маршрут 2-1-10-9-3-6-4-7-8-5-2 (позначимо як маршрут №2) є оптимальним для модельних ситуацій 4, 5; маршрут 2-1-10-3-9-8-7-6-4-5-2 (позначимо як маршрут №3) є оптимальним для модельних ситуацій 6, 7.

На рис. 2 графічно показані виявлені оптимальні маршрути для різних випадків імітаційного дослідження. Відповідно, в табл. 4 подано вартість проходження кожного з визначених маршрутів в умовах, що відповідають всім модельним ситуаціям, розглянутим при проведенні даних імітаційних досліджень. Жирним виділено вартість оптимального маршруту для кожної з ситуацій.

Таблиця 4 – Вартість проходження різних маршрутів в графі для розглянутих імітаційних ситуацій

Table 4 – The cost of different routes in the graph for the considered simulation situations

№ ситуації	Вартість маршруту №1	Вартість маршруту №2	Вартість маршруту №3
1	3296.5	3497.5	3949
2	3594	3680	3949
3	3713	3753	3949
4	3832	3826	3949
5	3951	3899	3949
6	4070	3972	3949
7	4189	4045	3949

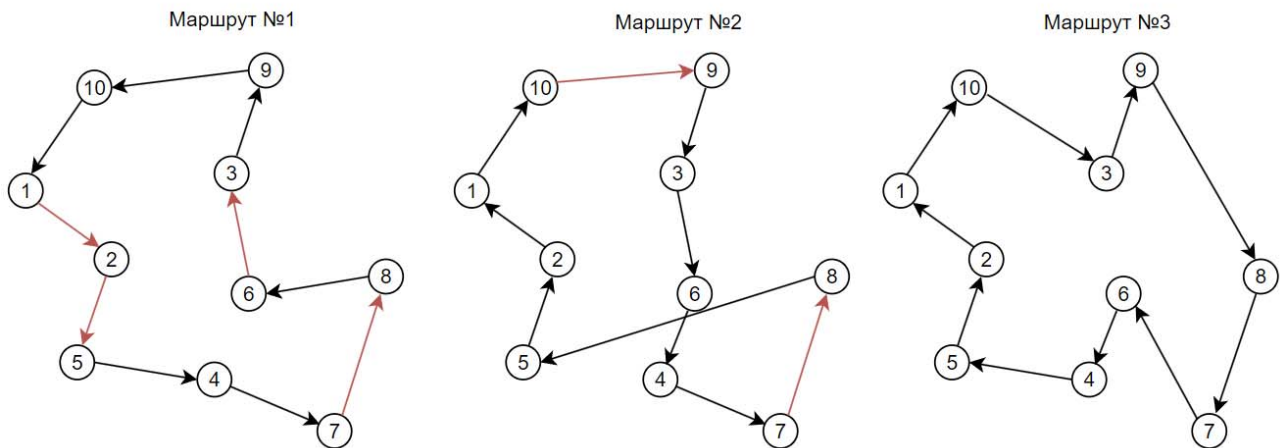


Рисунок 2 – Оптимальні маршрути для різних модельних станів ВДМ згідно даних табл. 3: маршрут №1 для модельних ситуацій 1, 2, 3; маршрут № 2 для модельних ситуацій 4,5; маршрут № 3 для модельних ситуацій 6,7;. Червоним кольором виділено ребра графу, вага яких змінювалась під час проведення імітаційних досліджень

Figure 2 – Optimal routes for different model states of the URN according to the data in the table. 3: route No. 1 for model situations 1, 2, 3; route No. 2 for model situations 4,5; route No. 3 for model situations 6,7;. The edges of the graph, the weight of which changed during simulations, are highlighted in red

Як видно з результатів проведеного дослідження, при динамічній модифікації графу алгоритм дозволяє знаходити оптимальне рішення з врахуванням цих змін. Це свідчить про можливість запропонованого модифікованого алгоритму мурашиної колонії ефективно адаптуватися до динамічних змін у графі та його придатність для розв'язання динамічної задачі комівояжера.

Таким чином, проведений аналіз результатів імітаційних досліджень доводить принципову можливість використання розробленого методу для вирішення задач міської транспортної логістики в онлайн режимі з урахуванням реальної конфігурації ВДМ та динаміки ТП на її ділянках.

Висновки. Запропоновано метод адаптивної оптимізації маршруту в динамічній задачі комівояжера з використанням модифікованого мурашиного алгоритму, в рамках якого реалізована можливість одночасного врахування реальної конфігурації ВДМ та реальної динаміки ТП на її ділянках. Метод передбачає вирішення задачі на двонаправлено орієнтованому зваженому графі, ваги ребер якого задаються відносними величинами відповідно до критерію оптимізації. Для динамічного оновлення графу пропонується використання даних про стан ВДМ, отриманих з датчиків руху або ГІС. Для вирішення асиметричної DTSP на двонаправлено орієнтованому зваженому графі запропоновано використання модифікованого мурашиного алгоритму, в рамках якого реалізована можливість автоматичного оновлення ваг графу в залежності від змін динамічних характеристик на ділянках ВДМ при фіксації оптимальної конфігурації частково пройденого маршруту перед його оновленням.

Для апробації запропонованого методу здійснено комплекс відповідних імітаційних досліджень процесів маршрутизації при різних умовах оптимізації. Так, з метою перевірки адекватності та достовірності запропонованої модифікації мурашиного алгоритму були проведені відповідні тестові дослідження на прикладі набору загально-відомих статичних TSP задач з критерієм оптимізації за відстанню у порівнянні з найбільш поширеними АІ методами дискретної оптимізації. Результати досліджень демонструють прийнятний рівень точності (з відхиленням до 4% у найгірших варіантах), що може вважатися задовільним результатом для застосування у багатьох практичних випадках. При проведенні імітаційних досліджень асиметричної DTSP за допомогою запропонованого методу адаптивної оптимізації маршруту з динамічним його оновленням під час перевезень вантажів, зокрема, було виявлено низку ефектів, пов'язаних з перебудовою маршруту.

Таким чином, на підставі аналізу результатів імітаційних досліджень доведена принципова можливість використання розробленого методу для вирішення задач міської транспортної логістики в онлайн режимі з урахуванням реальної конфігурації ВДМ та динаміки ТП на її ділянках.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Larsen A. (2001). The dynamic vehicle routing problem. Technical University of Denmark. LYNGBY 2001 IMM-PHD-2000-73, 209p. <https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/5261816/imm143.pdf>.
2. Hernandez F., Sotelo R., Forets M. (2024). Optimization algorithms for adaptative route sequencing on real-world last-mile deliveries Ingenius, 2024(31), pp. 64–80. <https://ingenius.ups.edu.ec/index.php/ingenius/article/view/7410>.
3. Erdogan S. (2017). An open source spreadsheet solver for vehicle routing problems. *Computers&Operations Research*, 84, 62–72. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.02.022>.
4. Thompson R.G., Zhang L. (2018). Optimizing courier routes in central city areas. *Transportation Research Part C: Emerging Technology*, 93, 1–12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.05.016>.
5. Jamil A., Abdallah B.N., Leksono V.A. (2021). Firefly algorithm for multi-type vehicle routing problem. *Journal of Physics: Conference Series*, 1726(1), 012006. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1726/1/012006>.
6. Wu H., Gao Y., Wang W., Zhang Z. (2021). A hybrid ant colony algorithm based on multiple strategies for the vehicle routing problem with time windows. *Complex & Intelligent Systems*, 18. doi: <https://doi.org/10.1007/s40747-021-00401-1>.
7. Giuffrida N., Fajardo-Calderin J., Masegosa A. D., Werner F., Steudter M., Pilla F. (2022). Optimization and machine learning applied to last-mile logistics: A review. *Sustainability*, 14(9), 5329. doi: <https://doi.org/10.3390/su14095329>.
8. RTC. The Impact of Emerging Technologies on the Transport System; Research for Tran Committee, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Directorate-General for Internal Policies: Brussels, Belgium. (2020). Available at: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/652226/IPOL_STU\(2020\)652226_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/652226/IPOL_STU(2020)652226_EN.pdf).
9. Zajkani, M. A., Rahimi Baghdorani, R., Haeri, M. (2021). Model predictive based approach to solve DVRP with traffic congestion, *IFAC-Papers On Line* 54(21), 163-167. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.12.028>.
10. Zhang, H., Zhang, Q., Ma, L., Liu, Y. (2019). A hybrid ant colony optimization algorithm for a multi-objective vehicle routing problem with flexible time windows. *Information Sciences*, 490, 166-190. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.03.070>.
11. Belhaiza, S., M'Hallah, R., Brahim, G.B., Laporte, G. (2019). Three multi-start data-driven evolutionary heuristics for the vehicle routing problem with multiple time windows. *Journal of Heuristics*, 25(3), 485–515. doi: <https://doi.org/10.1007/s10732-019-09412-1>.
12. Hoogeboom, M., Dullaert, W. (2019). Vehicle routing with arrival time diversification. *European Journal of Operational Research*, 275(1), 93–107. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.11.020>.
13. Xu, Yu. (2022) Logistics distribution for path optimization using artificial neural network and decision support system. *Research Square*, 1–17. doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1249887/v1>.
14. Zhang, N. (2018). Smart logistics path for cyber-physical systems with Internet of Things. *IEEE Access*, 6, 70808-70819, doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2879966>.
15. Sanchez-Diaz, I., Holguin-Veras, J., Ban, X.J. (2015). A time-dependent freight tour synthesis model. *Transportation Research Part B Methodological*, 78(C), 144–168. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.04.007>.
16. Zhang, L., Thompson, R.G. (2019). Understanding the benefits and limitations of occupancy information systems for couriers. *Transportation Research Part C: Emerging Technology*, 105, 520–535. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.06.013>.
17. Russo, F., Comi, A. (2021). Sustainable urban delivery: The learning process of path costs enhanced by information and communication technologies. *Sustainability*, 13(13103), 1–17. doi: <https://doi.org/10.3390/su132313103>.
18. Danchuk, V., Comi, A., Weiß, C., Svatko, V. (2023). The optimization of cargo delivery processes with dynamic route updates in smart logistics. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – Vol. 2, No.3 (122). – P. 64 – 73. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277583>.
19. Lakshmi S., Ishwarya Srikanth, Arockiasamy M. (2019). Identification of Traffic Accident Hotspots using Geographical Information System. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*. – Vol. 9, Iss. 2. <http://dx.doi.org/10.35940/ijeat.B3848.129219>.
20. Microsoft Bing Maps Documentation – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://learn.microsoft.com/en-us/bingmaps>.

21. Dorigo, M., Di Caro, G.: The ant colony optimization meta-heuristic. In: Corne, D., Dorigo, M., Glover, F. (eds.) *New Idea in Optimization*, pp. 11–32. McGraw-Hill, London (1999).
22. Heidelberg University (2013). TSPLIB – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://comopt.ifl.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95>.

REFERENCES

1. Larsen A. (2001). The dynamic vehicle routing problem. Technical University of Denmark. LYNGBY 2001 IMM-PHD-2000-73, 209p. <https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/5261816/imm143.pdf> [in English].
2. Hernandez F., Sotelo R., Forets M. (2024). Optimization algorithms for adaptative route sequencing on real-world last-mile deliveries Ingenius, 2024(31), pp. 64–80. <https://ingenius.ups.edu.ec/index.php/ingenius/article/view/7410> [in English].
3. Erdogan S. (2017). An open source spreadsheet solver for vehicle routing problems. *Computers&Operations Research*, 84, 62–72. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.02.022> [in English].
- 4.. Thompson R.G., Zhang L. (2018). Optimizing courier routes in central city areas. *Transportation Research Part C: Emerging Technology*, 93, 1–12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.05.016> [in English].
5. Jamil A., Abdallah B.N., Leksono V.A. (2021). Firefly algorithm for multi-type vehicle routing problem. *Journal of Physics: Conference Series*, 1726(1), 012006. doi: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1726/1/012006> [in English].
6. Wu H., Gao Y., Wang W., Zhang Z. (2021). A hybrid ant colony algorithm based on multiple strategies for the vehicle routing problem with time windows. *Complex & Intelligent Systems*, 18. doi: <https://doi.org/10.1007/s40747-021-00401-1> [in English].
7. Giuffrida N., Fajardo-Calderin J., Masegosa A. D., Werner F., Steudter M., Pilla F. (2022). Optimization and machine learning applied to last-mile logistics: A review. *Sustainability*, 14(9), 5329. doi: <https://doi.org/10.3390/su14095329> [in English].
8. RTC. The Impact of Emerging Technologies on the Transport System; Research for Tran Committee, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Directorate-General for Internal Policies: Brussels, Belgium. (2020). Available at: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/652226/IPOL_STU\(2020\)652226_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/652226/IPOL_STU(2020)652226_EN.pdf) [in English].
9. Zajkani, M. A., Rahimi Baghdorani, R., Haeri, M. (2021). Model predictive based approach to solve DVRP with traffic congestion, *IFAC-Papers On Line* 54(21), 163-167. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.12.028> [in English].
10. Zhang, H., Zhang, Q., Ma, L., Liu, Y. (2019). A hybrid ant colony optimization algorithm for a multi-objective vehicle routing problem with flexible time windows. *Information Sciences*, 490, 166-190. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.03.070> [in English].
11. Belhaiza, S., M'Hallah, R., Brahim, G.B., Laporte, G. (2019). Three multi-start data-driven evolutionary heuristics for the vehicle routing problem with multiple time windows. *Journal of Heuristics*, 25(3), 485–515. doi: <https://doi.org/10.1007/s10732-019-09412-1> [in English].
12. Hoogeboom, M., Dullaert, W. (2019). Vehicle routing with arrival time diversification. *European Journal of Operational Research*, 275(1), 93–107. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.11.020> [in English].
13. Xu, Yu. (2022) Logistics distribution for path optimization using artificial neural network and decision support system. *Research Square*, 1–17. doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1249887/v1> [in English].
14. Zhang, N. (2018). Smart logistics path for cyber-physical systems with Internet of Things. *IEEE Access*, 6, 70808-70819, doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2879966> [in English].
15. Sanchez-Diaz, I., Holguin-Veras, J., Ban, X.J. (2015). A time-dependent freight tour synthesis model. *Transportation Research Part B Methodological*, 78(C), 144–168. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2015.04.007> [in English].
16. Zhang, L., Thompson, R.G. (2019). Understanding the benefits and limitations of occupancy information systems for couriers. *Transportation Research Part C: Emerging Technology*, 105, 520–535. doi: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.06.013> [in English].
17. Russo, F., Comi, A. (2021). Sustainable urban delivery: The learning process of path costs enhanced by information and communication technologies. *Sustainability*, 13(13103), 1–17. doi: <https://doi.org/10.3390/su132313103> [in English].

18. Danchuk, V., Comi, A., Weiß, C., Svatko, V. (2023). The optimization of cargo delivery processes with dynamic route updates in smart logistics. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – Vol. 2, No.3 (122). – P. 64 – 73. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277583> [in English].
19. Lakshmi S., Ishwarya Srikanth, Arockiasamy M. (2019). Identification of Traffic Accident Hotspots using Geographical Information System. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*. – Vol. 9, Iss. 2. <http://dx.doi.org/10.35940/ijeat.B3848.129219> [in English].
20. Microsoft Bing Maps Documentation. [learn.microsoft.com](https://learn.microsoft.com/en-us/bingmaps). Retrieved from <https://learn.microsoft.com/en-us/bingmaps> [in English].
21. Dorigo, M., Di Caro, G.: The ant colony optimization meta-heuristic. In: Corne, D., Dorigo, M., Glover, F. (eds.) *New Idea in Optimization*, pp. 11–32. McGraw-Hill, London (1999) [in English].
22. Heidelberg University (2013). TSPLIB. comopt.ifi.uni-heidelberg.de. Retrieved from <http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95> [in English].

РЕФЕРАТ

Данчук В.Д. Метод адаптивної оптимізації маршруту в динамічній задачі комівояжера з використанням модифікованого мурашиного алгоритму / В. Д. Данчук, О. С. Гутаревич // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

У статті запропоновано метод адаптивної оптимізації маршруту в динамічній задачі комівояжера з використанням модифікованого мурашиного алгоритму. Метод передбачає знаходження оптимального маршруту на двонаправлено орієнтованому зваженому графі, вага ребер якого задається відносними дискретними величинами у відповідності до критерію оптимізації. Для побудови такого графу на основі вхідних даних щодо точок доставки вантажів використовується відповідна інформація, отримана за допомогою сучасних геоінформаційних систем (ГІС). Для динамічного оновлення графу використовується інформація, яку отримують з детекторів руху, розташованих на ділянках вулично-дорожньої мережі (ВДМ) та з програмних інтерфейсів ГІС.

Для проведення дискретної оптимізації маршруту в рамках розв'язку асиметричної динамічної задачі комівояжера (DTSP) розроблено модифікацію мурашиного алгоритму, в рамках якої реалізована можливість автоматичного оновлення ваг графу в залежності від змін динамічних характеристик на ділянках ВДМ при фіксації оптимальної конфігурації частково пройденого маршруту перед його оновленням.

Для апробації запропонованого методу здійснено комплекс відповідних імітаційних досліджень процесів маршрутизації при різних умовах оптимізації. Так, з метою перевірки адекватності та достовірності запропонованої модифікації мурашиного алгоритму були проведені відповідні тестові дослідження на прикладі набору загальновідомих статичних TSP задач з критерієм оптимізації за відстанню у порівнянні з найбільш поширеними AI методами дискретної оптимізації. Результати досліджень демонструють прийнятний рівень точності (з відхиленням до 4% у найгірших варіантах), що може вважатися задовільним результатом для застосування у багатьох практичних випадках. При проведенні імітаційних досліджень асиметричної DTSP за допомогою запропонованого методу адаптивної оптимізації маршруту з динамічним його оновленням під час перевезень вантажів, зокрема, було виявлено низку ефектів, пов'язаних з перебудовою маршруту.

Таким чином, на підставі аналізу результатів імітаційних досліджень доведена принципова можливість використання розробленого методу для вирішення задач міської транспортної логістики в онлайн режимі з урахуванням реальної конфігурації ВДМ та динаміки ТП на її ділянках.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ, ЗАДАЧА КОМІВОЯЖЕРА, МУРАШИНИЙ АЛГОРИТМ, ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ, ТРАНСПОРТНА ЛОГІСТИКА, ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЯ МЕРЕЖА, ТРАНСПОРТНИЙ ПОТІК.

ABSTRACT

Danchuk V.D., Hutarevych O.S. Adaptive route optimization method for the dynamic traveling salesman problem using the modified ant colony algorithm. *Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences»*. Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

The article proposes an adaptive route optimization method for solving dynamic traveling salesman problem using a modified ant colony algorithm. The method involves finding the optimal route on a

bidirectional weighted graph, where the edge weights are defined by relative discrete values according to the optimization criterion. Relevant information obtained from modern geographic information systems (GIS) is utilized to construct such a graph based on input data regarding cargo delivery points. Additionally, information from motion detectors located on road network sections and GIS software interfaces is used for dynamic graph updates.

To perform discrete route optimization within the solution of the asymmetric dynamic traveling salesman problem (DTSP), a modification of the ant colony algorithm has been developed. This modification implements automatic updating of the graph's weights based on changes in dynamic characteristics on sections of the road network, upon fixation of the optimal configuration of the partially traversed route prior to its update.

To validate the proposed method, a comprehensive set of simulation studies on routing processes under various optimization conditions was conducted. Specifically, to assess the adequacy and reliability of the proposed modification of the ant colony algorithm, corresponding test studies were conducted using a set of well-known static traveling salesman problems with distance optimization criteria in comparison with the most common AI methods of discrete optimization. The research results demonstrate an acceptable level of accuracy (with deviations up to 4% in the worst-case scenarios), which can be considered satisfactory for application in many practical cases. Furthermore, simulation studies of solving the asymmetric DTSP using the proposed adaptive route optimization method with dynamic route updates during cargo transportation revealed several effects associated with route reconstruction.

Thus, based on the analysis of simulation results, the fundamental feasibility of using the developed method for solving urban transport logistics problems in real-time considering the actual configuration of the road network and the dynamics of traffic flows on its segments has been demonstrated.

KEYWORDS: INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEM, INTELLIGENT OPTIMIZATION METHODS, TRAVELING SALESMAN PROBLEM, ANT COLONY ALGORITHM, INFORMATION TECHNOLOGIES, GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, TRANSPORT LOGISTICS, ROAD NETWORK, TRAFFIC FLOW.

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.

Гутаревич Олександр Сергійович, Національний транспортний університет, аспірант кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: oleksandr.hutarevych@gmail.com, тел. +380984420646, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 202, orcid.org/0009-0003-7355-8160.

AUTHORS:

Danchuk V.D., Dr. Sc. (Phys.-Math.), National Transport University, Dean of the Faculty of Transport and Information Technology, e-mail: vdanchuk@ukr.net, tel. +380996376677 Ukraine, 01010, Kyiv, M. Boychuk str. 42, of. 211, orcid.org/0000-0003-3936-4509.

Hutarevych O.S., National Transport University, PhD student, e-mail: oleksandr.hutarevych@gmail.com, tel. +380984420646, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Boychuk str. 42, of. 202, orcid.org/0009-0003-7355-8160.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мусієнко А. П., доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», професор кафедри автоматизації проектування енергетичних процесів і систем, Київ, Україна

Аль-Амморі Алі, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Musienko Andrii P., Doctor of Technical Science, Professor, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Professor of the Department of Automation of Design of Energy Processes and Systems, Kyiv, Ukraine.

Al-Ammori Ali, Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Head of the Department of Information and Analytical Activity and Information Security, Kyiv, Ukraine.

СТУДЕНТСЬКЕ САМОВРЯДУВАННЯ В КОЛЕДЖАХ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Кірічок О.Г., кандидат технічних наук, Рівне, Україна, k@at.rv.ua, orcid.org/0000-0002-1596-1045

Маліченко В.І., Відокремлений структурний підрозділ «Рівненський автотранспортний фаховий коледж Національного університету водного господарства та природокористування», Рівне, Україна, vova-mal@ukr.net, orcid.org/0000-0002-3885-076X

Марценюк М.В., Відокремлений структурний підрозділ «Рівненський автотранспортний фаховий коледж Національного університету водного господарства та природокористування», Рівне, Україна, m@at.rv.ua, orcid.org/0000-0002-6077-0184

STUDENT SELF-GOVERNMENT IN THE COLLEGES OF NATIONAL UNIVERSITY OF WATER AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Kirichok O.G., Ph.D., Rivne, Ukraine, k@at.rv.ua, orcid.org/0000-0002-1596-1045

Malichenko V.I., Rivne Motor Transport Professional College, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine, vova-mal@ukr.net, orcid.org/0000-0002-3885-076X

Martseniuk M.V., Rivne Motor Transport Professional College, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine, m@at.rv.ua, orcid.org/0000-0002-6077-0184

Постановка проблеми. Студентське самоврядування у коледжі – це самостійна громадська діяльність студентів із реалізації функцій управління вищим навчальним закладом, яка визнається адміністрацією коледжу і здійснюється студентами відповідно до мети і завдань, що стоять перед студентським колективом.

Розгляд і аналіз прав та обов'язків учасників студентського самоврядування має велике теоретичне і практичне значення, оскільки від них залежить результативність навчально-виховного процесу у закладах вищої і передвищої освіти.

Далі розглянуті основні положення щодо категорій навчального процесу, прав та обов'язків учасників студентського самоврядування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми розвитку громадського і студентського самоврядування висвітлені в Законах України «Про освіту» [1, ст. 70], «Про вищу освіту» [2, ст. 39, 40], «Про фахову передвищу освіту» [3, ст. 40, 41], в роботах Михайлюка А. [4], Трибулькевич К. [5], Давидюка М. [6] та ін.

Аналіз теоретичних і методологічних питань щодо учасників студентського самоврядування є актуальним і потребує глибокого та всебічного дослідження.

Формування цілей статті (постановка завдання). Метою дослідження є розгляд питань щодо розвитку прав та обов'язків учасників студентського самоврядування.

Завдання дослідження, викладеного у статті, полягає в характеристиці прав та обов'язків учасників студентського самоврядування.

У закладах вищої освіти та їх структурних підрозділах діє студентське самоврядування, яке є невід'ємною частиною громадського самоврядування відповідних навчальних закладів (стаття 40 Закону України «Про вищу освіту») [7].

Виклад основного матеріалу дослідження. Студентське самоврядування – це право і можливість студентів (курсантів, крім курсантів-військовослужбовців) вирішувати питання навчання і побуту, захисту прав та інтересів студентів, а також брати участь в управлінні закладом вищої освіти.

Студентське самоврядування у закладі вищої освіти – невід'ємна частина громадського самоврядування, що забезпечує захист прав і інтересів осіб, які навчаються у закладі вищої освіти, та їхню участь в управлінні закладом вищої і передвищої освіти.

Також його можна тлумачити як самостійну громадську діяльність студентів з реалізації функцій управління закладом вищої і передвищої освіти, яка визначається ректоратом (адміністрацією), деканатами (відділеннями) та здійснюється студентами згідно з метою й завданнями, які стоять перед студентськими колективами, функціонує з метою забезпечення виконання студентами своїх обов'язків і захисту їхніх прав й сприяє гармонійному розвитку особистості студента, формуванню у нього навичок майбутнього організатора, керівника [8].

У студентському самоврядуванні беруть участь особи, які навчаються у закладі вищої і передвищої освіти. Усі такі особи мають рівне право на участь у студентському самоврядуванні. Воно здійснюється особами, які навчаються в закладі вищої і передвищої освіти безпосередньо: через органи студентського самоврядування, що обираються шляхом таємного голосування.

Органи студентського самоврядування діють на принципах:

- 1) добровільності, колегіальності, відкритості;
- 2) виборності та звітності органів студентського самоврядування;
- 3) рівності права студентів (курсантів) на участь у студентському самоврядуванні;
- 4) незалежності від впливу політичних партій та релігійних організацій (крім вищих духовних навчальних закладів).

Студентське самоврядування здійснюється на рівні студентської групи, інституту (факультету), відділення, гуртожитку, закладу і вищої і передвищої освіти. Залежно від контингенту студентів (курсантів), типу та специфіки закладу вищої і передвищої освіти студентське самоврядування може здійснюватися на рівні курсу, спеціальності, студентського містечка, структурних підрозділів закладу передвищої і вищої освіти.

Органи студентського самоврядування можуть мати різноманітні форми (парламент, сенат, старостат, студентський ректорат, студентські деканати, студентські ради тощо).

Представницькі, виконавчі та контрольно-ревізійні органи студентського самоврядування обираються строком на один рік. Студенти (курсанти), обрані до складу органів студентського самоврядування, можуть бути усунені із своїх посад за результатами загального таємного голосування студентів. Для ініціювання такого голосування потрібно зібрати підписи не менш як 10 відсотків студентів (курсантів) закладу вищої і передвищої освіти.

Органи студентського самоврядування:

- 1) беруть участь в управлінні закладом вищої і передвищої освіти у порядку, встановленому Законами України «Про вищу освіту» і «Про передвищу освіту» та статутом закладу вищої освіти;
- 2) беруть участь в обговоренні та вирішенні питань удосконалення освітнього процесу, науково-дослідної роботи, призначення стипендій, організації дозвілля, оздоровлення, побуту та харчування;
- 3) проводять організаційні, просвітницькі, наукові, спортивні, оздоровчі та інші заходи;
- 4) беруть участь у заходах (процесах) щодо забезпечення якості вищої і передвищої освіти;
- 5) захищають права та інтереси студентів (курсантів), які навчаються у закладі вищої і передвищої освіти;
- 6) делегують своїх представників до робочих, консультативно-дорадчих органів;
- 7) приймають акти, що регламентують їх організацію та діяльність;
- 8) беруть участь у вирішенні питань забезпечення належних побутових умов проживання студентів у гуртожитках та організації харчування студентів;
- 9) розпоряджаються коштами та іншим майном, що перебувають на балансі та банківських рахунках органів студентського самоврядування;
- 10) вносять пропозиції щодо змісту навчальних планів і програм;
- 11) вносять пропозиції щодо розвитку матеріальної бази закладу вищої і передвищої освіти, у тому числі з питань, що стосуються побуту та відпочинку студентів;
- 12) мають право оголошувати акції протесту;
- 13) виконують інші функції, передбачені законодавством та положенням про студентське самоврядування закладу вищої і передвищої освіти.

За погодженням з органом студентського самоврядування закладом вищої і передвищої освіти приймаються рішення про:

1) відрахування студентів (курсантів) із закладу вищої і передвищої освіти та їх поновлення на навчання;

2) переведення осіб, які навчаються у закладі вищої і передвищої освіти за державним замовленням, на навчання за контрактом за рахунок коштів фізичних (юридичних) осіб;

3) переведення осіб, які навчаються у закладі вищої освіти за рахунок коштів фізичних (юридичних) осіб, на навчання за державним замовленням;

4) призначення заступника декана факультету, заступника директора інституту (коледжу), заступника керівника закладу вищої і передвищої освіти;

5) поселення осіб, які навчаються у закладі вищої і передвищої освіти, у гуртожиток і виселення їх із гуртожитку;

6) затвердження правил внутрішнього розпорядку закладу вищої освіти і передвищої в частині, що стосується осіб, які навчаються;

7) діяльність студентських містечок та гуртожитків для проживання осіб, які навчаються у закладі вищої і передвищої освіти.

Вищим органом студентського самоврядування є загальні збори (конференція) студентів (курсантів), які:

1) ухвалюють положення про студентське самоврядування закладу вищої і передвищої освіти, визначають структуру, повноваження та порядок проведення прямих таємних виборів представницьких та виконавчих органів студентського самоврядування;

2) заслуховують звіти представницьких, виконавчих і контрольно-ревізійних органів студентського самоврядування, дають їм відповідну оцінку;

3) затверджують процедуру використання майна та коштів органів студентського самоврядування, підтримки студентських ініціатив на конкурсних засадах;

4) затверджують річний кошторис витрат (бюджет) органів студентського самоврядування, вносять до нього зміни та доповнення, заслуховують звіт про його виконання;

5) обирають контрольно-ревізійну комісію з числа студентів (курсантів) для здійснення поточного контролю за станом використання майна та виконання бюджету органів студентського самоврядування.

Адміністрація закладу вищої передвищої освіт не має права втручатися в діяльність органів студентського самоврядування [9].

Фінансовою основою студентського самоврядування є:

1) кошти, визначені вченою радою закладу вищої і передвищої освіти в розмірі не менш як 0,5 відсотка власних надходжень, отриманих закладом вищої і передвищої освіти від основної діяльності;

2) членські внески студентів (курсантів), розмір яких встановлюється вищим органом студентського самоврядування закладу вищої і передвищої освіти. Розмір місячного членського внеску однієї особи не може перевищувати 1 відсотка прожиткового мінімуму, встановленого законом.

Органи студентського самоврядування публічно звітують про використання коштів та виконання кошторисів не рідше одного разу на рік.

Студентське самоврядування в коледжах університету функціонує з метою забезпечення виконання студентами своїх обов'язків та захисту їхніх прав і сприяє гармонійному розвитку особистості студента коледжу, формування у нього навичок майбутнього організатора, керівника. Перелік питань, що належать до компетенції органів студентського самоврядування, погоджується з ректором (директором). У своїй діяльності органи студентського самоврядування керуються чинним законодавством, рішеннями Міністерства освіти і науки України, Положенням про Заклад вищої освіти та Статутом університету (коледжу).

Основними завданнями органів студентського самоврядування є:

- забезпечення і захист прав та інтересів студентів;
- забезпечення виконання студентами своїх обов'язків;
- сприяння навчальній, науковій та творчій діяльності студентів;
- сприяння у створенні необхідних умов для проживання і відпочинку студентів;
- створення різноманітних студентських гуртків, товариств, об'єднань, клубів за інтересами;

- організація співробітництва із студентами інших закладів вищої і передвищої освіти та молодіжними організаціями;
- сприяння працевлаштуванню випускників;
- участь у вирішенні питань міжнародного обміну студентами;
- сприяння проведенню серед студентів соціологічних досліджень.

Студентське самоврядування здійснюється на рівні академічної групи, спеціальності, інституту, факультету, коледжу, гуртожитку, студентського містечка.

Найвищим органом студентського самоврядування є конференція студентів університету, на якій затверджується Положення про студентське самоврядування, обирається виконавчий орган студентського самоврядування, визначається його структура, термін повноважень, заслуховується його звіт.

Виконавчий орган студентського самоврядування академічної групи, гуртожитку обирається на загальних зборах студентів цього підрозділу, а спеціальності, інституту, факультету, коледжу студентського містечка – на конференції.

Студентські органи самоврядування можуть мати різноманітні форми (сенат, парламент, старостат, студентська навчальна частина, студентські деканати, ради тощо).

Соціальний захист студентів регулюється колективним договором, а інтереси студентів з питань соціального захисту відстоює профспілковий комітет студентів [9].

Це положення знаходиться на сайті Національного університету водного господарства та природокористування і було затверджене 2007 року. Зміни та доповнення до даного положення можуть вноситись на початку кожного нового навчального року.

Студентське самоврядування коледжів НУВГП – це самостійна громадська діяльність студентів коледжів із реалізації функцій управління закладом вищої і передвищої освіти, яка визначається ректоратом, деканатами (директоратами) і здійснюється виконавчим органом студентського самоврядування – Студентською радою НУВГП відповідно до мети і завдань, що стоять перед студентськими колективами.

У своїй діяльності Студентські ради коледжів НУВГП керуються чинним законодавством, положенням про студентське самоврядування у закладах вищої і передвищої освіти, затвердженим наказом МОН України № 166 від 3 квітня 2001 року, рішеннями Міністерства освіти і науки України, Статут НУВГП, який не дублює профспілкову організацію, користується допомогою і підтримкою ректорату та профспілкового комітету студентів, зокрема, у вирішенні питань забезпечення приміщеннями, обладнанням, документацією та ін. Студентські ради коледжів НУВГП не залежать від релігійних об'єднань, політичних партій та рухів.

Мета створення Студентських рад коледжів НУВГП – розвиток ініціативи та самоврядування студентів у вирішенні всіх питань університетського життя, широке та активне залучення майбутніх фахівців до управління державними та суспільними справами.

Діяльність Студентських рад коледжів НУВГП направлена на удосконалення навчально-виховного процесу, спрямованого на якісне навчання, виховання духовності і культури студентів, зростання у студентської молоді соціальної активності та відповідальності за доручену справу.

Самоврядування студентів здійснюється шляхом їх активної та дієвої участі в житті університету в цілому, а через своїх представників – в адміністративних органах коледжів, факультетів (інститутів) та університету.

Основні завдання Студентських рад коледжів НУВГП:

- забезпечення і захист прав та інтересів студентів;
- забезпечення виконання студентами своїх обов'язків;
- сприяння навчальній, науковій та творчій діяльності студентів;
- сприяння у створенні необхідних умов для проживання і відпочинку студентів;
- створення різноманітних студентських гуртків, товариств, об'єднань, клубів за інтересами;
- організація співробітництва із студентами інших закладів вищої і передвищої освіти і молодіжними організаціями;
- безпосередня участь студентів у реалізації державної молодіжної політики;
- забезпечення інформаційно-молодіжної, правової, психологічної, фінансової допомоги студентам (спільно з відповідними службами);

- координація діяльності старостату, кураторів академічних груп, студентського профкому;
- контроль за навчальною і трудовою дисципліною студентів, оперативне реагування на їх порушення;
- залучення студентів до художньої самодіяльності;
- проведення вечорів відпочинку, конкурсів, КВК (Клуб веселих і кмітливих), посвяти в студенти, випускних вечорів, днів факультету (інституту, коледжу);
- участь у поселенні та виселенні студентів з гуртожитків;
- разом з деканатами (директоратами), відділом у справах студентів, господарською службою закладу вищої і передвищої освіти, директором студентського містечка, завідувачами гуртожитків представники Студентської ради коледжу беруть участь в організації належного побуту, відпочинку і дозвілля студентів у гуртожитках;
- координація роботи з викладачами, наставниками академічних груп студентів та кафедрами, деканатами факультетів, директоратами інститутів, коледжів;
- організація чергування студентів і сприяння налагодженню пропускового режиму в гуртожитках;
- активна участь у роботі з організації змагань за зразкові кімнати, поверхи, гуртожитки, економії електроенергії та ін.;
- пропаганда здорового способу життя, запобігання вчиненню студентами правопорушень.

Робота Студентських рад коледжів НУВГП здійснюється на рівні академічних груп, коледжів, гуртожитків, студентського містечка. Загальне керівництво та координування діяльності Студентських рад коледжів НУВГП здійснює голова ради, який обирається відкритим голосуванням на зборах Студентських рад коледжів.

Голова ради коледжу:

- організовує роботу органів студентського самоврядування;
- скликає Студентську раду коледжу НУВГП і головує на її засіданнях і зборах;
- діє без доручень від імені студентства, представляє його у відносинах з іншими юридичними особами та громадянами;
- на запрошення ректорату бере участь у засіданнях вченої ради НУВГП, де обговорюються питання діяльності органів студентського самоврядування, проблемні питання студентського життя;
- здійснює інші функції з оперативного управління студентським самоврядуванням, за винятком віднесених до виключної компетенції Студентської ради університету;
- голова може прийняти рішення про делегування частини своїх повноважень до компетенції свого заступника.

Висновки. *Студентське самоврядування* – це право і можливість студентів вирішувати питання навчання і побуту, захисту своїх прав та інтересів, а також брати участь в управлінні коледжем.

Студентське самоврядування здійснюється студентами коледжу безпосередньо, а також через органи студентського самоврядування, що обираються у порядку, визначеному діючим законодавством.

У своїй діяльності органи студентського самоврядування керуються чинним законодавством України, Статутом, Положенням про студентське самоврядування коледжу Національного університету водного господарства та природокористування.

Головною метою студентського самоврядування є створення умов для самореалізації молодих людей в інтересах особистості, суспільства та прав студентів, формування лідерських якостей, національно-патріотичної свідомості та життєвих компетенцій.

Діяльність органів студентського самоврядування направлена на вдосконалення освітнього процесу, підвищення його якості, забезпечення виховання духовності та культури студентів, зростання у студентській молоді громадянської активності [10].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Закон України «Про освіту»: Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, №№ 38-39, ст.380.
2. Закон України «Про вищу освіту»: Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, №№ 37-38, ст.2004.

3. Закон України «Про фахову передвищу освіту»: Відомості Верховної Ради (ВВР), 2019, №№ 30, ст.119.
4. Студентське самоврядування для «чайників». За ред. А. Михайлюка. ВМГО «Молодий рух», Всеукраїнська мережа студентських громад, 2005.
5. Трибулькевич К. Г. Розвиток студентського самоврядування у вищих навчальних закладах України (1917-2010 рр.). – Одеса, 2016.
6. Давидюк М. І. Роль студентського самоврядування у формуванні національної еліти України: політикокультурний контекст. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата політичних наук. – К., 2015.
7. Щодо діяльності органів студентського самоврядування. Лист Міністерства освіти і науки України № 1/9-427 від 08.09.2015 р.
8. Кірічок О. Г. Психологічні особливості виховної роботи в ВУЗі як важливого елемента ступеневої освіти: Науково-методичний журнал «Нова педагогічна думка». – Вип. № 1. – Рівне: НУВГП, 2013. – С. 53-55.
9. Кірічок О. Г. Організація виховної роботи зі студентами – майбутніми фахівцями з транспортних технологій у вищому навчальному закладі: Матеріали I Міжнародної науково-методичної конференції «Децентралізація влади, проведення реформ в Україні. Сучасний стан та проблеми підготовки кадрів для об'єднаних територіальних громад», 19-20 жовтня 2017 р. – Рівне: Волин. береги, 2017. – С. 167-168. – ISSN 978-966-416-521-8.
10. Антонюк В., Шевченко О., Кірічок О. Особливості виховної роботи у закладах вищої освіти: Матеріали I Всеукраїнської науково-методичної конференції «Сучасні педагогічні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців у коледжах і технікумах: досвід, проблеми, перспективи», м. Вінниця, 28-29 березня 2019 р. – Вип. № 1 (6). – Вінниця: ФОП Рогальська І. О., 2019. – С. 413-414. – ISBN 978-617-7556-49-6.

REFERENCES

1. Law of Ukraine 'On Education': Bulletin of the Verkhovna Rada (VVR), 2017, No. 38-39, Article 380.
2. Law of Ukraine 'On Higher Education': Bulletin of the Verkhovna Rada (VVR), 2014, No. 37-38, Article 2004.
3. Law of Ukraine 'About Professional Reliminary Education: Bulletin of the Verkhovna Rada (VVR), 2019, No. 30, Article 119.
4. Student self-government for "teapots". Under the editorship A. Mykhailiuk. VMGO "Young Movement", All-Ukrainian network of student communities, 2005.
5. Trybulkevich K. G. Development of student self-government in higher educational institutions of Ukraine (1917-2010). – Odesa, 2016.
6. Davidyuk M. I. The role of student self-government in the formation of the national elite of Ukraine: political and cultural context. Dissertation for obtaining the scientific degree of candidate of political sciences. - K., 2015.
7. Regarding the activity of student self-government bodies. Letter of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 1/9-427 dated September 8, 2015.
8. Kirichok O.G. (2013). Psychologichni osoblyvosti vyhovnoyi roboty v VUZi yak vazhlyvogo elementa stupenevoyi osvity: Scientific and methodological journal 'New Pedagogical Thought'. Issue No. 1. Rivne. NUVHP, 53-55.
9. Kirichok O.G. (2017). Organizaciya vyhovnoyi roboty zi studentamy –: maybutnimy fahivcyamy z transportnyh tehnologiy u vyshchomu navchalnomu zakladi. Materials of the 1st International scientific and methodological conference "Decentralization of power, implementation of reforms in Ukraine. Current state and problems of personnel training for united territorial communities", October 19-20, 2017. Rivne. Volyn. Berehy, 167-168.
10. Antoniuk V., Shevchenko O. & Kirichok O. (2019). Osoblyvosti vyhovnoyi roboty u zakladah vyshchoyi osvity. Materials of the 1st All-Ukrainian scientific and methodological conference 'Modern pedagogical technologies and innovative teaching methods in the training of specialists in colleges and

technical schools: experience, problems, prospects', Vinnytsia, March 28-29, 2019. Issue No. 1 (6). – Vinnytsia: FOP Rogalska I. O., 413-414.

РЕФЕРАТ

Кірічок О. Г. Студентське самоврядування в коледжах Національного університету водного господарства та природокористування / О.Г. Кірічок, В.І. Маліченко, М.В. Марценюк // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

В статті представлений аналіз теоретичних та методологічних питань щодо категорій учасників студентського самоврядування, дана їх характеристика. Особлива увага в статті приділена розгляду прав та обов'язків учасників студентського самоврядування.

Об'єкт дослідження – права та обов'язки учасників студентського самоврядування.

Мета роботи – розгляд теоретичних основ концептуального підходу до розвитку категорій учасників студентського самоврядування.

Метод дослідження – багатофакторний аналіз умов функціонування об'єкта дослідження.

Студентське самоврядування у коледжі – це самостійна громадська діяльність студентів із реалізації функцій управління вищим навчальним закладом, яка визнається адміністрацією коледжу і здійснюється студентами відповідно до мети і завдань, що стоять перед студентським колективом.

Розгляд і аналіз прав та обов'язків учасників студентського самоврядування має велике теоретичне і практичне значення, оскільки від них залежить результативність навчально-виховного процесу у закладах передвищої і вищої освіти.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ГРОМАДСЬКЕ І СТУДЕНТСЬКЕ САМОВРЯДУВАННЯ, КОЛЕДЖ, НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ, ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД, ПЕРЕДВИЩА І ВИЩА ОСВІТА, ТЕОРЕТИЧНЕ І ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ, ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ, ОРГАНИ СТУДЕНТСЬКОГО САМОВРЯДУВАННЯ, ПРИНЦИП, ЗАГАЛЬНІ ЗБОРИ (КОНФЕРЕНЦІЯ), ФІНАНСОВА ОСНОВА, ЗАВДАННЯ СТУДЕНТСЬКОГО САМОВРЯДУВАННЯ.

ABSTRACT

Kirichok O.G., Malichenko V.I., Malichenko V.I. Student self-government in the colleges of National university of water and environmental engineering. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

The article presents an analysis of theoretical and methodological issues regarding the categories of student self-government participants, their characteristics are given. Special attention is paid in the article to consideration of the rights and obligations of participants in student self-government.

The object of the study is the rights and obligations of participants in student self-government.

The purpose of the work is to consider the theoretical foundations of the conceptual approach to the development of categories of student self-government participants.

The research method is a multifactorial analysis of the conditions of the research object's functioning.

Student self-government in the college is an independent public activity of students to implement the functions of managing a higher educational institution, which is recognized by the college administration and is carried out by students in accordance with the goals and tasks facing the student body.

Consideration and analysis of the rights and responsibilities of student self-government participants is of great theoretical and practical importance, since the effectiveness of the educational process in pre-higher and higher education institutions depends on them.

KEY WORDS: PUBLIC AND STUDENT GOVERNMENT, COLLEGE, NATIONAL UNIVERSITY OF WATER MANAGEMENT AND NATURAL USE, HIGHER EDUCATION INSTITUTION, PRIVATE AND HIGHER EDUCATION, THEORETICAL AND PRACTICAL SIGNIFICANCE, INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION, BODIES OF STUDENT SELF-GOVERNMENT, PRINCIPLE, GENERAL MEETINGS (CONFERENCE), FINANCIAL BASIS, TASKS OF STUDENT SELF-GOVERNMENT.

АВТОРИ:

Кірічок Олександр Георгійович, кандидат технічних наук, доцент, тел. +380966011013, email: k@at.rv.ua, orcid.org/0000-0002-1596-1045.

Маліченко Володимир Ілліч, викладач, Відокремлений структурний підрозділ «Рівненський автотранспортний фаховий коледж Національного університету водного господарства та природокористування», тел. +380972667356, Україна, 33028, м. Рівне, вул. Відінська, 35, к. 30, email: vova-mal@ukr.net, orcid.org/0000-0002-3885-076X.

Марценюк Микола Васильович, викладач, Відокремлений структурний підрозділ «Рівненський автотранспортний фаховий коледж Національного університету водного господарства та природокористування», тел. +380976458398, Україна, 33028, м. Рівне, вул. Відінська, 35, к. 32, email: m@at.rv.ua, orcid.org/0000-0002-6077-0184.

AUTHORS:

Kirichok Oleksandr G., Ph.D., docent, tel. +380966011013, email: k@at.rv.ua orcid.org/0000-0002-1596-1045.

Malichenko Volodimir I., teacher, The Separate Structural Unit «Rivne Autotransport College The National University of Water and Environmental Engineering», email: vova-mal@ukr.net, tel. +380972667356, Ukraine, 33018, Rivne, Vidinska str., 35, of. 30, orcid.org/0000-0002-3885-076X.

Martsenyuk Mykola I., teacher, The Separate Structural Unit «Rivne Autotransport College The National University of Water and Environmental Engineering», email: m@at.rv.ua, tel. +380976458398, Ukraine, 33018, Rivne, Vidinska str., 31, of. 32, orcid.org/0000-0002-6077-0184.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мальчик М.А., доктор економічних наук, професор, Національний університет водного господарства та природокористування, завідувач кафедри маркетингу, Рівне, Україна.

Баранов Г.Л., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, Київ, Україна.

REVIEWER:

Malchuk M.A., doctor of economics, professor, National University of Water and Environmental Engineering, head of the department of marketing, Rivne, Ukraine.

Baranov G.L., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine.

ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ СУЧАСНИХ ДВИГУНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЦИФРОВОГО ОСЦИЛОГРАФА

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, інструктор з технічного навчання, 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

Паулюкас А., доктор технічних наук, Університет Вітовта Великого, Каунас, Литва, arvydas.pauliukas@vdu.l, orcid.org/0000-0002-9934-7033

MODERN ENGINE FUEL SYSTEMS DIAGNOSTIC USING A DIGITAL OSCILLOSCOPE

Korpach A.O., Ph.D., National Transport university, Kyiv, Ukraine, akorpach@ukr.net, orcid.org/0000-0002-7070-7883

Levkivskyi O.O., Ph.D., technical trainer, 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

Pauliukas A., Doctor of Technical Sciences, Vytautas Magnus University, Kaunas, Lithuania, arvydas.pauliukas@vdu.l, orcid.org/0000-0002-9934-7033

Постановка проблеми.

Керування роботою сучасних автомобільних двигунів виконується за допомогою електронних систем. Для створення необхідної потужності, електронна система керування двигуном за допомогою ряду датчиків та виконавчих механізмів забезпечує оптимальну подачу палива і повітря та контролює викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами. Оптимальний контроль подачі палива є пріоритетним завданням сучасних електронних систем керування. Визначення технічного стану паливних систем в процесі експлуатації, в свою чергу, є складною технічною задачею. Програмним забезпеченням модуля керування двигуном передбачено виконання самодіагностики датчиків та виконавчих механізмів, для цього порівнюються фактично отримані показники з запрограмованими еталонними значеннями, однак модуль керування не завжди може самостійно визначити причини невідповідності отриманих значень, для цього необхідно виконувати більш детальну діагностику. Цифровий осцилограф, дозволяє отримати та графічно представити різні вхідні та вихідні сигнали модуля керування двигуном. Аналіз даної інформації може допомогти визначити причини виникнення різних дефектів паливної системи двигуна.

Аналіз актуальних досліджень.

Різні методики перевірки технічного стану електронних систем керування двигуном розглядаються в ряді публікацій. Загальні принципи роботи з осцилографом описано в роботі [1]. Виробники цифрових осцилографів, наприклад PicoScope [2] та Autoscope [3] надають детальний опис принципів роботи з вимірювальним обладнанням, рекомендації щодо його налаштування для роботи з автомобільними двигунами та еталонні форми сигналів. В роботах [4, 5, 6] розглянуто різні методи діагностики автомобільних двигунів, у тому числі, з використанням цифрового осцилографа. Крім того, в роботах [7, 8, 9] розглянуто перевірку різних систем двигуна з використанням цифрового осцилографа. Однак, на сьогоднішній день, ще не визначені всі основні робочі показники паливної системи двигуна, які можна перевірити за допомогою осцилографа та не розроблено загальний підхід, який дозволяє ефективно діагностувати різні типи автомобільних двигунів.

Мета роботи.

Виконати аналіз основних робочих параметрів електронних систем керування подачею палива сучасних автомобільних двигунів та визначити методи перевірки даних систем з використанням

цифрового осцилографа. Описати типові дефекти паливної системи двигуна, що можуть бути виявлені за допомогою цифрового осцилографа.

Виклад основного матеріалу.

Сучасні двигуни, що працюють на дизельному паливі, як правило, мають паливну систему акумуляторного типу – Common Rail (CR). Даний тип паливної системи дизеля широко використовується завдяки можливості підтримувати оптимальний тиск та дуже точно дозувати подачу палива в широкому діапазоні швидкісних та навантажувальних режимів роботи двигуна. Використання паливної системи CR дозволяє зменшити витрату палива, покращити екологічні показники двигуна та знизити шум, вібрацію і жорсткість роботи дизеля [6].

Для точного регулювання тиску палива в системі CR використовується два клапани: клапан дозування палива, що контролює об'єм палива, яке подається паливним насосом високого тиску (ПНВТ) в паливну рампу та клапан регулювання тиску, який точно регулює тиск в рампі (рис. 1). Клапан дозування палива, як правило, отримує постійне живлення від блоку запобіжників, а модуль керування двигуном, в свою чергу, використовуючи сигнал широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), з'єднує його з масою автомобіля. Змінюючи робочий цикл сигналу ШІМ, змінюється ступінь відкриття клапана і, відповідно, кількість палива, що надходить в паливну рампу. Клапан дозування палива нормально відкритий, тому при відсутності живлення максимальна кількість палива буде надходити від ПНВТ в рампу. Клапан регулювання тиску палива також нормально відкритий (при відсутності струму на клапані тиск в паливній рампі не може зрости понад 100 бар, оскільки, практично, весь об'єм палива направляється в зворотну паливну магістраль). Керування клапаном регулювання тиску відбувається аналогічно клапану дозування палива за допомогою сигналу ШІМ зі сторони маси. Для визначення фактичного тиску в рампі використовується аналоговий датчик тиску палива, що отримує живлення від модуля керування двигуном та по виділеній лінії надає зворотній сигнал в діапазоні 0,5 – 4,5 В. Для паливної системи Bosch CRS2-25 даний діапазон напруги еквівалентний тиску 0-1600 бар.

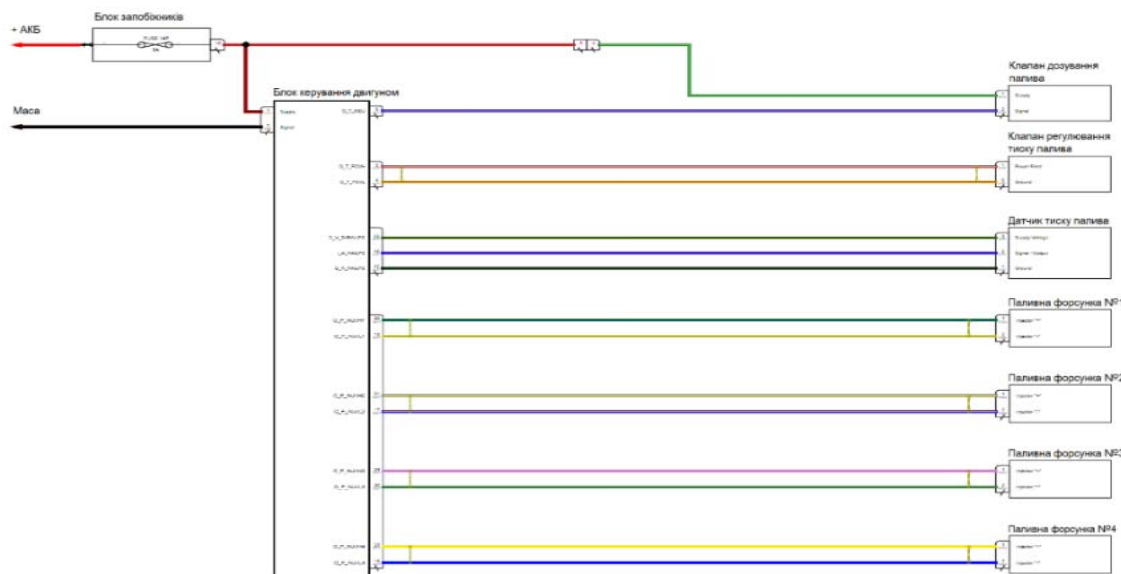


Рисунок 1 – Електрична схема паливної системи Bosch CRS2-25

Figure 1 – Electric diagram of Bosch CRS2-25 fuel system

Паливна система CR працює в режимі замкнутого контуру, тобто модуль керування двигуном за допомогою датчика тиску в паливній рампі постійно контролює тиск і у випадку відхилення від очікуваного показника, в залежності від режиму роботи двигуна, вносить коригування в робочий цикл сигналу ШІМ клапана дозування палива і клапана регулювання тиску палива.

З паливної рампи паливо під тиском подається до форсунок. В сучасних дизелях використовуються два типи паливних форсунок: електромагнітні та п'єзoeлектричні. Обидва типи

форсунок мають високу швидкість роботи та здатні працювати при тиску в паливній рампі від 230 до 2500 бар.

Цифровий осцилограф може бути використаний для перевірки ефективності роботи паливної системи CR [7]. Для комплексної перевірки паливної системи дизеля необхідно перевірити продуктивність ПНВТ, герметичність паливного контуру високого тиску, а також продуктивність паливних форсунок. Окремо можливо перевірити роботу клапана дозування палива (методика перевірки аналогічна бензиновому двигуну).

Для перевірки продуктивності ПНВТ необхідно виключити вплив клапана дозування палива, від'єднавши його живлення, в такому режимі в паливну рампу буде надходити максимально можливий об'єм палива, а заданий тиск буде підтримуватись лише за допомогою клапана регулювання тиску. Два канали цифрового осцилографа необхідно підключити до сигнального контакту датчика тиску та маси клапана регулювання тиску. Максимально повний аналіз продуктивності паливної системи високого тиску можливо зробити в наступних режимах роботи двигуна: запуск, робота в режимі мінімальної частоти холостого ходу, різке прискорення двигуна, робота в режимі максимальної частоти холостого ходу, різке зниження частоти обертання колінчастого валу, стабілізація обертів холостого ходу.

На осцилограмі (рис. 2) відображено зміну напруги на датчику тиску в паливній рампі (канал А) та зміну сигналу керування клапаном регулювання тиском (канал С). Для спрощення аналізу зміни сигналу, за допомогою вбудованої математичної функції програмного забезпечення цифрового осцилографа (в даному дослідженні використано цифровий осцилограф PicoScope 4425A та програмне забезпечення PicoScope 6 Automotive) розраховано його робочий цикл та побудовано в вигляді окремої кривої (канал В).

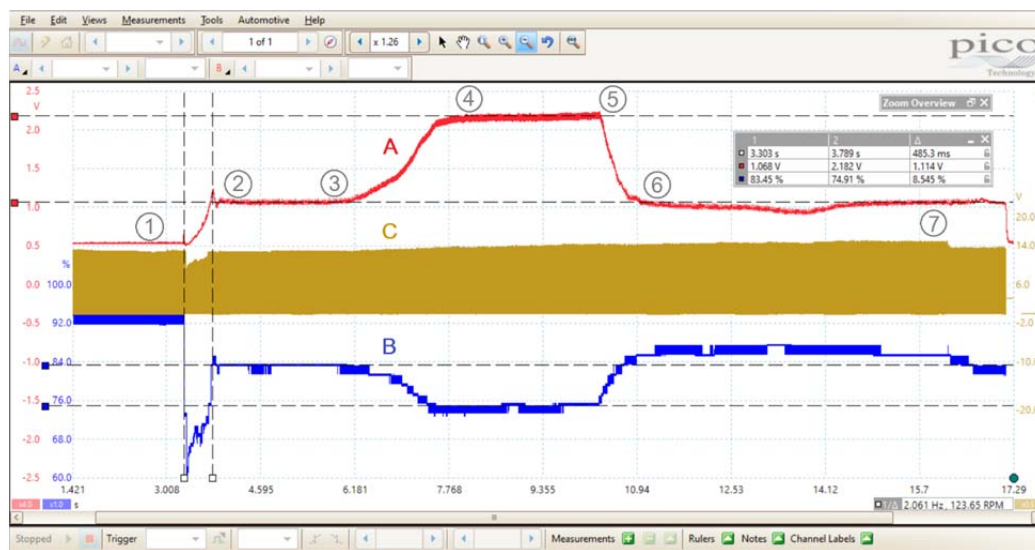


Рисунок 2 – Осцилограма зміни тиску в паливній рампі та робочий цикл клапана регулювання тиску палива

Figure 2 – Pressure change oscillogram in fuel rail and working cycle of fuel pressure regulation valve

Ділянка 1-2 осцилограми зміни тиску в паливній рампі демонструє швидкість наростання тиску в момент запуску двигуна. В точці 1 вал ПНВТ починає обертатись, створюючи тиск, в цей момент живлення на паливні форсунки не подається та клапан регулювання тиску палива переходить в закриті положення. Після досягнення необхідного тиску для запуску двигуна (для паливної системи Bosch наближено 350-400 бар) в точці 2 блок керування подає сигнал на паливні форсунки і двигун запускається. Допустиме значення швидкості наростання тиску для сучасних паливних систем становить до 0,5 с.нижча або менша швидкість наростання тиску палива може вказувати на недостатній тиск у паливній магістралі низького тиску, зниження продуктивності ПНВТ у результаті зношення або порушення герметичності паливної системи високого тиску.

Ділянка 2-3 показує тиск палива при роботі двигуна в режимі мінімальної частоти обертання холостого ходу, в даному режимі напруга на датчику тиску повинна становити близько 1 В. Робочий цикл сигналу клапана регулювання тиску палива, в даному режимі, повинен мати певне фіксоване значення, у випадку порушення герметичності паливної системи блок керування буде зменшувати робочий цикл (закривати клапан) для компенсації зниження тиску. Порівнявши робочий цикл сигналу з аналогічним справним двигуном, можливо зробити висновок, щодо герметичності паливного контуру при відносно невисокому тиску.

На ділянці 3-4 відбувається різке зростання частоти обертання колінчастого валу в режимі холостого ходу. Основну увагу при проведенні аналізу даної ділянки варто звернути на зміну робочого циклу сигналу клапана регулювання тиску палива, значне зниження робочого циклу свідчить про низьку продуктивність ПНВТ або втрату тиску в інших елементах паливної апаратури, для компенсації яких блок керування буде додатково закривати клапан. Для більшості двигунів з паливною системою Bosch допустиме значення знаходиться в діапазоні 8-10%.

Ділянка 4-5 описує тиск палива в режимі максимальної частоти обертання холостого ходу. При відключеному клапані дозування палива блок керування, як правило, обмежує частоту обертання колінчастого валу на позначці $2200-2500 \text{ хв}^{-1}$, в такому режимі для даної та подібних паливних систем напруга на датчику тиску повинна становити близько 2-2,2 В (800-900 бар). Порівнявши робочий цикл сигналу клапана регулювання тиску палива з аналогічним двигуном можна зробити висновок про збереження герметичності системи при більш високому тиску.

Аналіз ділянки 5-6 дозволяє зробити висновок про порушення роботи клапану регулювання тиску палива або, наявність, блокування в зворотній паливній магістралі. У справній системі тиск повинен різко знизитись після того як важіль акселератора буде відпущеним.

Остання ділянка осцилограми 6-7 демонструє момент стабілізації тиску після зниження частоти обертання колінчастого валу. На даній ділянці не повинно спостерігатись різких коливань напруги. У справній паливній апаратурі тиск та сигнал керування клапаном регулювання тиском палива повинні стабілізуватись через 4-5 с після зниження частоти обертання колінчастого валу.

Для перевірки паливних форсунок високого тиску за допомогою цифрового осцилографа необхідно підключити один канал осцилографа до лінії живлення форсунки (1) та за допомогою іншого каналу (2) виміряти струм, що споживає форсунка (рис. 3 і рис. 4). Додатково, використавши третій канал осцилографа, можливо перевірити стабільність з'єднання форсунки з масою. При вимірюванні напруги необхідно враховувати, що робоча напруга електромагнітних форсунок може сягати 60 В, а п'єзoeлектричних – до 200 В та використовувати обладнання, що здатне працювати з даною напругою [4].

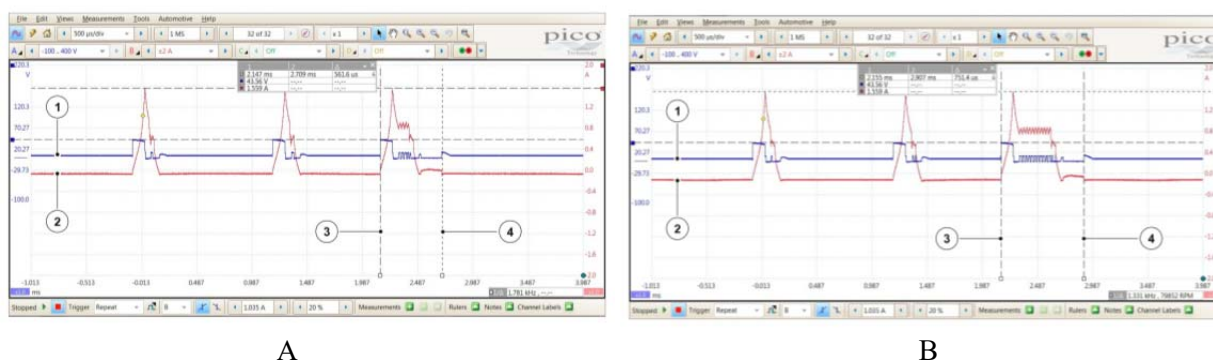


Рисунок 3 – Порівняння сигналу справної (А) та дефектної (В) електромагнітної паливної форсунки
Figure 3 – Comparison of signals from functional (A) and defective (B) electromagnetic fuel injectors

На рис.3 показано осцилограми справної (А) та дефектної (В) електромагнітної паливної форсунки дизеля. Для запису напруги використовувався атенюатор ТА197 10:1, тобто через атенюатор на вхідний канал осцилографа надходить напруга в 10 разів нижча ніж фактична (4.3В замість 43В у даному випадку), що дозволяє безпечно виконувати вимірювання, а програмне забезпечення перераховує та відображає на екрані фактичну напругу 43 В. Для запису сили струму,

що споживає паливна форсунка, використовувались безконтактні кліщі для вимірювання струму TA018, що здатні працювати в 2-х діапазонах до 20А та до 60А. Кліщі вимірюють силу магнітного поля навколо провідника та інтерпретують її у вигляді вихідної напруги, далі програмне забезпечення осцилографа зчитує напругу та перетворює її в еквівалентне значення сили струму (при виборі діапазону до 20А – 1мВ = 10мА, для діапазону до 60А – 1мВ = 100мА) [2].

Аналіз напруги, струму та часу активації форсунки дозволяє визначити чи працює форсунка вірно чи має дефект. Найбільш розповсюджений дефект паливних форсунок, пов'язаний з погіршення розпилення, в результаті забруднення отворів. Модуль керування двигуном, в свою чергу, контролює ефективність розпилення та, як наслідок, згоряння палива, вимірюючи швидкість або прискорення для кожного циліндра за допомогою датчика положення? колінчастого валу на такті розширення та, порівнюючи одержане значення з іншими циліндрами та запрограмованими еталонними значеннями. Якщо прискорення колінчастого валу не відповідає очікуваному значенню, модуль керування корегує кількість палива, змінюючи час відкриття форсунки.

У випадку погіршення розпилення палива через забруднення отворів форсунки продуктами згоряння, модуль керування буде збільшувати кількість палива, збільшуючи час роботи форсунки. У певних діапазонах керування дана зміна не буде відчутна для водія та не викличе реєстрацію помилок системою самодіагностики, проте може спричинити зростання витрати палива та погіршення екологічних показників.

Порівнявши сигнали різних форсунок двигуна, можливо точно визначити час відкриття кожної форсунки в аналогічних умовах. На рис.3 показано робочий цикл електромагнітної форсунки двигуна AJ20-D при мінімальній частоті обертання колінчастого валу в режимі холостого ходу. Після 2-х попередніх впорскувань палива, що необхідні для зменшення жорсткості роботи двигуна, між лініями 3 і 4, відбувається подача основної дози палива. Для справної форсунки (рис.3А) час основного впорскування в даному режимі становить наближено 561 мікро секунд. Зростання часу до 751 мікро секунд у іншій форсунки (рис. 3В) свідчить про значне коригування кількості палива для даної форсунки, як наслідок, погіршення розпилення палива.

Аналогічну перевірку можливо виконати для п'єзоелектричних форсунок, проте необхідно враховувати, що п'єзоелектрична форсунка має іншу форму сигналу. На рис.4 показано сигнал справної п'єзоелектричних форсунки двигуна AJ21-D. Осцилограма показує струм, що споживає форсунка (1), напругу живлення (2) і маси (3). Аналогічно, як і для електромагнітної форсунки, можна виділити декілька попередніх впорскувань палива і основне між лініями (4) і (5). Саме час основного впорскування буде визначати продуктивність форсунки.

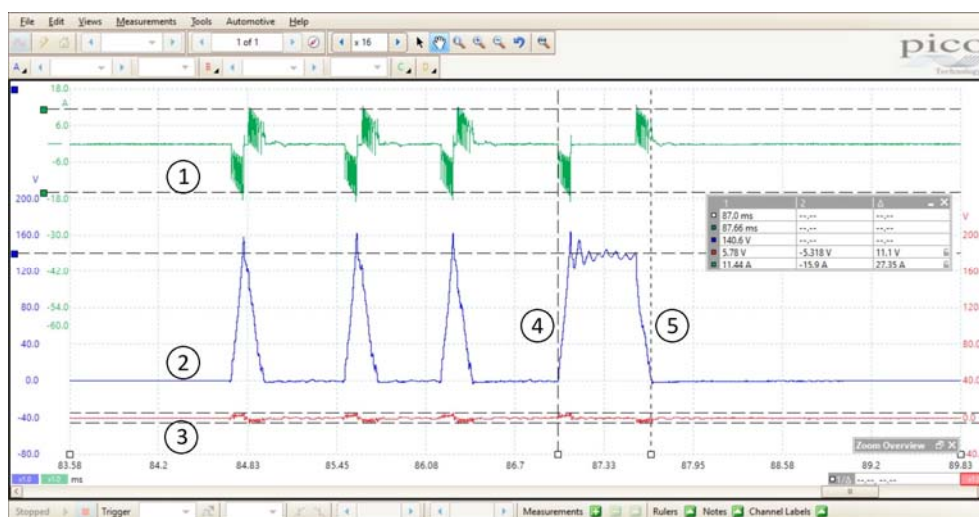


Рисунок 4 – Сигнал п'єзоелектричних форсунок

Figure 4 – Signal of piezoelectric injectors

Подача бензину в сучасних автомобільних двигунах може відбуватись у впускний трубопровід Multi-Point Injection (MPI), безпосередньо в циліндри Gasoline Direct Injection (GDI) або поєднувати обидві системи одночасно. В паливних системах MPI насос, що розміщений в паливному баку,

нагнітає паливо в рампу під тиском 4-6 Бар. Електромагнітні форсунки подають паливо у впускний трубопровід перед впускними клапанами. Паливні системи MPI мають просту будову та забезпечують надійну роботу двигуна на стереометричних сумішах. Паливна система GDI подібна до паливної системи CR дизеля, тобто, паливо під високим тиском подається безпосередньо в циліндри двигуна. Даний тип паливної системи був вперше представлений в 1951 році і на сьогоднішній день набув широкого розповсюдження за рахунок ряду переваг, в порівнянні системами MPI [6]: дозволяє виконувати більш точне дозування палива, забезпечує стабільну роботу двигуна на збіднених паливо-повітряних сумішах, дозволяє більш ефективно керувати наповненням циліндрів за рахунок зміни висоти підйому клапанів, дозволяє ефективно підвищувати тиск наддуву та ступінь стискання двигуна. Вищевказані переваги паливних системах GDI дозволяють зменшити витрату палива та знизити викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами.

Паливні системи GDI мають більш складну будову та алгоритм керування в порівнянні з системами MPI, що, в свою чергу, ускладнює виявлення та усунення дефектів. У даній системі подача палива з баку виконується за допомогою насоса низького тиску аналогічно системам MPI. Далі паливо надходить до ПНВТ, який нагнітає паливо в рампу під тиском до 250 бар. На відміну від паливної системи дизеля, GDI не має зворотної паливної магістралі з рампи, тому для контролю тиску в рампі використовується лише один клапан. Існує два підходи до контролю тиску: регулювання об'єму і безпосередньо регулювання тиску. При регулюванні об'єму використовується клапан, що знаходиться перед ПНВТ та регулює кількість палива, що надходить до нього. При використанні даного підходу ПНВТ нагнітає тільки ту кількість палива, що необхідна для підтримання заданого тиску. При регулюванні тиску клапан встановлюється після ПНВТ і повертає зайву кількість палива назад на вхід ПНВТ. У цьому випадку ПНВТ завжди нагнітає максимально можливий об'єм палива. Оскільки даний підхід викликає зайві витрати енергії на нагнітання великого об'єму палива та, відповідно, його небажаний нагрів, метод регулювання об'єму палива набув більш широкого розповсюдження.

Привід плунжера ПНВТ, як правило, виконується від кулачка встановленого на розподільчому валу. Модуль керування двигуном контролює тиск і температуру палива за допомогою датчика, встановленого в рампі. Клапан дозування палива (рис. 5) працює наступним чином: на вході – лінії низького тиску (5) є демпферна камера (6) для зменшення пульсацій палива. Далі, під час руху плунжера (4) вниз, паливо вільно всмоктується через відкритий клапан дозування палива (7). Під час руху плунжера вгору клапан дозування палива закривається і утримується закритим до досягнення заданого тиску в паливній рампі, в яку паливо надходить через зворотній клапан (3) і паливну лінію високого тиску (2). При досягненні заданого тиску клапан дозування паливом знову відкривається і зайве паливо повертається назад в паливну магістраль низького тиску. На випадок виходу клапана дозування палива з ладу передбачено зворотній клапан (1), який при досягненні граничного тиску відкривається і повертає паливо до впускного каналу плунжера.

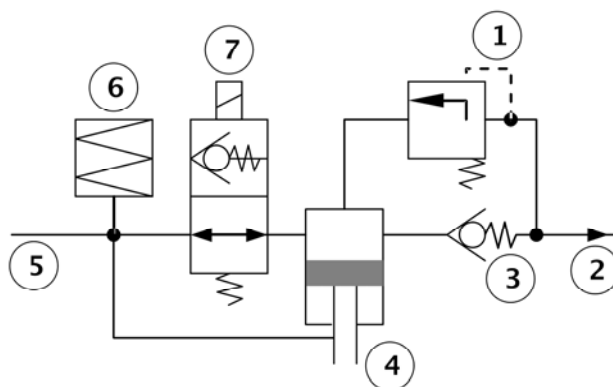


Рисунок 5 – Функціональна схема ПНВТ бензинового двигуна
Figure 5 – Functional diagram of petrol engine's high-pressure injection pump

З рампи паливо подається в кожен циліндр за допомогою електромагнітних форсунок. Електромагнітні форсунки отримують живлення від блоку керування двигуном. Аналогічно

електромагнітним форсункам дизеля напруга живлення форсунок паливної системи GDI може сягати 65В.

Цифровий осцилограф дозволяє виконати перевірку зміни тиску в паливній рампі при різних режимах роботи двигуна, що дає змогу зробити висновок про продуктивність ПНВТ та герметичність паливного контура високого тиску [5]. Методика даної перевірки аналогічна перевірці паливної системи CR дизеля. Однак, на відміну від дизеля, при перевірці даної паливної системи не варто відключати клапан дозування палива, оскільки тільки він контролює тиск палива в рампі. При виявленні відхилення тиску в паливній рампі від очікуваного значення варто окремо перевірити сигнал клапана дозування палива.

На рис.6 показано типову осцилограму клапана дозування палива. Залежно від будови електричної системи двигуна можливе живлення клапана дозування палива як від розподільчої коробки, а контроль маси за допомогою сигналу ШІМ виконує модуль керування двигуном, так і живлення та маси безпосередньо від модуля керування двигуном. Як було описано вище, клапан активується тільки під час нагнітання палива плунжером ПНВТ, що в залежності від конфігурації кулачка на розподільчому валі може відбуватись від 1-го до 4-х разів за один оберт розподільчого вала. При живленні клапана дозування палива безпосередньо від модуля керування двигуном в період, коли клапан не задіяно, напруга знижується до 5 В, а маса відключається. У такому режимі струм не протікає через обмотку клапана, а контроль напруги дозволяє безперервно перевіряти цілісність електричного ланцюга клапана. При активації клапана модуль керування за допомогою сигналу ШІМ з амплітудою наближено 14В подає живлення на клапан та активує масу, у цей момент струм різко підвищується до 3,5 А (ділянка 1). Високий струм необхідний для подолання опору зворотної пружини клапана і його руху до повного закриття. Далі модуль керування двигуном на короткий проміжок часу відключає живлення клапана з метою зниження струму наближено до 0.5А. Цього струму достатньо для утримання клапана в закритому положенні. Ділянка 2 визначає час, протягом якого клапан залишається закритий і відбувається нагнітання палива в рампу.

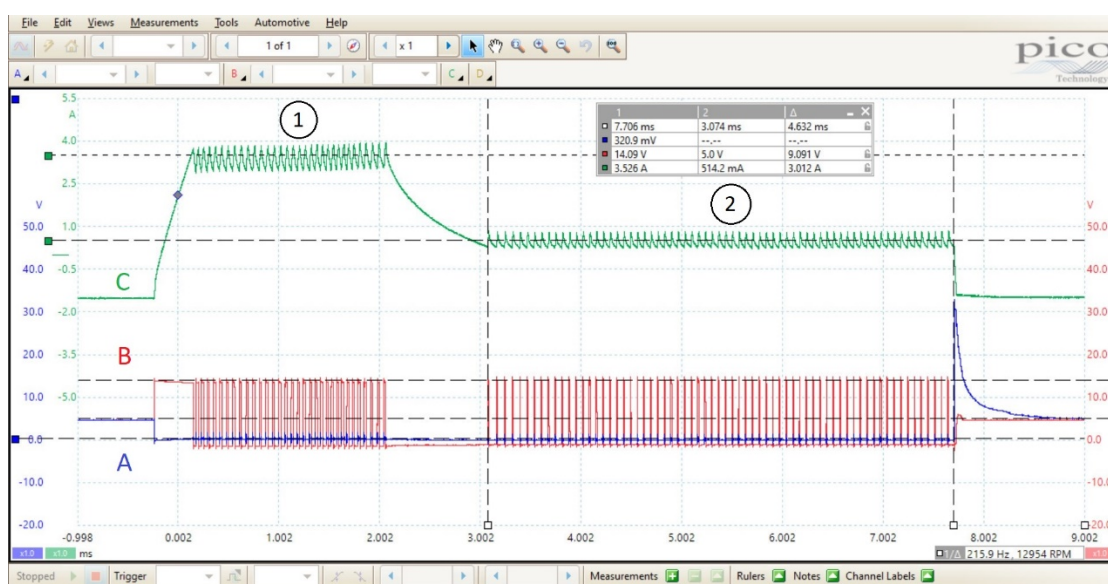


Рисунок 6 – Осцилограма клапана дозування палива

Figure 6 – Fuel dosing valve oscillogram

У справного клапана час активації на ділянці 1 має залишатися без змін не залежно від частоти обертання колінчастого вала та навантаження двигуна. Час утримання клапана закритим на ділянці 2 буде змінюватися зі зміною частоти обертання колінчастого вала та навантаження двигуна. Під час прискорення двигуна в режимі холостого ходу час утримання клапана на ділянці 2 буде зменшуватись, оскільки зі збільшенням частоти обертання колінчастого вала, а отже і розподільчого вала, буде підвищуватись кількість робочих циклів ПНВТ та, як наслідок, зростатиме кількість палива, що нагнітається в рампу. За відсутності навантаження не потрібен високий тис та значний об'єм палива для підтримання роботи двигуна, тому клапан довший час буде залишатися відкритим.

При сталій частоті обертанні колінчастого валу і зростанні навантаження час утримання клапана закритим буде збільшуватись пропорційно до навантаження з метою забезпечення двигуна достатньою кількістю палива і створення необхідного тиску. Струм активації та утримання клапана має залишатись без змін. Підвищений струм може свідчити про збільшений опір під час руху клапана в результаті зношення або забруднення.

Для перевірки електромагнітних форсунок бензинового двигуна використовується аналогічний підхід як і для електромагнітних форсунок дизеля. На рис.7 показано типову осцилограму форсунки паливної системи GDI при прискоренні двигуна в режимі холостого ходу. На осцилограмі зафіксовано зміну сили струму (1), що протікає через форсунку, напруги живлення (2) та маси (3). Осцилограма має схожу форму сигналу з електромагнітною форсункою дизеля: при активації форсунки напруга зростає до 65В для швидкого досягнення сили струму в 11А, що необхідна для повного відкриття форсунки. Далі напруга знижується і за допомогою сигналу ШІМ з амплітудою 12В утримується у відкритому положенні. Продуктивність форсунки визначається часом утримання в відкритому положенні між відрізками (4) і (5). Аналогічно дизелю час утримання всіх форсунок в відкритому положенні має бути наближено однаковим при сталому режимі роботи двигуна.

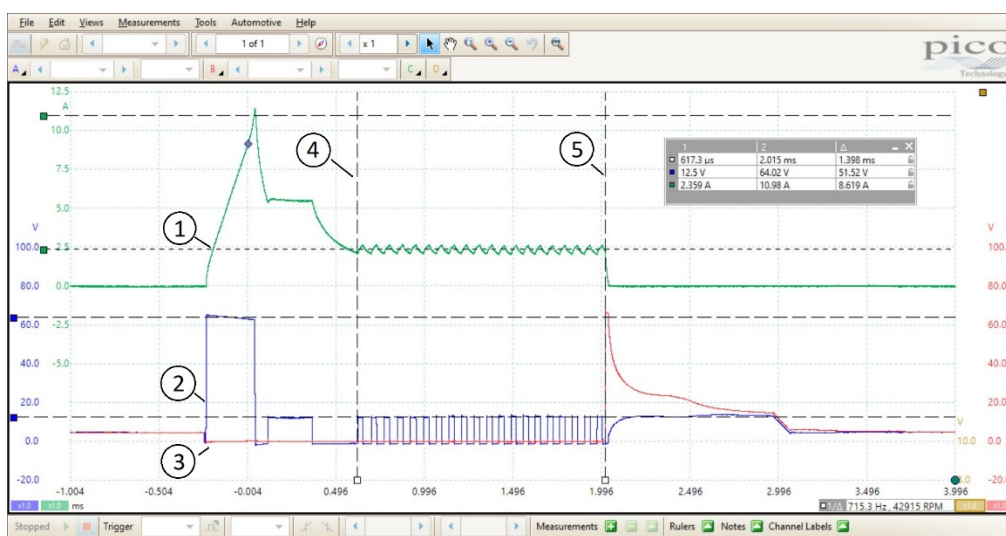


Рисунок 7 – Сигнал електромагнітної паливної форсунки бензинового двигуна
Figure 7 – Signal of gasoline engine electromagnetic fuel injector

Висновки.

Використання цифрового осцилографа дозволяє виконати швидку та ефективну перевірку паливної апаратури двигунів з безпосереднім впорскуванням бензину та дизельного палива. За результатами діагностики можна визначити продуктивність ПНВТ, перевірити робочі цикли клапанів і паливних форсунок та визначити наявність дефектів, також можливо перевірити герметичність паливної системи високого тиску в цілому.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Осцилографи та методи вимірювання радіотехнічних величин: навчальний посібник / Ю.Я. Бобало, Л.А. Недоступ, М.Д. Киселичник, О.В. Надобко. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. 88 с.
2. Сайт виробника цифрових осцилографів Pico Technology [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.picotech.com/>.
3. Сайт виробника цифрових осцилографів Autoscope [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://injectorservice.com.ua/>.
4. G. Stoakes. Automotive oscilloscope wave form analysis. 1st edition. – UK: Graham Stoakes, 2017. – 200p.
5. T. Denton. Advanced automotive fault diagnosis. 5th edition. – London: Routledge, 2021. – 396p.
6. Bosch automotive handbook. 11th edition. – Germany: Robert Bosch GmbH, 2022. – 2044p.

7. Корпач А.О. Використання цифрового осцилографа для перевірки технічного стану паливної апаратури дизеля / А.О. Корпач, О.О. Левківський // Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури: збірка тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Київ: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2023 – С. 255-258.

8. Корпач А.О. Методи дослідження ефективності роботи впускної системи сучасних двигунів з іскровим запалюванням / А.О. Корпач, О.О. Левківський // Наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2023, Вип. 79 – С. 44-45

9. Корпач А.О. Перевірка системи індивідуального запалювання за допомогою цифрового осцилографа / А.О. Корпач, О.О. Левківський О.А. Корпач // Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2023. – С. 182-184.

REFERENCES

1. Bobalo Y.Y., Nedostup L.A., Kiselychuk M.D., Nadobko O.V. (2014) *Ostsylohrafy ta metody vymyriuvannya radiotekhnichnykh velychyn: navchalnyi posibnyk [Oscilloscopes and methods of measuring radio engineering quantities: a study guide]*. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki [in Ukrainian].

2. Sait vyrobnyka tsyfrovyykh ostsylohrafiv Pico Technology [Website of the digital oscilloscopes manufacturer Pico Technology]. www.picotech.com. Retrieved from <https://www.picotech.com/> [in United Kingdom].

3. Sait vyrobnyka tsyfrovyykh ostsylohrafiv Autoscope [Website of the digital oscilloscopes manufacturer Autoscope]. injectorservice.com.ua. Retrieved from <https://injectorservice.com.ua/> [in Ukrainian].

4. G. Stoakes (2017). *Automotive oscilloscope wave form analysis. 1st edition*. UK: Graham Stoakes [in United Kingdom].

5. T. Denton (2021). *Advanced automotive fault diagnosis. 5th edition*. London: Routledge [in United Kingdom].

6. Robert Bosch GmbH (2022). *Bosch automotive handbook. 11th edition*. Germany: Robert Bosch GmbH [in Germany].

7. Korpach A.O. & Levkivskyi O.O. (2023). Vykorystannia tsyfrovoho ostsylohrafa dlia perevirky tekhnichnoho stanu palyvnoi aparatury dyzelia [Using a digital oscilloscope to check the technical condition of diesel fuel equipment] *Perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu ta infrastruktury: zbirka tez dopovidei Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii – Prospects for the development of road transport and infrastructure: collection of abstracts of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference*. (pp. 255-258.) – Kyiv: DP «DerzhavtотransNDIproekt» [in Ukrainian].

8. Korpach A.O. & Levkivskyi O.O. (2023) Metody doslidzhennia efektyvnosti roboty vpusknoi systemy suchasnykh dvyhunyv z iskrovyim zapaliuvanniam [Methods for studying the efficiency of the intake system of modern spark ignition engines] *Naukova konferentsiia profesorsko-vykladatskoho skladu, aspirantiv, studentiv ta spivrobitnykiv vidokremlenykh strukturnykh pidrozdiliv universytetu – Scientific conference of the teaching staff, postgraduate students, students and employees of separate structural units of the university*. (pp. 44-45.) – Kyiv: NTU [in Ukrainian].

9. Korpach A.O., Levkivskyi O.O. & Korpach O.A. (2023) Perevirka systemy indyvidualnoho zapaliuvannia za dopomohoiu tsyfrovoho ostsylohrafa [Checking the individual ignition system with a digital oscilloscope] *Materialy XVI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konfe-rentsii «Suchasni tekhnolohii ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu», 23-25 zhovtnia 2023 roku: zbirnyk naukovykh prats – Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference "Modern Technologies and Prospects for the Development of Automobile Transport", 23-25 October 2023: a collection of scientific papers*. (pp. 182-184.) – Vinnytsia: VNTU [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Корпач А.О. Діагностування технічного стану паливної системи сучасних двигунів з використанням цифрового осцилографа / А.О. Корпач, О.О. Левківський, О.А. Корпач, А. Паулюкас // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

В статті розглянуто методику діагностування паливних систем сучасних двигунів з використанням цифрового осцилографа.

Об'єкт дослідження – система подачі палива двигунів внутрішнього згорання.

Мета роботи – виконати аналіз основних робочих параметрів електронних систем керування подачею палива сучасних автомобільних двигунів та визначити методи перевірки даних систем з використанням цифрового осцилографа. Описати типові дефекти паливної системи двигуна, що можуть бути виявлені за допомогою цифрового осцилографа.

Метод дослідження – практичний та аналітичний.

Розглянуто будову та принципу роботи паливних систем сучасних автомобільних двигунів. Встановлено, що на сьогоднішній день найбільшого розповсюдження набула паливна система дизеля типу Common Rail та паливна система Gasoline Direct Injection бензинових двигунів. Визначено ключові елементи обох паливних систем, що забезпечують подачу та дозування палива в циліндри двигуна. Розглянуто методику перевірки датчиків та виконавчих механізмів паливних систем за допомогою цифрового осцилографа. Описано рекомендоване обладнання та точки підключення вимірювального обладнання. Описано методику та результати перевірки паливної системи Common Rail та Gasoline Direct Injection. Розглянуто типові дефекти паливної системи двигунів, що можуть бути визначені за допомогою цифрового осцилографа. Встановлено, що цифровий осцилограф дозволяє швидко та ефективно перевірити паливну апаратури двигунів з безпосереднім впорскуванням бензину та дизельного палива. За результатами діагностики можна визначити продуктивність ПНВТ, перевірити робочі цикли клапанів і паливних форсунок та визначити наявність дефектів, також можливо перевірити герметичність паливної системи високого тиску в цілому.

Результати висвітлені в статті можуть бути використані для подальшої розробки методів діагностування електронних систем керування двигуном з використанням цифрового осцилографа.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЦИФРОВИЙ ОСЦИЛОГРАФ, ДВИГУН, ПАЛИВНА СИСТЕМА, COMMON RAIL, GASOLINE DIRECT INJECTION.

ABSTRACT

Korpach A.O., Levkivskyi O.O., Korpach O.A, Pauliukas A. Modern engine fuel systems diagnostic using a digital oscilloscope. Visnyk National Transport University. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

The article deals with the method of modern engines fuel systems diagnosing using a digital oscilloscope.

The object of the study – the fuel supply system of internal combustion engines.

The purpose of the study – analysis of the main operating parameters of modern automotive engines electronic fuel management systems and determination of the methods of it diagnostic using a digital oscilloscope. And to describe typical defects in the engine fuel system that can be detected using a digital oscilloscope.

Research method – practical and analytical.

The article considers the structure and operation of modern automobile engines fuel systems. It is established that the most widespread fuel systems today are the Common Rail diesel fuel system and the Gasoline Direct Injection fuel system for petrol engines. The key elements of both fuel systems, which ensure fuel supply and dosing into the engine cylinders, are identified. The methodology for testing sensors and actuators of fuel systems using a digital oscilloscope is considered. The recommended equipment and connection points for measuring equipment are described. The methodology and results of testing the Common Rail and Gasoline Direct Injection fuel systems are presented. Typical defects of engines fuel system that can be determined using a digital oscilloscope are considered. It has been established that a digital oscilloscope allows for a quick and efficient check of the fuel equipment of engines with direct injection of petrol and diesel fuel. Based on the diagnostic results, it is possible to determine the performance of the fuel injection system, check the operating cycles of valves and fuel injectors, determine the presence of defects, and also check the tightness of the high-pressure fuel system as a whole.

The results presented in the article can be used to further develop methods for diagnosing electronic engine control systems using a digital oscilloscope.

KEYWORDS: DIGITAL OSCILLOSCOPE, ENGINE, FUEL SYSTEM, COMMON RAIL, GASOLINE DIRECT INJECTION.

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 Імпортс Україна, 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.

Паулюкас Арвідас, доктор технічних наук, Університет Вітовта Великого, викладач кафедри машинобудування, енергетики та біотехнологій, e-mail: arvydas.pauliukas@vdu.l, тел. +370837752240, Литва, LT-44248, м. Каунас, вул К. Донелайчіо 58, orcid.org/0000-0002-9934-7033

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 Imports Ukraine, 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.

Pauliukas Arvydas, Doctor of Technical Sciences, Vytautas Magnus University, lecturer department of mechanical, energy and biotechnology engineering, e-mail: arvydas.pauliukas@vdu.l, Lithuania, LT-44248, Kaunas, K. Donelaičio str. 58, orcid.org/0000-0002-9934-7033

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Кравченко О.П., доктор технічних наук, професор, Жилінський університет, Жиліна, Словаччина.

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

REVIEWER:

Kravchenko O.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, University of Zilina, Zilina, Slovak Republic.

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

ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ЗЕЛЕНИЙ КУРС В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНОГО СЕКТОРУ УКРАЇНИ

Куніцька О.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, o.kunyska@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5525-1315

Данчук В.Д., доктор фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, Vdanchuk@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4282-2400

THE EUROPEAN GREEN DEAL IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE TRANSPORT SECTOR OF UKRAINE

Kunyska O., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, o.kunyska@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5525-1315

Danchuk V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, National Transport University, Kyiv, Vdanchuk@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4282-2400

Постановка проблеми. Задля досягнення цілі Паризької угоди – не допустити підвищення глобальної температури більш ніж на 1.5 С до кінця сторіччя – та реалізації Цілей сталого розвитку, 11 грудня 2019 року у Європарламенті був представлений Європейський Зелений Курс (ЄЗК), який затверджує рух до кліматично нейтрального європейського континенту у 2050 році. Його реалізація передбачає виконання плану дій [1], що зроблять економіку країн стійкою, перетворивши кліматичні та екологічні виклики на можливості в усіх сферах у справедливий та інклюзивний спосіб. При цьому, охоплюються всі сектори економіки, зокрема, транспорт, енергетику, сільське господарство, будівництво та промисловість (рис.1).

Стала та розумна мобільність на транспорті – є одним з ключових напрямків реалізації ЄЗК в контексті сталого розвитку суспільства, оскільки, з одного боку, ефективне функціонування транспортної системи має вирішальне значення для функціонування бізнесу та глобальних ланцюгів поставок, з іншого боку, на транспортний сектор припадає близько 25% викидів парникових газів в ЄС. Задля скорочення цього рівня, зміни мають відбутись в усіх напрямках – автомобільному, залізничному, авіаційному і водному секторах транспорту.



Рисунок 1 – Елементи Європейського Зеленого Курсу [2]

Figure 1 – Elements of the European Green Course [2]

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Європейський зелений курс – програма дій ЄС, в центрі якої – амбіційний план переходу до кліматично нейтральної Європи. Уряд України заявив про намір долучитись до ЄЗК. Такі прагнення уряду є важливими з огляду на необхідність формування в Україні державної політики, яка б враховувала екологічні та кліматичні виклики сьогодення. Аналіз наслідків ЄЗК для України в

контексті можливостей та загроз, які він створює представлено в аналітичному документі «Європейський зелений курс. Можливості та загрози для України» [3]. Основні результати впровадження ЄЗК в Україні в 2023 році, який відзначився продовженням реформ, спрямованих на імплементацію принципів Зеленого курсу попри надзвичайно складні обставини російського повномасштабного вторгнення, аналізуються в «Річному моніторинговому звіті 2023» [4]. Проте, не зважаючи на значну кількість аналітичних матеріалів щодо ЄЗК в Україні (див., наприклад, [5-7]), в основному вони сконцентровані на аналізі енергетичного, економічного та промислового секторів. Аналізу транспортного сектору зазвичай приділено менше уваги попри його значний вплив на досягнення кліматичних цілей.

Формування цілей статті. Європейський Зелений Курс розглядає тематичну область сталої та розумної мобільності за трьома позиціями, визначеними Європейською комісією (рис.2), а саме:

- Стала мобільність (Sustainable) – передбачає оцінку усіх видів транспорту, що використовуються в пасажирському та вантажному транспорті, їх викиди парникових газів, види палива, а також наявність і якість допоміжної інфраструктури. Відповідно, це вимагає розуміння національних стратегій і цілей та статусу їх реалізації з метою виявлення прогалин, викликів і можливостей для просування дій і прискорення прогресу на шляху до впровадження більш стійких варіантів мобільності для досягнення кліматичної нейтральності.

- Розумна мобільність (Smart) – включає аналіз поточного рівня автоматизації та цифровізації пасажирських і вантажних перевезень у підтримці мультимодальної мобільності.

- Стійка (Resilient) мобільність – дає оцінку політичної структури, стратегії, планів дій та стимулів для створення більш стійкого та екологічного транспортного сектору шляхом запровадження єдиного ринку, вільного переміщення товарів і послуг, забезпечення мультимодальності та оперативної сумісності шляхом розвитку транспортних коридорів із сучасною інфраструктурою.

Метою статті є огляд поточного стану сталої та розумної мобільності, а також тенденцій її розвитку, що стосуються як самої тематичної області, так і Європейського зеленого курсу (ЄЗК).

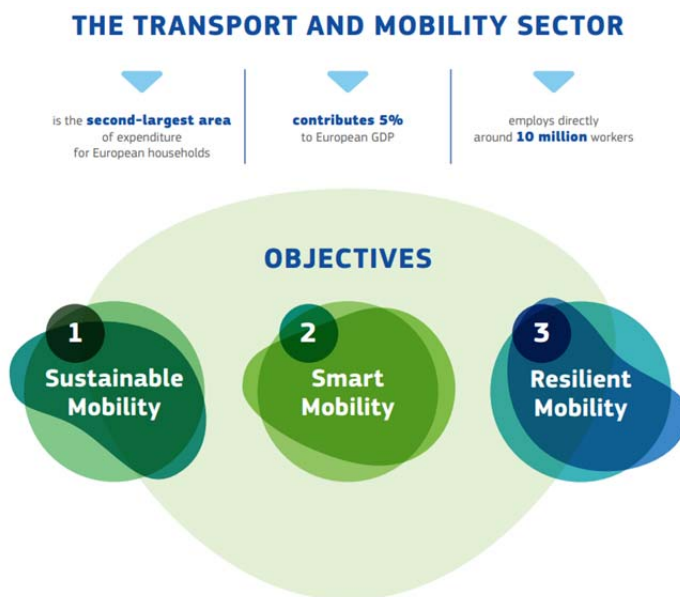


Рисунок 2 – Цілі сектору транспорту та мобільності за Європейським Зеленим Курсом [1]

Figure 2 – Goals of the transport and mobility sector under the European Green Deal [1]

Виклад основного матеріалу.

Сфера сталої та розумної мобільності на транспорті в основному базується на Стратегії стійкої та розумної мобільності, яка є невід’ємною частиною Європейської зеленої угоди [1]. Ця стратегія закладає основу для того, як транспортна система ЄС може досягти зеленої та цифрової трансформації, підвищуючи стійкість до майбутніх криз.

Мобільність охоплює не лише пересування людей і товарів, але й фізичну та цифрову інфраструктуру, управління ресурсами, виробництво та утилізацію, безпеку та доступність. Ці

аспекти суттєво впливають на здоров'я та благополуччя та взаємопов'язані з нульовим забрудненням, зусиллями з будівництва та реконструкції та промисловою практикою. Крім того, концепція чесної та справедливої мобільності досліджується через аспекти просторової близькості та планування доступності.

Аналіз транспортного сектору України

Транспортний сектор є ключовим елементом економіки України, але десятиліття недостатнього інвестування та обмеженого стратегічного планування сповільнили його розвиток і підірвали його ефективність. У період з 2016 по 2021 рік частка сектору в середньому становила 6,2% ВВП, хоча ця частка впала до 5,4% у 2021 році. Транспортний сектор України підтримується розгалуженою транспортною мережею, включаючи залізницю, мережу доріг, морські порти, річкові термінали, аеропорти та громадський пасажирський транспорт. Ця інфраструктура підкреслює прагнення країни задовольняти транспортні потреби населення та сприяти економічному зростанню. Тим не менш, сектор стикається з проблемами, які перешкоджають його конкурентоспроможності та ефективності на глобальному рівні.

Транспортна мережа України складається з приблизно 163 033 км автомобільних доріг, 19,8 тис. км залізничних колій із значним рівнем електрифікації 47 % та 1569,4 км судноплавних водних шляхів. Ця інфраструктура є життєво важливою для задоволення потреб країни в мобільності та сприяння бізнесу. Проте розвиток транспортного сектору гальмується недостатнім технологічним розвитком транспортної логістики та недостатньою кількістю мультимодальних транспортних засобів, за якими Україна посідає 85 місце у світі за конкурентоспроможністю та 66 місце за логістичною ефективністю.

Щільність магістральних доріг в Україні (14,3 км на 1000 км²) відповідає середньому по ЄС (19 км на 1000 км²), але щільність усіх доріг значно нижча (281, порівняно з 1172 км на 1000 км²), що свідчить про недостатнє регіональне та місцеве сполучення. Близько 51% мережі не відповідає національним вимогам якості доріг, а 39% не відповідає вимогам довговічності. У 2018 році Україна набрала лише 2,4 бали з 7 за індексом якості доріг Організації економічного співробітництва та розвитку.

Аналіз стану в секторі автомобільного транспорту

Загальний рівень автомобілізації в країні є відносно низьким і зріс з 218 транспортних засобів у 2018 році до 232 автомобілів на 1000 жителів у 2021 році зі значними регіональними відмінностями (рис. 3)

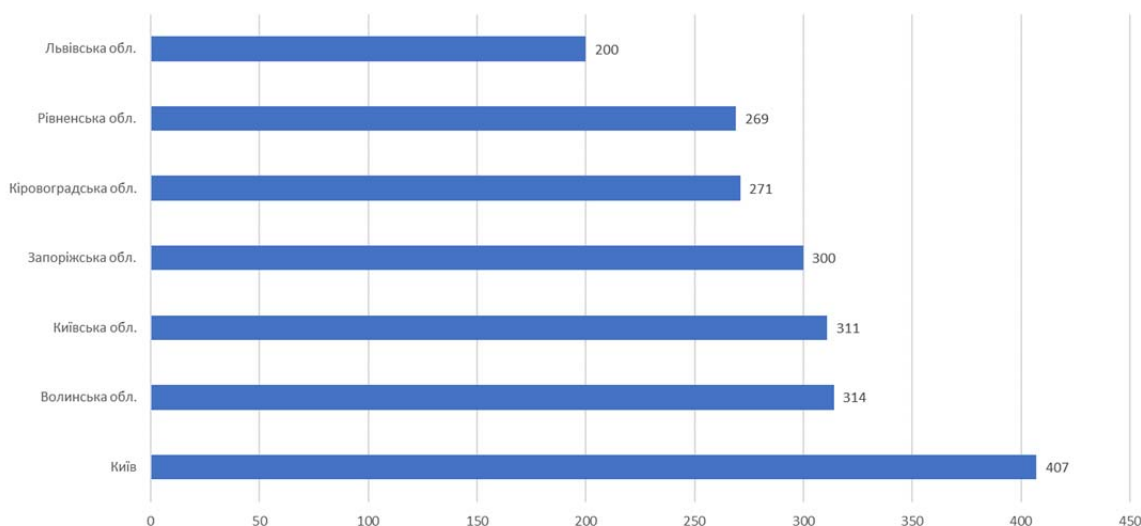


Рисунок 3 – Автомобілізація в Україні у 2021 році (легкові автомобілі/1000 осіб)

Figure 3 – Motorization in Ukraine in 2021 (passenger cars/1000 people)

Щодо електрифікації автопарку, то в останні роки в Україні спостерігається зростання продажів електромобілів, чому сприяли стимулюючі заходи державної політики. У 2016 році було скасовано мито на електромобілі, а в 2018 році скасовано акциз і ПДВ на імпорт електромобілів. У

результаті у 2014 році було продано лише 62 електромобілі (0,07% від загального обсягу продажів), у 2016 році – 1148 електромобілів (1,5%), у 2019 році – 7012 (7,2%), (рис.4). Наразі Україна входить у топ-12 європейських країн за загальною кількістю електромобілів і демонструє одні з найвищих показників електрифікації автопарку.

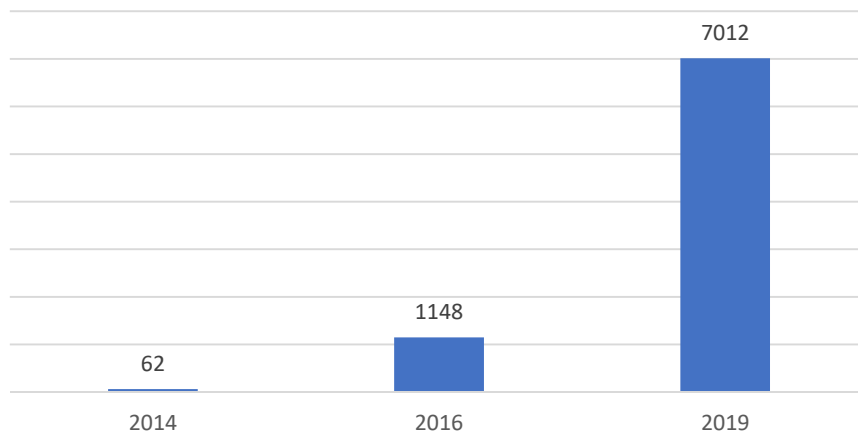


Рисунок 4 – Електрифікація автопарку України (електромобілі)
Figure 4 – Electrification of the car fleet of Ukraine (electric cars)

Аналіз стану в секторі залізничного транспорту

Пріоритетність залізничного транспорту, в тому числі для виконання пасажирських перевезень – у центрі уваги за ЄЗК. Проте, за офіційною статистикою, обсяги пасажирських перевезень зменшуються (рис.5) [8]. За висновками експертів, це пояснюється рядом причин:

1. Зменшення мобільності населення в середині країни через зубожіння, а також через початок війни на сході України у 2014р., анексія Криму росією, економічні кризи 2017 та 2019 рр., а також початок повномасштабного вторгнення.

2. Неможливість АТ «Укрзалізниця» обслуговувати наявний попит через відсутність справного рухомого складу.

3. Постійна міграція населення з країни починаючи з 2014 р., при цьому з країни виїжджають переважно ті, хто активно подорожує, а отже становить попит на послуги пасажирських перевезень залізницею.

4. Офіційні дані наданні Державною службою статистики України не відображають тіньових перевезень мікроавтобусами та перевезень, організованих через онлайн-сервіси, такі як наприклад BlaBlaCar.

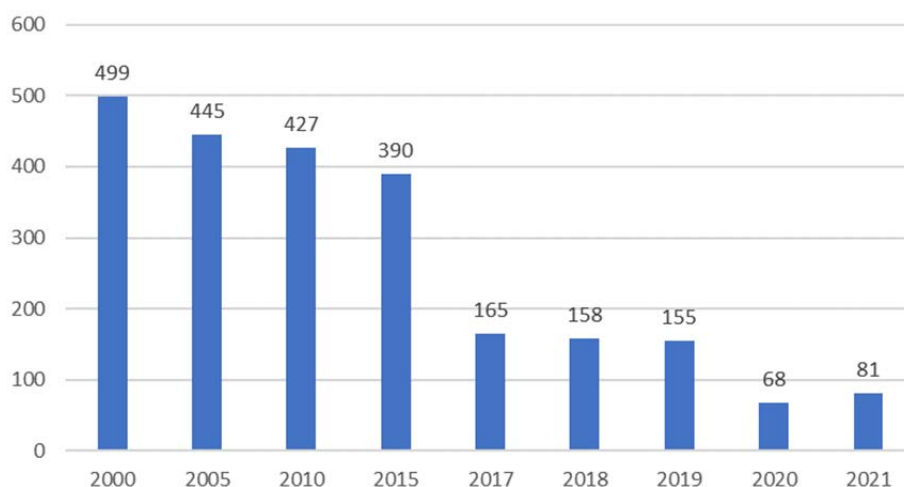


Рисунок 5 – Динаміка перевезення пасажирів залізничним транспортом, млн.пас.
Figure 5 – Dynamics of passenger transportation by rail transport, million pas.

Україна досягла певного прогресу на шляху інтеграції до Транс'європейської транспортної мережі (TEN-T), до якої країна приєдналась у 2017р. ЄС створює TEN-T, щоб з'єднати Європу із заходу на схід і з півночі на південь мережею доріг, залізниць, аеропортів і водних шляхів. Розвиток транспортної системи відбуватиметься в два етапи: будівництво ключової мережі має завершитися до 2030 року, а генеральної – до 2050 року.

У 2023 році Єврокомісія внесла зміни в індикативні карти Транс'європейської транспортної мережі (TEN-T), включно з українськими логістичними маршрутами [9]. Для України це є стратегічним кроком у процесі інтеграції України до ЄС і сприятиме реалізації ініціативи «Шляхами солідарності» щодо експорту української агропродукції до ЄС та безперешкодного імпорту необхідних товарів.

На даний момент Європейська комісія внесла наступні зміни:

- Північно-Балтійський коридор продовжено через Львів і Київ до Маріуполя;
- Балто-Чорноморсько-Егейський коридор продовжено через Львів, Чернівці (Румунія та Молдова) до Одеси.
- через Львів проходять коридори Балтійське море – Адріатичне море та Рейн – Дунай.

У червні 2023 року були представлені результати дослідження Jaspers (EIB) щодо техніко-економічного обґрунтування нового залізничного коридору стандартної колії ЄС (1435мм) для залізничного сполучення Польщі, України, Румунії та Молдови.

Також у березні 2023 року було підписано Меморандум про взаєморозуміння між Міністерством транспорту та зв'язку Литовської Республіки та Міністерством розвитку громад, територій та інфраструктури України щодо покращення сполучення між Балтійським і Чорним морями шляхом розвитку та просування коридору Балтійсько-Чорне/Егейське море та будівництво безпечної, стабільної та незалежної залізничної системи, яка сприятиме розвитку найважливіших інфраструктурних проєктів, пов'язаних із створенням альтернативних транспортних коридорів між портами Балтійського Море і Україна. Очікувані результати:

- покращення комунікації між Україною та ЄС, зокрема у сфері вантажних перевезень;
- впровадження, за можливості, номінальної ширини колії європейського стандарту між Україною/Молдовою та ЄС для сумісності залізничного сполучення.
- підвищення потенціалу річки Дунай для експорту та імпорту товарів між Україною та ЄС.

Це, разом із нещодавною адаптацією транспортних коридорів, є важливим кроком до підвищення транспортного сполучення та сталості.

Виклики міської мобільності на шляху впровадження ЄЗК

Міська мобільність перебуває на вирішальному поворотному етапі, оскільки терміново потрібні розумні та стійкі рішення в контексті збільшення кількості транспортних засобів та пов'язаних із цим викидів. У 2021 році 70% населення України проживало в містах з розгалуженою, але погано облаштованою транспортною мережею. Продуктивність і якість обслуговування пасажирських транспортних мереж країни відстають від стандартів ЄС через застарілу інфраструктуру, низькі тарифи та недостатній контроль доходів. Міські транспортні послуги регулюються субнаціональними (місцевими) органами влади і надаються як державними, так і приватними перевізниками. Ці перевізники зазвичай мають обмежені фінансові можливості, оскільки вони несуть ризик коливань попиту за регульованими державою тарифами, які не підкріплені адекватним механізмом компенсації. Неможливість забезпечити довгострокове фінансування та невизначеність перешкоджають інвестиціям у екологічно безпечні технології [10].

Крім того, громадський транспорт зазнає динамічних змін, пов'язаних із занепадом трамвайних і тролейбусних мереж і старінням транспортного парку, що вимагає швидкої модернізації, щоб привести його у відповідність до цілей ЄЗК, а також зменшити використання нелегального транспорту.

Станом на кінець 2018 року в Україні діяло 19 трамвайних мереж (у 1991 році – 32). За останні 30 років кількість тролейбусних мереж скоротилася менш помітно – з 45 до 41. Зараз в країні діють три мережі метро – у Києві, Харкові та Дніпрі.

При цьому рухомий склад оновлюється надто повільно і вже близько 90% парку трамваїв і тролейбусів вичерпали свій максимальний термін служби. З 1990-х років загальна кількість трамваїв і тролейбусів зменшилася відповідно на 54% і 49%, а кількість вагонів метро – на 50%.

В рамках реалізації ЄЗК значна увага приділяється активізації мобільності за рахунок впровадження та розширення велотранспорту. В лютому 2023 року Європарламент ухвалив

резолюцію, яка закликає Європейську комісію розробити велосипедну стратегію задля подвоєння кількості км транспортних велопоїздок в Європі до 2030р., а в квітні 2024р. прийнято Європейську декларацію про велотранспорт.

Розвиток велосипедного транспорту в Україні відповідає цілям Транспортної стратегії України до 2030р. та загальному розвитку мобільності ЄС. Понад 25 українських міст та об'єднаних територіальних громад розробляли та затверджували плани розвитку велоінфраструктури до початку повномасштабного російського вторгнення в Україну.

У грудні 2020 року розпочався процес розробки Національної велоstrategії. Учасниками процесу є Міністерство інфраструктури спільно з Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів, U-Cycle (ГО «Асоціація велосипедистів Києва»), Посольство Королівства Нідерландів в Україні, Програма розвитку ООН в Україні та Фонд імені Г. Болля, Київсько-Українське бюро. Стратегія покликана підвищити безпеку руху на дорогах, зокрема пішоходів і велосипедистів, та загалом популяризувати цей вид транспорту в Україні. На даний момент стратегія знаходиться в стадії розробки.

– Перша в Україні програма розвитку велотранспорту була розроблена для міста Києва. У лютому 2018 року було затверджено Концепцію розвитку велосипедної інфраструктури міста Києва в рамках реалізації Стратегії розвитку «Київ-2025». Велоconcepція визначила 240 км основних веломаршрутів і понад 1000 км транспортних, рекреаційних і приміських маршрутів для нинішніх і майбутніх користувачів велосипедного транспорту в Києві. На рис.6 представлена кількість велосипедистів у Києві, що дає огляд динаміки користування велосипедом у місті. Щорічний збір статистики [11] проводиться U-Cycle (ГО «Асоціація велосипедистів Києва»), громадська організація, яка з 2007 року займається захистом велосипедної інфраструктури, популяризацією велосипедного транспорту та підвищенням безпеки руху.

– Львів – рекордсмен серед міст України з розвитку велотранспорту. Місто було другим, хто розробив і затвердив велосипедну концепцію, першим, хто створив штатну посаду велосипедного офіцера в муніципалітеті. Також львів'яни першими залучили іноземних фахівців до розробки веломаршрутів та запустили мережу міського велопрокату Nextbike зі станціями по всьому місту. Станом на 2020 рік Львів мав найрозвиненішу веломережу серед усіх міст України, і станом на зараз місто продовжує активно розбудовувати велоінфраструктуру.

– Вінниця. У 2019 році у Вінниці створено онлайн-карту велоінфраструктури, на якій 50 кілометрів велодоріжок та велосмуг.

У 2020 році були розроблені велоconcepції для багатьох населених пунктів України, включно з такими містами, як Херсон, Мелітополь та Бердянськ, які зараз або зруйновані, або окуповані росією.

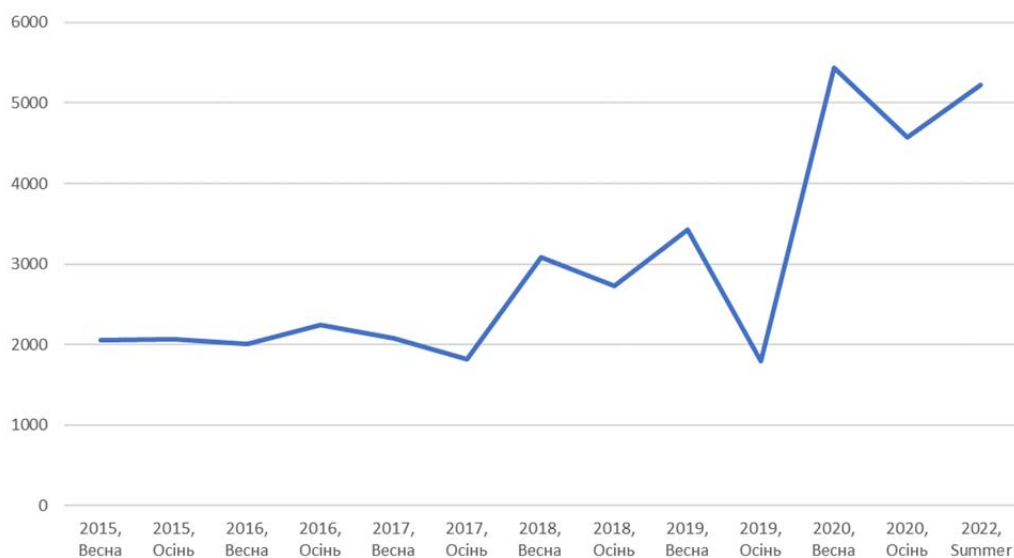


Рисунок 6 – Динаміка використання велосипедів у Києві

Figure 6 – Dynamics of bicycle use in Kyiv

Наслідки впливу війни

Транспортний сектор має найбільші потреби у відновленні економіки через руйнування, спричинені повномасштабним вторгненням, приблизно 92 мільярди доларів. Збитки оцінюють у 36 мільярдів доларів США, головним чином у дорожній інфраструктурі (63,7%), за якою слідують залізнична інфраструктура та рухомий склад (19,2%), приватні транспортні засоби (10,2%) та системи міського транспорту (5,2%). Фактичний збиток, завданий вторгненням, може бути ще вищим через обмеження в оцінці збитків, завданих приватному транспорту та логістичним активам [12].

Фінансові збитки оцінюються в 32 мільярди доларів, що свідчить про критичну важливість транспортного сектора для внутрішньої та міжнародної торгівлі. Блокада чорноморських портів України негативно вплинула на експорт, що призвело до значних фінансових втрат. Чорноморська зернова ініціатива, яка сприяла морському експорту 36,5 млн тон українського зерна в період з 22 липня 2022 року по 17 липня 2023 року, зменшила збитки приблизно на 1,3 мільярда доларів. Однак ще до того, як Росія призупинила цю ініціативу в липні 2023 року, вона не поширювалася на інші види вантажів, які в попередні роки втричі перевищували тоннаж українського експорту зерна морем. Ініціатива ЄС «Дороги солідарності», яка доставляє товари залізницею, зіграла важливу роль у забезпеченні альтернативних торгових маршрутів для цих товарів, але її конкретний вплив ще не визначено.

Вторгнення росії в Україну спонукало Україну переглянути свою транспортну мережу, водночас надаючи можливість розвинути більш стійку транспортну систему. Поступова інтеграція України до європейських і трансатлантичних ринків і ланцюжків доданої вартості потребуватиме відновлення, модернізації та розширення різних видів транспорту, а також нових інвестицій у транспортні системи та інфраструктуру. Відновлення доступу до територій, постраждалих від вторгнення, не завжди означає відновлення систем, як вони існували до вторгнення. У той же час уряди повинні посилити стійкість національного транспортного сектору та інвестувати в ефективну низьковуглецеву інфраструктуру.

Висновки. Підсумувавши вище зазначене, можна сказати, що в Україні зроблені певні кроки задля стійкого розвитку сталої та розумної мобільності у контексті його узгодження з цілями ЄЗК. Проте існує ряд проблем, що вимагають зусиль у законодавчій реформі та трансформації політики в напрямку більш чистих, ефективних і технологічно розвинених транспортних систем. Військовий стан робить ці зусилля ще більш нагальними, підкреслюючи потребу в стійких і перспективних транспортних рішеннях, які не лише задовольняють нагальні потреби в мобільності, але й сприяють глобальному прагненню до сталого і декарбонізованого майбутнього.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. European Commission. (2019). Communication from the commission, "The European Green Deal". Brussels 11-12-2019, link: EUR-Lex-52019DC0640-EN-EUR-Lex (europa. eu).
2. European Commission. (2020). Smart Specialisation for Sustainability, Resilience and Inclusiveness. URL: https://ec.europa.eu/regional_policy/rest/cms/upload/12112020_081248_presentation_campi_stancova.pdf
3. Андрусевич, А., Андрусевич, Н., Козак, З., Кравчук, В., Мовчан, В., Синиця, А., ... & Шор, К. (2020). Європейський зелений курс. Можливості та загрози для України.
4. Річний моніторинговий звіт «Україна та Європейський зелений курс». (2023). Dixigroup. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/richnyi-monitorynhovyi-zvit-ukraina-ta-yevropeyskyi-zelenyi-kurs-04-02-2023>
5. Фісуненко, П. А. (2024). Основні засади впровадження моделі «зеленої» економіки в Україні. Цифрова економіка та економічна безпека, (2 (11)), 29-34.
6. Білокінна, І. (2023). Зелена економіка як вимога часу та основа успішного післявоєнного відновлення країни. Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. №2 (316). С. 79-88
7. Зелений курс в Україні: складний рух до сталого розвитку. Українська Енергетика. (2023). URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/zelenyi-kurs-v-ukraini-skladnyi-ruk-do-stiikoho-rozvytku-31-03-2023>
8. Статистичний щорічник України за 2021 рік, Державна служба статистики України
9. Євросоюз оновив індикативні мапи Транс'європейської транспортної мережі (TEN-T) для України та Молдови, Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. URL: <https://mtu.gov.ua/news/35067.html>

10. Світовий банк. (2023). Можливості залучення приватного сектору до зеленої та стійкої відбудови України: Частина 1», жовтень 2023 URL: www.ifc.org/en/insights-reports/2023/private-sector-opportunities-for-a-green-and-resilient-reconstruction-in-ukraine
11. Підрахунок велосипедистів (2022) U-Cycle (ГО «Асоціація велосипедистів Києва»). URL: <https://u-cycle.org.ua/projects/pidrakhunok-velosypedystiv/>
12. Ukraine - Third Rapid Damage and Needs Assessment (2023). Washington, D.C.: World Bank Group.

REFERENCES

1. European Commission. (2019). Communication from the commission, "The European Green Deal". Brussels 11-12-2019, link: EUR-Lex-52019DC0640-EN-EUR-Lex (europa. eu).
2. European Commission. (2020). Smart Specialisation for Sustainability, Resilience and Inclusiveness. URL: https://ec.europa.eu/regional_policy/rest/cms/upload/12112020_081248_presentation_ciampi_stancova.pdf
3. Andrushevych, A., Andrushevych, N., Kozak, Z., Kravchuk, V., Movchan, V., Synytsia, A., ... & Shor, K. (2020). Yevropeyskyi zelenyi kurs. Mozhlyvosti ta zahrozy dlia Ukrainy.
4. Richnyi monitorynhovyi zvit «Ukraina ta Yevropeyskyi zelenyi kurs». (2023). Dixigroup. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/richnyi-monitorynhovyi-zvit-ukraina-ta-yevropeyskyi-zelenyi-kurs-04-02-2023>
5. Fisunen, P. A. (2024). Osnovni zasady vprovadzhennia modeli «zelenoi» ekonomiky v Ukraini. Tsyfrova ekonomika ta ekonomichna bezpeka, (2 (11)), 29-34.
6. Bilokinna, I. (2023). Zelena ekonomika yak vymoha chasu ta osnova uspishnoho pisliavoiennoho vidnovlennia krainy. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Ekonomichni nauky. №2 (316). С. 79-88
7. Zelenyi kurs v Ukraini: skladnyi rukh do staloho rozvytku. Ukrainska Energetyka. (2023). URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/zelenyi-kurs-v-ukraini-skladnyi-rukhn-do-staloho-rozvytku-31-03-2023>
8. Statystychnyi shchorichnyk Ukrainy za 2021 rik, Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy
9. Yevrosoiuz onovyv indykativni mapy Transievropeiskoi transportnoi mrezhi (TEN-T) dlia Ukrainy ta Moldovy, Ministerstvo rozvytku hromad, terytorii ta infrastruktury Ukrainy. URL: <https://mtu.gov.ua/news/35067.html>
10. Svitovyi bank. (2023). Mozhlyvosti zaluchennia pryvatnoho sektoru do zelenoi ta stiikoi vidbudovy Ukrainy: Chastyna 1», zhovten 2023. URL: www.ifc.org/en/insights-reports/2023/private-sector-opportunities-for-a-green-and-resilient-reconstruction-in-ukraine
11. Pidrahunok velosypedystiv (2022) U-Cycle (ГО «Асоціація велосипедистів Києва»). URL: <https://u-cycle.org.ua/projects/pidrakhunok-velosypedystiv/>
12. Ukraine - Third Rapid Damage and Needs Assessment (2023). Washington, D.C.: World Bank Group.

РЕФЕРАТ

Куницька О.М. Європейський зелений курс в контексті сталого розвитку транспортного сектору України / О.М. Куницька, В.Д. Данчук // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

В роботі надається огляд поточного стану сталої та розумної мобільності в контексті впровадження Європейського зеленого курсу (ЄЗК). Приводиться оцінка транспортного сектору України як в цілому, так і в розрізі окремих видів транспорту; аналізується стан міської мобільності на шляху впровадження ЄЗК, а також наслідки впливу війни на визначений напрям.

Об'єктом аналізу роботи є транспортний сектор України. Мета роботи – оцінка викликів та проведення аналізу існуючого положення об'єкту дослідження.

Реалізація цілей Європейського Зеленого Курсу розглядається через ключові тематичні області, визначені Європейською комісією а саме: стала, розумна та стійка мобільність. В роботі визначені кроки, виконані задля стійкого розвитку мобільності у контексті узгодження з цілями ЄЗК, а також сформульовані проблем, що вимагають зусиль у законодавчій реформі та трансформації політики в напрямку більш чистих, ефективних і технологічно розвинених транспортних систем.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЄВРОПЕЙСЬКИЙ ЗЕЛЕНИЙ КУРС, СТАЛА МОБІЛЬНІСТЬ, РОЗУМНА МОБІЛЬНІСТЬ, СТІЙКА МОБІЛЬНІСТЬ, ТРАНСПОРТНИЙ СЕКТОР

ABSTRACT

Kunyska O.M., Danchuk V.D. The European Green Deal in the context of sustainable development of the transport sector of Ukraine. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

The paper provides an overview of the current state of sustainable and smart mobility in the context of the implementation of the European Green Deal (EGD). The paper assesses the transport sector of Ukraine both in general and in the context of individual modes of transport; analyzes the state of urban mobility on the way to the EGD implementation, as well as the consequences of the war's impact on this area.

The object of analysis is the transport sector of Ukraine. The purpose of the study is to assess the challenges and analyze the current situation of the research object.

The implementation of the European Green Deal goals is considered through the key thematic areas identified by the European Commission, namely sustainable, smart and resilient mobility. The paper identifies the steps taken for sustainable mobility development in the context of alignment with the EGD goals, and formulates the challenges that require efforts in legislative reform and policy transformation towards cleaner, more efficient and technologically advanced transport systems.

KEYWORDS: EUROPEAN GREEN DEAL, SUSTAINABLE MOBILITY, SMART MOBILITY, RESILIENT MOBILITY, TRANSPORT SECTOR

АВТОРИ:

Куницька Ольга Миколаївна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри транспортних систем і безпеки дорожнього руху, Національний транспортний університет, e-mail: o.kunyska@gmail.com, тел. +38-044-280-48-85, Україна, 01010, м. Київ вул. Суворова 1, к. 435, orcid.org/0000-0001-5525-1315.

Данчук Віктор Дмитрович, доктор фізико-математичних наук, професор, декан факультету транспортних та інформаційних технологій, Національний транспортний університет, e-mail: Vdanchuk@ukr.net, тел. +38-044-284-66-01, Україна, 01010, м. Київ, М. Бойчука 42, к. 203, orcid.org/0000-0003-4282-2400.

AUTHORS:

Kunyska Olga, Ph.D., associate professor, professor department of Transport systems and traffic safety, National Transport University, e-mail: o.kunyska@gmail.com, tel +38-044-280-48-85, Ukraine, 01010, m. Kyiv st. Suvorov 1, k. 435, orcid.org/0000-0001-5525-1315.

Danchuk Viktor, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Transport and Information Technologies, National Transport University, e-mail: Vdanchuk@ukr.net, tel. +38-044-284-66-01, Ukraine, 01010? Kyiv, 42, M. Boichuka Str., room 203, orcid.org/0000-0003-4282-2400.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Іванов О.К., доктор технічних наук, доцент, Національний університет, професор кафедри організації, Київ, Україна.

Петров О.К., доктор економічних наук, професор, Національний університет, професор кафедри організації, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Ivanov O.K., Ph.D., Engineering (Dr.), associate professor, National University, professor, department of organizations, Kyiv, Ukraine.

Petrov O.K., Ph.D., Economics (Dr.), professor, National University, professor, department of organizations, Kyiv, Ukraine.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ 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

Кошарний В.О., Національний транспортний університет, Київ, Україна, vakosharnyi@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6203-2567

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 V.I. 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

Kosharnyi V.O., National Transport University, Kyiv, Ukraine, vakosharnyi@gmail.com, orcid.org/0000-0001-6203-2567

Постановка проблеми. Міста та інші населені пункти є транспортними вузлами, в яких з'єднуються автомобільні дороги. Тут зосереджується велика кількість автомобілів позаміської приписки, які розходяться по міських пунктах призначення, та автомобілі, які прямують через місто транзитом. Все це призводить до зниження швидкості руху, зменшення пропускної здатності доріг, невинно погіршує умови при маневруванні автомобілів, збільшує кількість дорожньо-транспортних пригод, загазованість повітря та шум.

На підходах до великих міст інтенсивність руху зростає, його склад стає різноманітним: вантажні та легкові автомобілі, автопоїзди, великогабаритні та вантажні автомобілі, швидкісні автобуси, мотоцикли і велосипеди.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженням характеристик транспортних потоків на автомобільних дорогах приміських зон міст України займалися такі вчені як Старовойда В.П., Дрю Д., Хомяк А.В., Хейт Ф., Заворицький В.И., Полищук В.П., Богаченко В.Н. та ін.

На підходах до великих міст інтенсивність руху зростає, його склад стає різноманітним: вантажні та легкові автомобілі, автопоїзди, великогабаритні та вантажні автомобілі, швидкісні автобуси, мотоцикли і велосипеди.

За таких умов, актуальним є питання аналізу та оцінки характеристик транспортних потоків на автомобільних дорогах приміських зон.

Невирішені раніше частини загальної проблеми.

Великі перешкоди до транспортного потоку вносять часто розташовані зупинки громадського транспорту, перехрестя чи примикання доріг. Це призводить до необхідності виконувати випередження автомобілів, то повільно рухаються, гальмувати перед перехрестями та примиканнями. Все це спричинює зниження перепускної здатності доріг та зменшує рівень безпеки руху. Транспортний потік при русі по автомобільних дорогах приміських зон характеризується низкою особливостей: наявність водіїв, які мають різну мету руху, іншими словами, таких, що прямують різними маршрутами (в місто, транзитом через місто, в місто з місць масового відпочинку), наявність ранкового і вечірнього «піків» інтенсивності руху, коливання розмірів, напряму та часу виконання значної частини переміщень місцевого транспорту, мінливість складу руху [1-4].

В зв'язку з цим імітаційне моделювання характеристик транспортних потоків на автомобільних дорогах приміських зон міст України є актуальним.

Автомобільні дороги приміської зони повинні бути пристосовані до безупинного переходу автомобілів з зовнішньої на внутрішню вулично-дорожню мережу (ВДМ) і до безпечного подальшого руху по внутрішній мережі міста. Однією із зв'язуючих ланок між цими мережами є кільцева автомобільна дорога (КАД).

Специфічність КАД складається, головним чином, в умовах руху, характерною особливістю яких є одночасна наявність транспортних засобів, водії яких мають свою мету руху, тому що їх дії визначаються різними маршрутами їх руху на одному й тому самому перегоні дороги: «приміська зона – КАД – місто», «місто – КАД – приміська зона», «місто – КАД – місто» і транзитом поза містом.

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 [5-10].

Метою роботи є публікація отриманих через імітаційне моделювання характеристик транспортних потоків на автомобільних дорогах приміських зон міст України.

Виклад основного матеріалу дослідження.

1. Загальні мета і завдання імітаційного моделювання

Швидкості руху, що склалися в залежності від існуючих дорожніх умов, є одним з показників ефективності роботи автомобільної дороги. Різниця між фактичними і максимально можливими для конкретного автомобіля показниками швидкості обумовлено різницею у часі руху та часі, що витрачається на сповільнення, затримки і зупинки: чим вони менше, тим ефективніші умови дорожнього руху. У процесі натурних досліджень затримки у русі враховуються в неявному вигляді. Визначити їхню величину традиційним шляхом, практично, неможливо.

Рух транспортного потоку у взаємозв'язку усіх впливаючих факторів – випадковий процес, у якому інтервали між автомобілями, їх швидкості та прискорення руху, час реакції водія тощо, є випадковими величинами, що залежать від складу та інтенсивності руху, які залежать від складу та інтенсивності потоку, цілей руху водіїв і організації дорожнього руху.

Застосування імовірнісних моделей, що ґрунтуються на положеннях теорії масового обслуговування, не дозволяють достатньо повно врахувати усе різноманіття факторів взаємодії автомобілів у транспортному потоці. Імітаційні моделі, що реалізуються завдяки сучасній обчислювальній техніці, мають при цьому низкою переваг [11-12]:

- можливістю отримання інформації про характеристики транспортних потоків, функціонування елементів автомобільної дороги, про вплив на зовнішнє середовище;
- можливістю виявлення головних параметрів системи та їх взаємозв'язків, що насамкінець, може привести до виведення аналітичних залежностей;
- можливістю отримання інформації про розподіл вихідних величин, а не тільки впливу середніх значень і дисперсії;
- порівняно дешевизною моделювання;
- безпекою дослідження транспортних потоків
- можливістю визначення впливу різних рішень по організації дорожнього руху, різних значень інтенсивності і складу потоків без створення перешкод реальному транспортному потоку;
- використанням для прогнозування «вузьких» місць та інших перешкод, що з'являються при введенні в систему нових елементів;
- можливістю перевірки змін в системі до їхнього практичного застосування.

Метою імітаційного моделювання у цьому дослідженні є отримання основних характеристик дорожнього руху, а також витрат часу, необхідних для переміщення автомобілів по ділянці дороги, що моделюється, при різних схемах організації руху, різних значеннях інтенсивності, складу і цілей руху.

2 Імітаційна модель функціонування ділянки кільцевої автомобільної дороги

Математична модель побудована засобами імітаційного моделювання сумісного руху місцевих і транзитних транспортних потоків ділянкою кільцевої автомобільної дороги та базується наявністю таких факторів:

- наявністю на кожній ділянці дороги водіїв з різним цілями руху;
- залежністю загальної кількості смуг руху, а також визначених схем дорожнього руху від складу транспортного потоку і цілей водіїв;
- можливістю визначення впливу технічних засобів організації дорожнього руху на характеристики конкретного складу транспортного потоку;
- можливістю виділення спеціальних смуг руху та оцінки їх ефективності;

– можливістю визначення мінімальних і оптимальних відстаней між пересіченнями та примиканнями.

Імітаційне моделювання є загальним поданням логічних зв'язків у транспортному потоці, що розглядається, як складній транспортній системі. Воно застосовується при дослідженні складних взаємовпливів у транспортних потоках, що особливо проявляється на кільцевих дорогах.

Програма моделювання розроблена для з'їзду з ділянки дороги. Передбачена можливість зміни та варіювання вхідних параметрів з метою змін структури Кільцевої дороги, що дозволяє моделювати роботу доріг різної конфігурації. До перемінних факторів, що характеризують конфігурацію магістралі, відносяться (рис. 1):

- кількість смуг руху;
- довжина ділянки дороги, що моделюється;
- розташування і довжина перехідно-швидкісних смуг в'їздів і з'їздів;
- характеристики дискретних відрізків ділянки дороги на швидкості руху, що досягаються;
- схема ОДР на ділянці дороги, що моделюється.

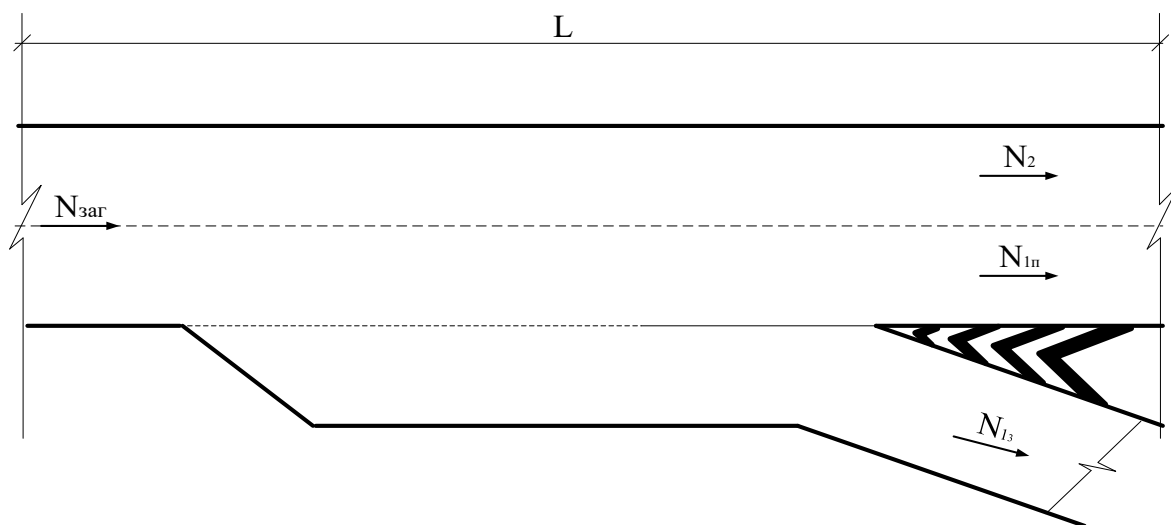


Рисунок 1 – Схема ділянки моделювання

Figure 1 – Scheme of the modeling area

У моделі передбачений набір логічних операцій, що необхідні для безпечного руху транспортних засобів у межах ділянки, що моделюється. Загальна логічна схема математичної моделі подана на рис. 2.

Програма моделювання сумісного руху потоків кільцевою дорогою уявляє собою послідовний розрахунок характеристик руху кожного окремого автомобіля через рівні інтервали часу Δt .

Моделювання робиться методом модельованої вибірки. Для дослідження складної транспортної системи потрібно скласти статистичний план, який дозволяє розглядати деяке кінцеву кількість комбінацій початкових умов через те, що для повного перегляду варіантів рішення мало потрібним декілька тисяч циклів моделювання.

В основі моделі закладено уяву транспортного потоку як сукупності транспортних засобів, кожний з яких описується вектором

$$M[N, t_i, V_i, X_i, K, \xi]$$

де N – номер смуги руху;

t_i – момент в'їзду на смугу i -го автомобіля;

V_i – поточна швидкість i -го автомобіля;

X_i – координата i -го автомобіля;

K – тип i -го автомобіля;

ξ – мета руху конкретного водія (або автомобіль рухається наскрізним чином, або автомобіль прямує на з'їзд з дороги).

Вихідними даними на моделювання є:

- довжина ділянки дороги;
- час моделювання;
- інтервал часу для перегляду ситуації на ділянці дороги;
- інтенсивність руху і розподіл інтервалів слідування кожною смугою руху;
- вірогідність появи водіїв з конкретними цілями руху;
- інженерно-планувальні рішення і схема організації дорожнього руху.

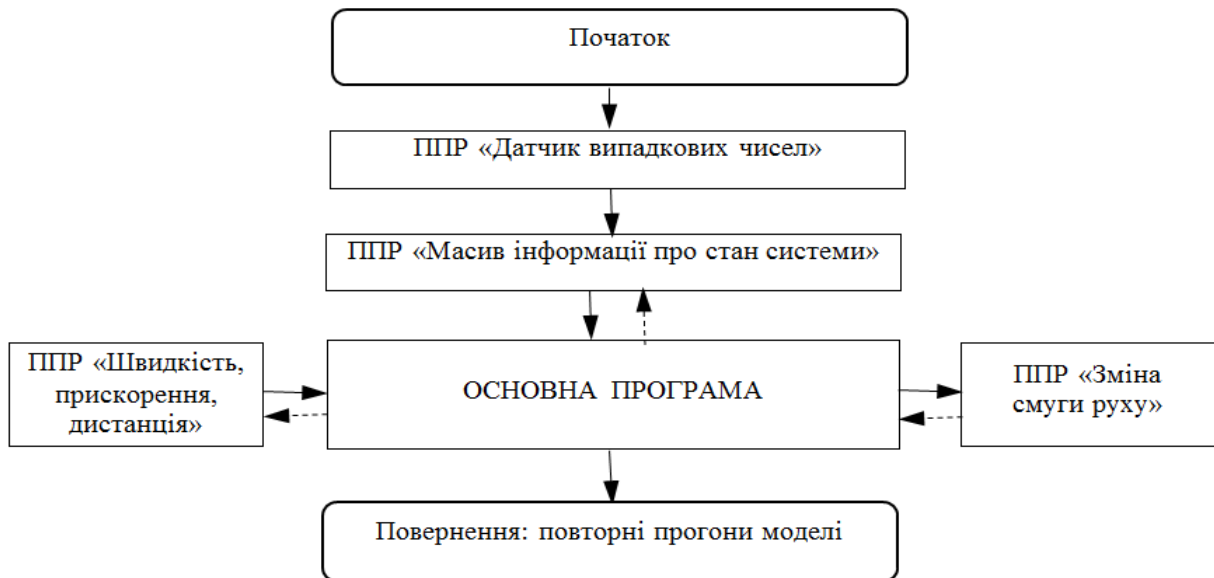


Рисунок 2 – Блок-схема імітаційної моделі
Figure 2 – Block diagram of the simulation model

Частина 1. Завдання початкової ситуації на ділянці дороги, що моделюється

В основі роботи першої частини програми закладений датчик випадкових чисел. Кожне значення випадкового числа (яке підпорядковується заданому закону розподілу) береться за основу для швидкості руху та часу запуску автомобіля на смугу руху. Тип автомобіля обирається на підставі випадкового числа, рівномірно розподіленого на інтервалі $[0, 1]$, шляхом порівняння заданого числа з імовірностями $p_1, p_2, \dots$, тощо. Таким же чином для кожного автомобіля формується ціль його руху. В результаті багатовисхідного звернення до датчика випадкових чисел робоче поле векторів двовимірного масиву A заповнюється їх складовими. До моменту початку розрахунку початкова ситуація характеризується наявністю двовимірного масиву інформація про автомобілі, процес руху яких розглядається в процесі імітаційного моделювання.

Частина 2. Динаміка руху автомобілів смугою

Перегляд ситуації на кожній смузі складається з чотирьох етапів, які виконуються послідовно для кожної з них.

На першому етапі перевіряється умова руху автомобілем кінця ділянки дороги, що моделюється ($x_i - L \geq 0$). Якщо це співвідношення не виконується, тоді перший етап пропускається і відбувається перехід до другого етапу. При досягненні же автомобілем кінця ділянки. В лічильнику фіксується дані по інтенсивності руху, середній швидкості, параметрам часу.

На другому етапі виконується аналіз того, чи рухається автомобіль на з'їзд дороги або рухається наскрізь даним перегонном.

Коли автомобіль рухається наскрізь, для нього мають бути розраховані швидкість і дистанція безпеки у відповідності з третім етапом другої частини алгоритму, що моделює, в залежності від того, чи рухається він у вільних умовах або на вибір ним швидкості та дистанції впливають інші автомобілі.

Якщо автомобіль рухається на з'їзд з дороги, тоді, щонайперше, слід перевірити, чи знаходиться він на першій смузі, чи ні. За умови, що автомобіль знаходиться він на першій

смугі, необхідно перевірити, чи досяг він початку перехідно-швидкісної смуги. Якщо це так, то він рухається на з'їзд з дороги з уповільненням до значення швидкості, що відповідає швидкості руху на петле розв'язки. Якщо ні, то необхідно розрахувати його швидкість і потрібну дистанцію безпеки у відповідності з логікою прийняття рішень за третім етапом другої частини.

Коли автомобіль рухається по першій смугі, а йому необхідно з'їхати з дороги, то треба визначити, чи досяг автомобіль точки прийняття рішення про з'їзд з дороги. Такою точкою є координата встановлення інформаційно-вказівного знаку, на якому має бути інформація про відстань до з'їзду з дороги.

При позитивній відповіді на таку перевірку робиться спроба автомобілем змінити смугу руху на першу у відповідності з третьою частиною алгоритму. При цьому також контролюється логіка вибору автомобілем швидкості та дистанції безпеки. (третій етап другої частини).

Логіка вибору швидкості та дистанції автомобілем базується на перевірці його руху у вільних або зв'язаних умовах.

Якщо передній автомобіль рухається швидше i -го автомобіля, тоді останній у даному проміжку часу слід вважати таким, що вільно рухається. При цьому швидкість його визначається в залежності від дорожніх умов і прийнятої схеми організації дорожнього руху.

Якщо автомобіль рухається з рівною або більшою швидкістю ніж передній, то потрібно перейти до логіки вибору автомобілем дистанції, побудованій на розрахунку дистанції безпеки, а також перевірки можливості та необхідності зміни смуги руху або уповільнення автомобіля, величина якого залежить від відносної швидкості взаємодіючих автомобілів і типу i -го автомобіля.

Останнім етапом другої частини алгоритму є визначення приросту координати автомобіля на поточний крок моделювання:

$$X_{нов} = x_i + V_i * \Delta t.$$

Частина 3. Коригування стану транспортного потоку під час руху його багатосмуговою автомобільною дорогою

Це коригування полягає у послідовній перевірці наявності автомобілів, яким необхідно змінити смугу руху за критеріями необхідності та можливості цього процесу.

При зміні автомобілем смуги руху в його векторі робиться зміна номеру смуги, яку він займає.

Після того, як будуть переглянуті траєкторії руху транспортних засобів кожної смуги, робиться збільшення поточного часу на Δt . Перевіряється умова $t_{поточе} \geq T$. Якщо ця умова виконується, то переходимо до четвертої частини алгоритму, але, якщо не виконується, то до другої частини.

Частина 4. Обчислення та друк гістограм

Для дослідження відповідності прийнятої на ділянці дороги схеми ОДР вимогам транспортного потоку обчислюються і видаються наступні параметри:

- кількість автомобілів, які змінили смугу руху;
- кількість автомобілів, які рухаються у вільних і зв'язаних умовах (окремо);
- інтенсивність руху для кожної смуги руху та для дороги в цілому;
- швидкість руху для кожної смуги руху та для дороги в цілому;
- часові характеристики руху;
- показники ефективності функціонування системи.

Кожний з лічильників в імітаційній моделі мають різні функції:

1) лічильники 1 і 2 фіксують відповідно: кількість автомобілів, що закінчили свій рух окремо на з'їзд з дороги та наскрізний рух;

2) лічильники 3, 4, 6 – відповідно: рух з постійною швидкістю, з прискоренням та зміна смуги руху;

3) лічильники 5, 505, 50 характеризують рух автомобілів з уповільненням: рух за лідером, що має меншу швидкість; рух на перехідно-швидкісну смугу з'їзду по першій смугі; рух на

перехідно-швидкісну смугу з'їзду по другій смузі та неможливістю безперешкодної зміни на першу смугу через її зайнятість.

Перша група лічильників використовується для фактичного визначення інтенсивності руху на виході з ділянки дороги та визначення частки руху, що рухається на з'їзд з дороги.

Друга група лічильників характеризує частку вільного руху (без зміни швидкості руху).

Третя група лічильників дозволяє судити про втрати часу при русі автомобіля ділянкою автомобільної дороги. При чому лічильник 505 характеризує кількість автомобілів, які вільно рухаються на з'їзд з дороги і через це знижують швидкість, що у незв'язаному потоці практично не впливає на вибір швидкості автомобілів, які рухаються ними. Лічильник 5 визначає кількість автомобілів, які вимушені знизити швидкість через бажання змінити смугу та неможливості це зробити з ходу. Окрім того, лічильник 55 дозволяє визначити відповідність схеми ОДР вимогам транспортного потоку в зоні впливу з'їзду з дороги. Таким чином, неможливість зміни смуги руху з другої на першу і подовження руху на з'їзд з дороги зі швидкістю 20 км/г і менше призведе до передзаторової ситуації на ділянці дороги.

Побудована як імітаційна модель функціонування ділянки кільцевої дороги враховує як цілі, так і склад руху. Через урахування впливу різних технічних засобів ОДР при визначенні інженерно-планувальних рішень автомобільної дороги можуть бути досліджені різні поєднання інтенсивності, складу і цілей руху, а також визначені для них раціональні схеми ОДР сумісного руху транзитних і місцевих транспортних потоків.

Достовірність результатів моделювання

Для того, щоб оцінити достовірність отриманих під час імітаційного моделювання результатів, необхідно проаналізувати їх відповідність даним натурних спостережень.

Однією з найважливіших характеристик транспортного потоку є швидкість руху. Розподіл швидкостей руху транспортних засобів каже про швидкісну структуру транспортних потоків.

Таким чином має бути встановлено, що вибірки отриманих характеристик імітаційної моделі до реальної системи належать одній сукупності, що свідчить про адекватність даного імітаційного моделювання реальному процесу дорожнього руху.

Таким чином встановлено, що вибірки вихідних характеристик запропонованої імітаційної моделі та реальної системи належать одній сукупності, що свідчить про адекватність цього імітаційного моделювання щодо реального процесу дорожнього руху.

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. Старовойда В.П. Вводные и кольцевые магистрали. Киев, Будівельник, 1980 г., 144 с.
2. Старовойда В.П. Исследование трасс и определение габаритных размеров автомобильных магистралей на подходах к городам. Автореферат ... канд. техн. наук, Киев, 1968 г., 23 с.
3. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. М., Транспорт, 1972, 424 с.
4. 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.
5. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. Перевод с англ. М., Мир, 1966, 286 с.

6. 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.

7. Белятинский А.А. К вопросу ограничения скоростей на автомагистралях. В сб.: Автомобильные дороги и дорожное строительство, К.: 1976, вып. 18.

8. Богаченко В.Н. Усовершенствование методов организации движения автомобилей на развязках автомобильных дорог. Дисс. ... канд. техн. наук, К., КАДИ, 1988, 243 с.

9. Полищук В.п. Исследование движения транспортных потоков на развязках автомобильных дорог. Дисс. ... канд. техн. наук. Киев, КАДИ, 1968.

10. Пальчик А.Н. Усовершенствование методов оценки условий движения на основе учета состава транспортного потока. Дисс. ... канд. техн. наук. Киев, КАДИ, 1987, 174 с.

11. 24. РТМ 44-62. Методика статистической обработки экспериментальных данных. М., Комитет стандартов. 1966, 100 с.

12. Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. К., Мир, 1975, 500 с.

РЕФЕРАТ

Лановий О.Т. Імітаційне моделювання характеристик транспортних потоків на автомобільних дорогах приміських зон міст України./ О.Т. Лановий, В.Б. Кисельов, О.М. Кошарний, В.О. Кошарний // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

В статті розглянуті дослідження характеристик транспортних потоків на автомобільних дорогах приміських зон міст України.

Об'єкт дослідження – транспортні потоки при русі по автомобільних дорогах приміських зон.

Метод дослідження – імітаційне моделювання.

Мета роботи – публікація отриманих через імітаційне моделювання характеристик транспортних потоків на автомобільних дорогах приміських зон міст України.

Швидкості руху, що склалися в залежності від існуючих дорожніх умов, є одним з показників ефективності роботи автомобільної дороги. Різниця між фактичними і максимально можливими для конкретного автомобіля показниками швидкості обумовлено різницею у часі руху та часі, що витрачається на сповільнення, затримки і зупинки: чим вони менше, тим ефективніші умови дорожнього руху. У процесі натурних досліджень затримки у русі враховуються в неявному вигляді. Визначити їхню величину традиційним шляхом, практично, неможливо.

Рух транспортного потоку у взаємозв'язку усіх впливаючих факторів – випадковий процес, у якому інтервали між автомобілями, їх швидкості та прискорення руху, час реакції водія тощо, є випадковими величинами, що залежать від складу та інтенсивності руху, які залежать від складу та інтенсивності потоку, цілей руху водіїв і організації дорожнього руху.

Застосування імовірнісних моделей, що ґрунтуються на положеннях теорії масового обслуговування, не дозволяють достатньо повно врахувати усе різноманіття факторів взаємодії автомобілів у транспортному потоці. Імітаційні моделі, що реалізуються завдяки сучасній обчислювальній техніці, мають при цьому низькою перевагу.

Метою імітаційного моделювання у цьому дослідженні є отримання основних характеристик дорожнього руху, а також витрат часу, необхідних для переміщення автомобілів по ділянці дороги, що моделюється, при різних схемах організації руху, різних значеннях інтенсивності, складу і цілей руху.

Побудована як імітаційна модель функціонування ділянки кільцевої дороги враховує як цілі, так і склад руху. Через урахування впливу різних технічних засобів ОДР при визначених інженерно-планувальних рішеннях автомобільної дороги можуть бути досліджені різні поєднання інтенсивності, складу і цілей руху, а також визначені для них раціональні схеми організації дорожнього руху сумісного руху транзитних і місцевих транспортних потоків.

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.

Результати статті можна використовувати при проектуванні автомобільних доріг приміської зони, а також для удосконалення їхнього функціонування.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ, ПРИМІСЬКА ЗОНА, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ТРАНСПОРТНІ ПОТОКИ, КІЛЬЦЕВА АВТОМОБІЛЬНА ДОРОГА.

ABSTRACT

Lanovy O.T., Kiselyov V.B., Kosharny O.M., Kosharny V.O. Experimental studies of the characteristics of traffic flows on the highways of suburban areas of Ukrainian cities. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

The article examines the study of the characteristics of traffic flows on highways in the suburban areas of Ukrainian cities.

The object of the research is traffic flows when driving on highways in suburban areas.

The research method is simulation modeling.

The purpose of the work is to publish the characteristics of traffic flows obtained through simulation modeling on highways in suburban areas of Ukrainian cities.

Traffic speeds, which have developed depending on the existing road conditions, are one of the indicators of the efficiency of the road. The difference between the actual and the maximum possible speed indicators for a particular car is due to the difference in driving time and the time spent on deceleration, delays and stops: the smaller they are, the more efficient the traffic conditions. In the process of field studies, delays in movement are implicitly taken into account. It is practically impossible to determine their value in the traditional way.

The movement of the traffic flow in the relationship of all influencing factors is a random process in which the intervals between cars, their speeds and accelerations, the driver's reaction time, etc., are random variables that depend on the composition and intensity of traffic, which depend on the composition and intensity of the flow, goals of drivers and traffic organization.

The use of probabilistic models based on the provisions of the theory of mass service do not allow to sufficiently fully take into account all the diversity of factors of the interaction of cars in the traffic flow. Simulation models implemented thanks to modern computer technology have a number of advantages.

The purpose of simulation modeling in this study is to obtain the main characteristics of traffic, as well as the time required to move cars along the simulated road section, with different schemes of traffic organization, different values of intensity, composition and purposes of traffic.

Built as a simulation model of the functioning of the section of the ring road, it takes into account both the goals and the composition of the traffic. By taking into account the impact of various technical means of road traffic control, various combinations of traffic intensity, composition, and goals can be studied in certain engineering and planning decisions of the road, as well as rational schemes for the organization of road traffic and the simultaneous movement of transit and local traffic flows can be determined for them.

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, an indicator 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.

The results of the article can be used in the design of highways in the suburban area, as well as to improve their functioning.

KEY WORDS: AUTOMOBILE ROADS, SUBURBAN AREA, SIMULATION MODELING, TRANSPORT FLOWS, RING ROAD.

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>

Кошарний Владислав Олександрович, аспірант Національний транспортний університет, кафедра «Технічна експлуатація автомобілів», vlad.kosharnyi@gmail.com, тел. +380678903584 Україна, 01010, м. Київ, вул. М.Омеляновича-Павленка 1. к. 410, orcid.org/0000-0001-6203-2567

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>

Vladyslav Oleksandroovich Kosharnyi, postgraduate student, National Transport University, department "Technical operation of vehicles", vlad.kosharnyi@gmail.com, tel. +380678903584 Ukraine, 01010, Kyiv, str. M. Omelyanovicha-Pavlenka 1. k. 410, orcid.org/0000-0001-6203-2567

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Медведев М.Г.. доктор 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:

M.G. Medvedev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Tavri 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.

ПРУЖНЕ ЗАКРИТИЧНЕ ЗГИНАННЯ БУРИЛЬНИХ КОЛОН У ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОРОЖНИНАХ НАФТО-ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

Левківська Л.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, l.v.g.ntu@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5589-5257

ELASTIC SUPERCRITICAL BENDING OF DRILL STRINGS IN CYLINDRICAL CAVITIES OF OIL AND GAS WELLS

Levkivska L.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, l.v.g.ntu@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5589-5257

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими й практичними завданнями. Природний газ та нафта — вуглеводні, від яких залежить добробут українців. Проте добути їх досить непросто та дороговартісно через те, що їх поклади розміщуються нерівномірно і на різних глибинах. За останні десять років на світовому ринку видобутку вуглеводнів відбулася справжня технологічна революція не менша, ніж на ринку комп'ютерів чи мобільних телефонів. Але, на жаль, навіть сучасні технології розвідки не дозволяють гарантовано пробурити успішну свердловину. За статистикою, газ та нафту дають менше половини пробурених свердловин, а решта виявляються "сухими" [1].

Однією з основних перешкод глибокого буріння нафто-газових свердловин є можливість появи нештатних ситуацій, викликаних критичними станами квазістатичної рівноваги бурильної колони, її вигинанням, контактною взаємодією зі стінкою свердловини та так званим "прихопленням". Зі збільшенням глибини свердловини кількість і складність прихоплень бурильної колони зростають [2]. При цьому виникають дві проблеми дослідження механіки пружного згинання бурильної колони. Перша проблема полягає у визначенні критичного стану колони, яка формулюється як задача ейлерової втрати стійкості довгого обертового трубчастого стрижня, напруженого змінною по довжині поздовжньої силою, викликаного силами гравітації і крутним моментом. Однак не меншу цікавість викликають питання дослідження процесу подальшого (закритичного) деформування колони, коли в результаті випинання вона вступає в контакт зі стінкою свердловини і продовжує змінювати свою форму під дією зростаючої поздовжньої сили, розподіленої контактної сили і крутного моменту [3]. Моделювання цього процесу може бути виконане лише за допомогою нелінійної теорії гнучких криволінійних стрижнів.

Аналіз публікацій, в яких розпочато дослідження даної проблеми і на які спираються автори. Початок дослідженням закритичних станів бурильних колон з урахуванням їхньої контактної взаємодії зі стінками свердловини було покладено А. Любинським в 50-х роках минулого століття. Пізніше його методика була викладена в монографії [4]. Вона базується на суттєвому спрощенні задачі без урахування обертання, крутного моменту, граничних умов і припущення, що осьова стискаюча сила залишається сталою на всій довжині нескінченного стрижня. Вважається, що в результаті втрати стійкості бурильна колона набуває форму циліндричної спіралі й, завдяки цьому, на всій своїй довжині дотикається до стінок свердловини. Надалі в роботі [5] цей підхід був узагальнений на випадок дії крутного моменту, врахування граничних умов і деяких інших факторів. У даній статті ця проблема вирішується шляхом формулювання обернених задач теорії нелінійного деформування гнучких криволінійних стрижнів.

Мета роботи — побудувати нелінійні диференціальні рівняння, що описують контактну взаємодію труби бурильної колони зі стінкою свердловини, запропонувати методику їх чисельного розв'язання та представити результати комп'ютерного моделювання.

Викладення основного матеріалу досліджень. Вважатимемо, що при закритичному згинанні бурильної колони постійного радіуса r_1 вона по всій своїй довжині безперервно контактує зі стінкою свердловини. Осьова лінія свердловини вертикальна, а стінка — кругова циліндрична поверхня радіуса r_2 .

Будемо розглядати деформування колони як рух її осьової лінії L по циліндричній поверхні D радіуса $a = r_2 - r_1$.

Введемо нерухому декартову систему координат $OXYZ$ і систему координатних ліній u, v на поверхні D , спрямованих вздовж твірних і в коловому напрямку відповідно (рисунок 1).

Положення кривої L на поверхні D визначається рівностями (рисунок 2):

$$u = u(s), \quad v = v(s). \quad (1)$$

Тут s – натуральний параметр, що вимірюється довжиною лінії L від деякої початкової точки до поточної.

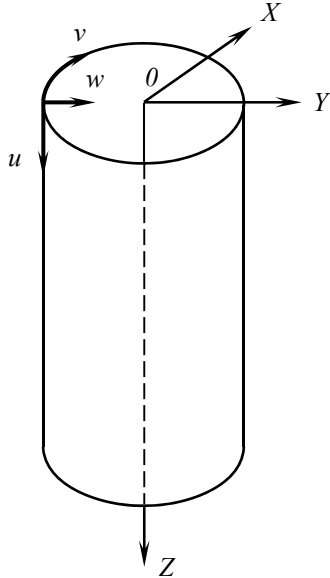


Рисунок 1 – Схема поверхні свердловини
Figure 1 – Well surface diagram

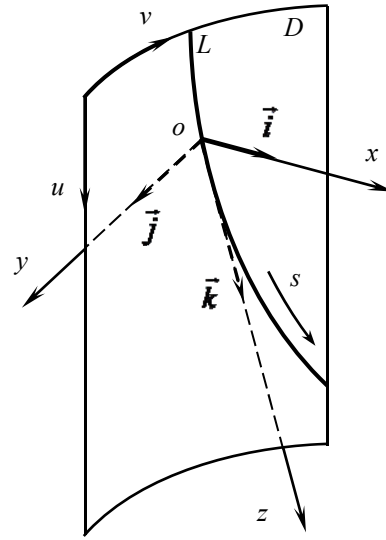


Рисунок 2 – Положення осьової лінії L на поверхні D
Figure 2 – Position of centerline L on surface D

На кривій L введемо супутню систему координат $oxyz$ з ортами $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$. Вісь ox цієї системи спрямована вздовж внутрішньої нормалі до поверхні D , вісь oz – вздовж дотичної до кривої L , вісь oy доповнює цю систему до правої трійки.

При моделюванні закритичного деформування бурильної колони вважаємо, що вона вже не обертається і відцентрові сили інерції дорівнюють нулю. Вплив потоків промивної рідини на згинання колони можна не враховувати, проте в результаті руху її потоків і легкого трясіння колони при її малих рухах усуваються сили тертя і ними також можна знехтувати. Тоді деформування БК відбувається в пружній стадії, а напружено-деформований стан визначається головними векторами внутрішніх сил $\vec{F}(s)$, внутрішніх моментів $\vec{M}(s)$ та вектором $\vec{f}(s)$ зовнішніх розподілених сил, що складається з вектора $\vec{f}^{gr}(s)$ сил тяжіння та вектора $\vec{f}^c(s)$ контактних сил. Ці сили та моменти підпорядковуються рівнянням рівноваги елемента бурильної колони [6]:

$$\frac{d\vec{F}}{ds} = -\vec{f}, \quad \frac{d\vec{M}}{ds} = -\vec{k} \times \vec{F}. \quad (2)$$

Зазвичай рівняння (2) формулюються у рухомій системі координат, осі якої збігаються з головними центральними осями інерції поперечних перерізів гнучкого стрижня. В даному випадку така необхідність відпадає, оскільки переріз бурильної колони – кільцевий та всі його центральні осі є головними. У той же час розглянута задача пов'язана з іншим ускладненням, обумовленим наявністю зв'язку у вигляді жорсткої поверхні свердловини, що обмежує переміщення колони, і появою додаткових контактних сил $\vec{f}^c(s)$, що збільшують число шуканих функцій. Однак, якщо розглядати деформування бурильної колони у супутній системі відліку $oxyz$, то цим можна не лише

розділити змінні та виключити невідому реакцію зв'язку $\vec{f}^c(s)$, а й зменшити загальну кількість шуканих функцій. Такий підхід аналогічний використанню узагальнених координат у методі рівнянь Лагранжа другого роду в порівнянні з застосуванням рівнянь Лагранжа першого роду.

З урахуванням зазначеного надамо абсолютним похідним $d\vec{F}/ds$, $d\vec{M}/ds$ в (2) форму:

$$\frac{d\vec{F}}{ds} = \frac{\tilde{d}\vec{F}}{ds} + \vec{\omega} \times \vec{F}, \quad \frac{d\vec{M}}{ds} = \frac{\tilde{d}\vec{M}}{ds} + \vec{\omega} \times \vec{M}. \quad (3)$$

Тут $\tilde{d}\dots/ds$ – локальна похідна, $\vec{\omega}$ – узагальнений вектор Дарбу, що є вектором кутової швидкості системи $oxyz$ при русі її спочатку вздовж кривої L з одиничною швидкістю. Вектор $\vec{\omega}$ визначається рівністю:

$$\vec{\omega} = k_x \vec{i} + k_y \vec{j} + k_z \vec{k}, \quad (4)$$

де k_x – геодезична кривина кривої L , k_y – нормальна кривина поверхні D вздовж кривої L , яка визначається за формулою Ейлера, k_z – кручення кривої L .

У системі відліку $oxyz$ рівняння (2) набувають вигляду:

$$\frac{\tilde{d}\vec{F}}{ds} = -\vec{\omega} \times \vec{F} - \vec{f}, \quad \frac{\tilde{d}\vec{M}}{ds} = -\vec{\omega} \times \vec{M} - \vec{k} \times \vec{F}. \quad (5)$$

Для циліндричної поверхні D компоненти вектора $\vec{\omega}$ обчислюються за формулами:

$$k_x = -a(u''v' - v''u'), \quad k_y = a(v')^2, \quad k_z = u'v'. \quad (6)$$

У цих рівностях штрихом праворуч угорі позначається похідна по параметру s .

З урахуванням рівності (4) перетворюємо рівняння (5) до скалярного вигляду окремо для співвідношень силової групи:

$$\begin{aligned} \frac{dF_x}{ds} &= -k_y F_z + k_z F_y - f_x^{gr} - f^c, \\ \frac{dF_y}{ds} &= -k_z F_x + k_x F_z - f_y^{gr}, \\ \frac{dF_z}{ds} &= -k_x F_y + k_y F_x - f_z^{gr} \end{aligned} \quad (7)$$

та моментної групи:

$$\begin{aligned} \frac{dM_x}{ds} &= -k_y M_z + k_z M_y + F_y, \\ \frac{dM_y}{ds} &= -k_z M_x + k_x M_z - F_x, \\ \frac{dM_z}{ds} &= -k_x M_y + k_y M_x. \end{aligned} \quad (8)$$

У рівняннях (8) моменти M_x , M_y , M_z обчислюються на основі формул [7]:

$$M_x = EI k_x, \quad M_y = EI k_y, \quad M_z = GI_0 k_z \quad (9)$$

де E , G – параметри пружності Ляме матеріалу труби колони; I – центральний осьовий момент інерції площі поперечного перерізу труби; I_0 – полярний момент інерції площі перерізу.

За допомогою рівностей (6) та двох перших рівнянь системи (8) можна отримати:

$$F_x = -2EIav'v'' - a(M_z - EIU'v')(u''v' - v''u') \quad (10)$$

$$F_y = -EIa \frac{d}{ds}(u''v' - v''u') + a(M_z - EIU'v')(v')^2. \quad (11)$$

З перших двох рівностей системи (9) випливає, що права частина третього рівняння системи (8) дорівнює нулю, тому:

$$M_z = \text{const} \quad (12)$$

і його значення задається у граничних умовах.

Співвідношення (6) – (9) дозволяють сформулювати систему шести диференціальних рівнянь першого порядку щодо шести функцій u , v , v' , k_x , F_y , F_z . Для їх запису зручно ввести позначення $q_1 = F_y$, $q_2 = F_z$, $q_3 = k_x$, $q_4 = v$, $q_5 = v'$, $q_6 = u$. Тоді матимемо:

$$\begin{aligned} \frac{dq_1}{ds} &= 2EIq_3(q_5^2 - a^2q_5^4) - (M_z - EIq_5\sqrt{1-a^2q_5^2})q_3q_5\sqrt{1-a^2q_5^2} + q_2q_3 - f^{gr}aq_5, \\ \frac{dq_2}{ds} &= -q_1q_3 - 2EIaq_3^3q_5\sqrt{1-a^2q_5^2} + a(M_z - EIq_5\sqrt{1-a^2q_5^2})q_3q_5^2 - f^{gr}\sqrt{1-a^2q_5^2}, \\ \frac{dq_3}{ds} &= -\frac{aM_z}{EI}q_5^2 + a\sqrt{1-a^2q_5^2} \cdot q_5^3 + \frac{1}{EI}q_1, \\ \frac{dq_4}{ds} &= q_5, \\ \frac{dq_5}{ds} &= \frac{1}{a}q_3\sqrt{1-a^2q_5^2}, \\ \frac{dq_6}{ds} &= \sqrt{1-a^2q_5^2}. \end{aligned} \quad (13)$$

Розв'язання цієї системи при заданих граничних умовах і величині M_z дає можливість за допомогою формул (6), (9), (10) знайти інші функції, що визначають напружено-деформований стан колони, та за формулою:

$$f^c = -k_y F_z + u'v'F_y - f_x - dF_x/ds \quad (14)$$

підрахувати силу контактної взаємодії бурильної колони зі стінкою свердловини.

Підкреслимо ще раз, що завдяки застосуванню супутньої системи відліку $охуз$, загальну кількість розв'язувальних рівнянь системи (13), що включає рівняння рівноваги і геометричні рівняння, зменшено до шести, тоді як порядок розв'язувальних рівнянь загальної теорії криволінійних стрижнів дорівнює дванадцяти [8]. Якщо ж у розглянутій задачі не застосовувати систему $охуз$, то кількість рівнянь збільшилася б на одне у зв'язку з появою нової шуканої функції $\vec{f}^c(s)$.

Методика розв'язання системи нелінійних рівнянь. Для вирішення сформульованої задачі використовується метод продовження розв'язку по параметру спільно

з методом Ньютона [9]. Представимо систему (13) у векторній формі:

$$\vec{q}' = \vec{f}(\vec{q}, s, \lambda), \quad (15)$$

де $\vec{q}(s) = [q_1(s), q_2(s), \dots, q_6(s)]^T$ – шестивимірний вектор стану; $\vec{f}(\dots)$ – вектор-функція правих частин системи (13); s – натуральний параметр, що вимірюється довжиною осової лінії бурильної колони; λ – параметр інтенсивності навантаження; штрихом позначена похідна по s . Зазначимо, що введений параметр λ , може бути як дійсним, так і формальним, що відображає будь-які кількісні характеристики.

На краях $s = 0$ та $s = S$ інтервалу $0 \leq s \leq S$ зміни змінної s задані по три незалежні крайові умови, представлені у векторній формі:

$$\vec{\varphi}[\vec{q}(0), \lambda] = 0, \quad (16)$$

$$\vec{\psi}[\vec{q}(S), \lambda] = 0. \quad (17)$$

Рівняння (15) – (17) складають залежну від параметра λ нелінійну двоточкову крайову задачу. Нехай за деякого вихідного значення $\lambda = \lambda^{(n)}$ відомий розв'язок $\vec{q}^{(n)}(s)$ поставленої задачі. Обираючи цей розв'язок як опорний, надамо малий приріст $\delta\lambda^{(n)}$ параметру λ . Тоді відповідну варіацію $\delta\vec{q}^{(n)}(s)$ розв'язку $\vec{q}(s)$ можна знайти з лінійного рівняння:

$$\frac{d\delta\vec{q}^{(n)}}{ds} = \frac{\partial\vec{f}}{\partial\vec{q}}\delta\vec{q}^{(n)} + \frac{\partial\vec{f}}{\partial\lambda}\delta\lambda^{(n)}, \quad (18)$$

отриманого лінеаризацією рівняння (15) в стані $\vec{q}^{(n)}, \lambda^{(n)}$.

Крайові рівняння для функції $\delta\vec{q}^{(n)}$ формуються лінеаризацією рівнянь (16), (17):

$$\frac{\partial\vec{\varphi}}{\partial\vec{q}}\delta\vec{q}^{(n)}(0) + \frac{\partial\vec{\varphi}}{\partial\lambda}\delta\lambda^{(n)} = 0, \quad (19)$$

$$\frac{\partial\vec{\psi}}{\partial\vec{q}}\delta\vec{q}^{(n)}(S) + \frac{\partial\vec{\psi}}{\partial\lambda}\delta\lambda^{(n)} = 0. \quad (20)$$

Тут матриці Якобі $\partial\vec{\varphi}/\partial\vec{q}$, $\partial\vec{\psi}/\partial\vec{q}$ та вектори $\partial\vec{\varphi}/\partial\lambda$, $\partial\vec{\psi}/\partial\lambda$ також обчислюються у стані $\vec{q}^{(n)}, \lambda^{(n)}$.

Для побудови $\delta\vec{q}^{(n)}(s)$ виберемо серед складових $\delta q_i^{(n)}(s)$ ($i = 1, 2, \dots, 6$) такі три компоненти $\delta q_j^{(n)}(s)$, будь-які значення яких $\delta q_i^{(n)}(0)$ не порушать систему (19). Пронумерувавши невідомі $\delta q_i^{(n)}$ ($i = 1, 2, \dots, 6$) так, щоб індекс j приймав значення $j = 1, 2, 3$, розв'язок задачі (18) – (20) представимо у вигляді:

$$\delta\vec{q}^{(n)}(s) = \vec{y}_\lambda \delta\lambda^{(n)} + Y(s) \delta\vec{c}^{(n)}, \quad (21)$$

де $\vec{y}_\lambda$ – розв'язок задачі Коші для системи:

$$\frac{d\vec{y}_\lambda}{ds} = \frac{\partial \vec{f}}{\partial \vec{q}} \vec{y}_\lambda + \frac{\partial \vec{f}}{\partial \lambda} \quad (22)$$

при нульових початкових умовах; $Y(s)$ – матриця розміру 6×3 розв’язку системи:

$$\frac{d\vec{y}}{ds} = \frac{\partial \vec{f}}{\partial \vec{q}} \vec{y} \quad (23)$$

з початковими умовами $y_j(0) = (\delta_1^j, \delta_2^j, \dots, \delta_6^j)$ ($j=1, 2, 3$) для незалежно змінюваних умов і початковими умовами, що підбираються з рівнянь (19) для інших змінних $y_i(0)$ ($i=4, 5, 6$). Тут δ_k^i – символ Кронекера. Вектор $\delta \vec{c}^{(n)} = [\delta c_1^{(n)}, \delta c_2^{(n)}, \delta c_3^{(n)}]^T$ підбирається так, щоб задовольнялось рівняння (20), тобто:

$$\frac{\partial \vec{\psi}}{\partial \vec{q}} Y(S) \delta \vec{c}^{(n)} = -\frac{\partial \vec{\psi}}{\partial \vec{q}} \vec{y}_\lambda(S) \delta \lambda^{(n)} - \frac{\partial \vec{\psi}}{\partial \lambda} \delta \lambda^{(n)}. \quad (24)$$

Стани, у яких:

$$\left| \frac{\partial \vec{\psi}}{\partial \vec{q}} Y(S) \right| = 0, \quad (25)$$

є біфуркаційними і в них система втрачає стійкість.

Так як вектор $\delta \vec{q}^{(n)}(s)$ знайдений з використанням лінеаризованих рівнянь (18) - (20), то розв’язки $\vec{q}^{(n+1)}(s) = \vec{q}^{(n)}(s) + \delta \vec{q}^{(n)}(s)$, $\lambda^{(n+1)} = \lambda^{(n)} + \delta \lambda^{(n)}$ будуть задовольняти нелінійні крайові рівняння (19), (20) приблизно з рівностями:

$$\vec{r}_\varphi^{(n+1)} = \vec{\varphi}[\vec{q}^{(n+1)}(0), \lambda^{(n+1)}], \quad \vec{r}_\psi^{(n+1)} = \vec{\psi}[\vec{q}^{(n+1)}(S), \lambda^{(n+1)}]. \quad (26)$$

Тому на наступному кроці варіювання параметра λ рівності (25) додаються в праві частини відповідних лінеаризованих граничних умов (19), (20) з протилежними знаками.

Для поставленої задачі рівняння (18), що відповідають системі (13), мають вигляд:

$$\begin{aligned} \delta q_1' &= q_3 \delta q_2 + \left[3EIq_5^2(1 - a^2 q_5^2) - M_z q_5 \sqrt{1 - a^2 q_5^2} + q_2 \right] \delta q_3 + \\ &+ \left[6EIq_3 q_5(1 - 2a^2 q_5^2) - M_z \frac{q_3(1 - 2a^2 q_5^2)}{\sqrt{1 - a^2 q_5^2}} - a f^{gr} \right] \delta q_5 + \left(-q_3 q_5 \sqrt{1 - a^2 q_5^2} \right) \delta M_z, \\ \delta q_2' &= -q_3 \delta q_1 + \left(-3EIa q_5^3 \sqrt{1 - a^2 q_5^2} + M_z a q_5^2 - q_1 \right) \delta q_3 + \\ &+ \left[\frac{EIa q_3 q_5^2}{\sqrt{1 - a^2 q_5^2}} (-9 + 12a^2 q_5^2) + 2M_z a q_3 q_5 + \frac{f^{gr} a^2 q_5^2}{\sqrt{1 - a^2 q_5^2}} \right] \delta q_5 + a q_3 q_5^2 \delta M_z, \\ \delta q_3' &= \frac{1}{EI} \delta q_1 + \left[-\frac{2a}{EI} M_z q_5 + a q_5^2 \frac{(3 - 4a^2 q_5^2)}{\sqrt{1 - a^2 q_5^2}} \right] \delta q_5 - \frac{a}{EI} q_5^2 \delta M_z, \\ \delta q_4' &= \delta q_5, \end{aligned} \quad (27)$$

$$\delta q'_5 = \frac{1}{a} \sqrt{1 - a^2 q_5^2} \delta q_3 - \frac{a q_3 q_5}{\sqrt{1 - a^2 q_5^2}} \delta q_5,$$

$$\delta q'_6 = -\frac{a^2 q_5}{\sqrt{1 - a^2 q_5^2}} \delta q_5.$$

Конкретні залежності для крайових рівнянь (16), (17) вибираються в залежності від умов опирання бурильної колони на краях $s=0$ та $s=S$. Вони виражаються через вертикальну силу тиску R долота на дно свердловини, крутний момент M_z , згинальний момент M_x і переміщення u та v . Кожна з цих величин може бути задана в якості головного параметру λ . Інтегрування рівнянь (27) при побудові матриці $Y(s)$ та системи (13), а також обчисленні рівностей (26) здійснюється методом Рунге-Кутти спільно з методом ортогоналізації за Годуновим [10].

Результати проведених досліджень. За допомогою запропонованої методики виконано комп'ютерне моделювання пружного закритичного деформування бурильної колони всередині вертикальної циліндричної свердловини. Прийнято, що своїм нижнім кінцем колона впирається в дно свердловини, тому на нього діє стискаюча сила реакції $F_z(S) = -R$. Величина R змінювалася, і з її збільшення відбувалося закритичне деформування бурильної колони. На верхній кінець колони діє сила $F_z(0) = G - R$, де G сила тяжіння всієї колони, підрахована з урахуванням дії гідростатичної виштовхувальної сили від промивної рідини.

Розрахунки виконані за наступних значень вихідних даних: $E = 2,1 \cdot 10^{11} \text{ Па}$, $L = 500 \text{ м}$, $r_1 = 0,3 \text{ м}$, $r_2 = 0,28 \text{ м}$, $a = 0,05 \text{ м}$, $G = 53598 \text{ Н}$. Величина $M_z = 1000 \text{ Нм}$ вважалась сталою.

Обчислення показали, що як і більшості задач механіки бурильних колон, через мале відношення $2r_1/L$ ця задача також виявилася сингулярно збуреною, тому для забезпечення збіжності розрахунків довелося крок інтегрування зменшити до величини $\Delta s = L/5000$ і використовувати 2000 точок ортогоналізації. В якості параметру λ була обрана величина кутового зміщення $v(S)$ нижнього кінця колони. Величина його приросту задавалася рівною $\Delta v(S) = 2\pi/16000$.

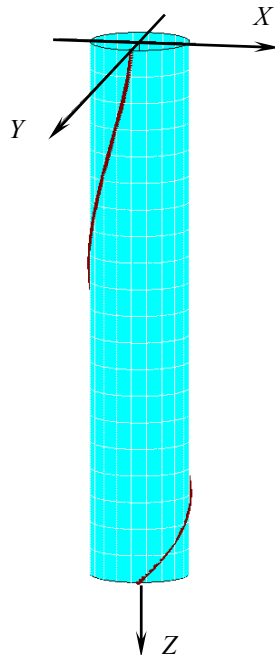


Рисунок 3 – Форма вигнутої осі бурильної колони
Figure 3 – Shape of the bent axis of the drill string

На рисунку 3 представлена форма вигнутої осі бурильної колони при $R = 12238H$. Вона відповідає спіральній кривій з одним витком. Кут нахилу спіралі змінюється, причому найбільше значення має місце на нижньому кінці $s = S$, а найменше – на верхньому кінці $s = 0$.

Рисунок 4 відображає графіки зміни перерізуючих сил $F_x(s)$, $F_y(s)$.

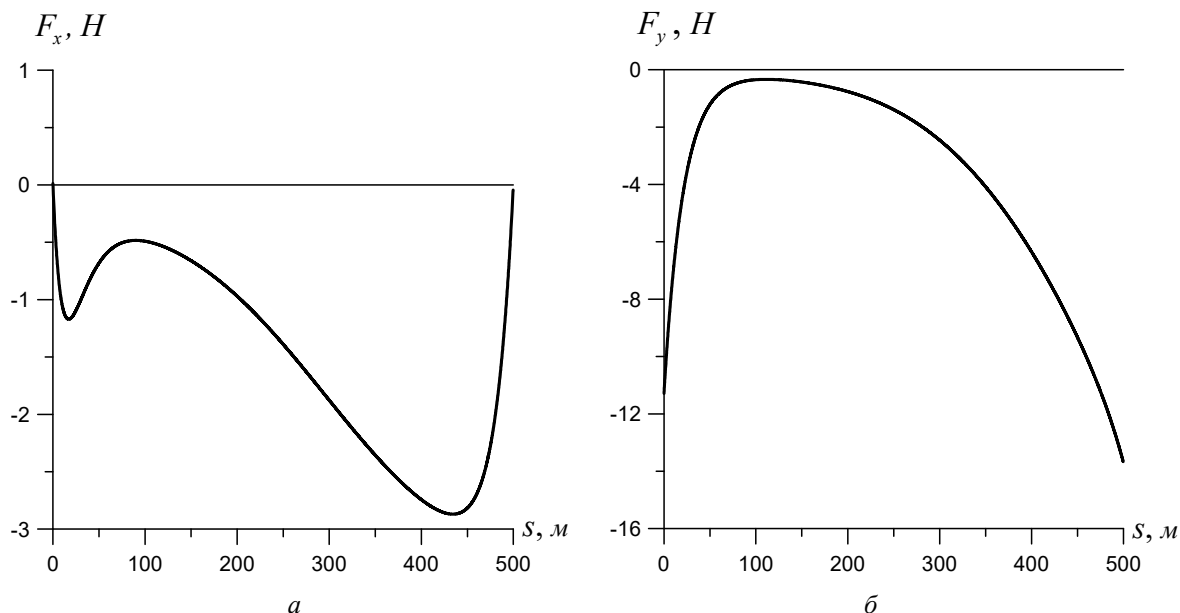


Рисунок 4 – Графіки зміни перерізуючих сил F_x (а) та F_y (б)

Figure 4 – Graphs of changes in shearing forces F_x (a) and F_y (b)

Цікаво відмітити, що навіть при $M_z = 1000Hm$, $R = 12238H$ максимальні значення цих функцій – порівняно малі.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. У цій роботі поставлено задачу про пружне закритичне згинання бурильних колон у циліндричних порожнинах вертикальних нафтових і газових свердловин. На основі теорії гнучких криволінійних стрижнів побудовані нелінійні прості диференціальні рівняння, що описують контактну взаємодію труби бурильної колони зі стінкою свердловини. Показано, що використання спеціально обраної рухомої системи координат як супутньої системи відліку дозволяє не тільки вдвічі знизити загальний порядок розв'язувальних рівнянь, а й суттєво спростити їх.

Виконано комп'ютерне моделювання процесу пружного деформування бурильної колони в циліндричній порожнині під дією крутного моменту, розподілених осьових сил тяжіння, вертикальної реакції взаємодії колони з дном свердловини і шуканих розподілених сил тиску стінки свердловини на колону. Досліджено її напружено-деформований стан. Показано, що згинання колони відбувається за формою тривимірної спіралі зі змінним кроком. При цьому значення внутрішніх перерізуючих сил і моментів порівняно невеликі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Спеціальні технології видобутку корисних копалин : навч. посіб. / З.Р. Маланчук, Є.З. Маланчук, В.Я. Корнієнко. – Рівне : НУВГП, 2017. – 266 с.

2. Буріння свердловин. У 5-и томах : довідник. Т. 3: Вертикальне та скероване буріння / М. А. Мислюк, І. Й. Рибич, Р. С. Яремійчук. – К. : Інтерпрес ЛТД, 2004. – 294 с.
3. Левчук К.Г. Прихоплення бурильної колони: визначення меж і утримувальних сил, рекомендації щодо їх уникнення під час буріння свердловин / К. Г. Левчук, В. І. Векерик, В. М. Мойсишин // Прикарпатський вісник НТШ. – 2018. – № 1. – С. 189–199.
4. Lubinski A. Developments in Petroleum Engineering – Vol. 1 Houston, TX, USA : Gulf Publishing Company, 1987. – 438 pp.
5. Cunha J.C. Buckling of tubulars inside well bores: a review on recent theoretical and experimental works / SPE Drilling & Completion. – 2004. – Vol. 19. – No. 1. – P. 13 – 19.
6. Гуляєв В.І. Мінімізація сил опору при осьовому русі бурильної колони у криволінійній свердловині/ В. І. Гуляєв, О.М. Андрусенко, Л. В. Левківська // Вісник Національного транспортного університету. Серія "Технічні науки". Науково-технічний збірник. Випуск 1 (31), 2015. – С. 145 – 152.
7. Гайдайчук В. В. Математичне моделювання пружного згинання бурильної колони у каналі криволінійної нафто – газової свердловини / В. В. Гайдайчук, Л. В. Левківська, Я. І. Ковальчик // Опір матеріалів і теорія споруд: Науково – технічний збірник. – Вип. 97. – 2016. – С. 43 – 58.
8. Левківська Л.В. Математичні аспекти проблем механіки буріння нафтогазових свердловин / Л.В. Левківська // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні тенденції розвитку науки» (26-27 травня 2017 року). – Харків : «Гельветика», 2017. – С. 44 – 46.
9. Левківська Л.В., Горбунович І.В. Дослідження обертового й поздовжнього рухів наддовгого стрижня в похилих порожнинах / Вісник Національного транспортного університету. Серія "Технічні науки". Науково-технічний збірник. Випуск 1 (46), 2020. – С. 92 – 102.
10. Гайдайчук В. В. Прогнозування закритичної поведінки бурильних колон у горизонтальних свердловинах / В.В. Гайдайчук, М.В. Лазарева, Л. В. Левківська // Опір матеріалів і теорія споруд / Strength of Materials and Theory of Structures. 2023. № 110. – С. 118 – 130.

REFERENCES

1. Malanchuk, Z.R., Malanchuk, YE.Z., & Korniyenko, V.YA. (2017). *Spetsialni tekhnolohiyi vydobutku korysnykh kopalyn [Special technologies of mineral extraction]*. Rivne : NUVHP [in Ukrainian].
2. Myslyuk, M. A., Rybchich, I. Y., & Yaremiychuk R. S. (2004). *Burinnya sverdllovyh [Drilling wells]* Kyiv.: Interpress LTD [in Ukrainian].
3. Levchuk, K.G., Vekeryk, V. I., & Moysyshyn, V. M. (2018). Prykhoplennya burylnoyi kolony: vyznachennya mezh i utrymuvalnykh syl, rekomendatsiyi shchodo yikh unykennya pid chas burinnya sverdllovyh [Sticking of the drill string: determination of boundaries and holding forces, recommendations for avoiding them when drilling wells]. *Prykarpat's'kyi visnyk NTSH – Carpathian Bulletin of NTS, 1*, 189–199 [in Ukrainian].
4. Lubinski A. Developments in Petroleum Engineering – Vol. 1 Houston, TX, USA : Gulf Publishing Company, 1987. – 438 pp.
5. Cunha J.C. Buckling of tubulars inside well bores: a review on recent theoretical and experimental works / SPE Drilling & Completion. – 2004. – Vol. 19. – No. 1. – P. 13 – 19.
6. Hulyayev, V.I., Andrusenko, O.M., & Levkivska L. V. (2015). Minimizatsiya syl oporu pry osovomomu rusi burylnoyi kolony u kryvoliniyniy sverdllovyh [Minimization of resistance forces during axial movement of the drill string in a curved well]. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriya "Tekhnichni nauky" – Bulletin of the National Transport University. "Technical Sciences", 1 (31)*, 145 – 152 [in Ukrainian].
7. Haydaychuk, V. V., Levkivska, L. V. & Kovalchuk, YA. I. (2016). Matematychno modelyuvannya pruzhnogo zhynannya burylnoyi kolony u kanali kryvoliniynoyi nafto – hazovoyi sverdllovyh [Mathematical modeling of the drill string bending elastic channel curvilinear oil and gas boreholes]. *Opir materialiv i teoriya sporud – Strength of Materials and Theory of Structures, 97*, 43 – 58 [in Ukrainian].
8. Levkivska L. V. (2017). Matematychni aspekty problem mekhaniky burinnya naftohazovykh sverdllovyh [Mathematical aspects of oil and gas well drilling mechanics problems]. *Proceedings from MIIM '17: VI Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Suchasni tendentsiyi rozvytku nauky»* –

International Scientific and Practical Conference «Modern trends in the development of science». (pp. 44-46). Kharkiv : «Helvetyka» [in Ukrainian].

9. Levkivska, L. V. & Horbunovych, I.V. (2020). Doslidzhennya obertovoho y pozdovzhnoho rukhiv naddovhoho stryzhnya v pokhylykh porozhnyakh [Investigation of rotational and longitudinal motions of a super long rod in inclined bore-holes]. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Seriya "Tekhnichni nauky"* – *Bulletin of the National Transport University. "Technical Sciences"*, 1 (46), 92 – 102 [in Ukrainian].

10. Haydaychuk, V. V., Lazareva, M.V. & Levkivska, L. V. (2023). Prohnozuvannya zakrytychnoyi povedinky burylnykh kolon u horyzontalnykh sverdlovyakh [Forecasting supercritical behavior of drill strings in horizontal wells]. *Opir materialiv i teoriya sporud – Strength of Materials and Theory of Structures*, 110, 118 – 130 [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Левківська Л.В. Пружне закритичне згинання бурильних колон у циліндричних порожнинах нафто-газових свердловин / Л.В. Левківська // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

Дана стаття присвячена дослідженню процесу закритичного деформування бурильної колони, коли в результаті випинання вона вступає в контакт зі стінкою нафто-газової свердловини та продовжує змінювати свою форму під дією зростаючої поздовжньої сили, розподіленої контактної сили і крутного моменту

Мета роботи – побудувати нелінійні диференціальні рівняння, що описують контактну взаємодію труби бурильної колони зі стінкою свердловини, запропонувати методику їх чисельного розв’язання та представити результати комп’ютерного моделювання.

Методи дослідження – теоретичні та експериментальні.

Розглянуто задачу про пружне нелінійне згинне деформування бурильних колон в циліндричних порожнинах вертикальних надглибоких нафтових і газових свердловин. Встановлені ключові аспекти процесу закритичного деформування бурильної колони та шляхи оптимізації і покращення роботи у цій області. На основі теорії гнучких криволінійних стрижнів з використанням спеціально обраної системи відліку побудовані нелінійні звичайні диференціальні рівняння, що описують контактну взаємодію труби бурильної колони зі стінкою свердловини. Запропоновано методику чисельного рішення розв’язувальних рівнянь. Обговорюються результати комп’ютерного моделювання. Показано, що згинання колони відбувається за формою тривимірної спіралі зі змінним кроком. При цьому значення внутрішніх перерізуючих сил і моментів порівняно невеликі.

Отримані результати є важливим інструментом для підвищення ефективності та економічної вигідності процесів буріння і експлуатації нафто-газових свердловин. Вони можуть бути використані в різних аспектах буріння та експлуатації свердловин, зокрема для прогнозування ризиків, оптимізації процесу буріння, розробки нових технологій, навчання та тренування персоналу, який займається бурінням нафто-газових свердловин, з метою забезпечення їхньої компетентності у питаннях безпеки та ефективності роботи.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: БУРИЛЬНА КОЛОНА, СВЕРДЛОВИНА, ВНУТРІШНІ І ЗОВНІШНІ СИЛИ, ПРЯМІ ТА ОБЕРНЕНІ ЗАДАЧІ, ЗАКРИТИЧНЕ ДЕФОРМУВАННЯ

ABSTRACT

Levkivska L.V. Elastic supercritical bending of drill strings in cylindrical cavities of oil and gas wells. *Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences»*. Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

This article is devoted to the study of the process of supercritical deformation of the drill string, when as a result of protrusion it comes into contact with the wall of the oil and gas well and continues to change its shape under the action of increasing longitudinal force, distributed contact force and torque.

The purpose of the work is to construct nonlinear differential equations describing the contact interaction of the drill string pipe with the well wall, to propose a method for their numerical solution, and to present the results of computer modeling.

Research methods are theoretical and experimental.

The problem about non-linear bending of drill strings in cylindrical cavities of vertical hyper deep oil and gas bore-holes is considered. The key aspects of the process of closed deformation of the drill string and the ways of optimization and improvement of work in this area are established. The key aspects of the process of closed deformation of the drill string and the ways of optimization and improvement of work in this area are established. On the basis of the theory of flexible curvilinear rods with the use of a specially selected reference frame the non-linear ordinary differential equations are constructed, which describe contact interaction of the drill string with the bore-hole wall. The techniques for numerical solution of the constitutive equations are proposed. The results of computer simulation are discussed. It is shown that the bending of the column takes place in the form of a three-dimensional spiral with a variable pitch. At the same time, the values of internal shearing forces and moments are relatively small.

The obtained results are an important tool for increasing the efficiency and economic profitability of the processes of drilling and operation of oil and gas wells. They can be used in various aspects of drilling and well operations, including risk prediction, optimization of the drilling process, development of new technologies, education and training of oil and gas well drilling personnel to ensure their competence in matters of safety and efficiency.

KEY WORDS: DRILL STRING, BOREHOLE, INTERNAL AND EXTERNAL FORCES, DIRECT AND INVERSE PROBLEMS, SUBCRITICAL DEFORMATION

АВТОРИ:

Левківська Людмила Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри вищої математики, e-mail: l.v.g.ntu@gmail.com, тел. +380505114407, Україна, 01103, м. Київ, вул Бойчука, буд. 42, к.514, orcid.org/0000-0002-5589-5257.

AUTHORS:

Levkivska Liydmyla Volodymyrivna, Ph.D., National Transport University, associate professor department of high mathematics, e-mail: l.v.g.ntu@gmail.com, тел. +380505114407, Ukraine, 01103, Kyiv, Boychuka str., 42, of. 514, orcid.org/0000-0002-5589-5257.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

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

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

REVIEWER:

Gaidaichuk V.V., Engineering (Dr.), Professor, Kiev National University of Construction and Architecture, Head of Department of Theoretical Mechanics, Kiev, Ukraine

Gulyayev V. I., Dr. Sc. (Engineering), Professor, National Transport University, Head of Department Of Mathematics, Kyiv, Ukraine

РОМБИ ФРЕНЕЛЯ – 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*

Клочан А.Є., PhD, Національний транспортний університет, Київ, Україна, *varsenchuk@gmail.com*, *orcid.org/0000-0002-4225-9382*

FRESNEL RHOMBIE – 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 M.R., Doctor of Physics and Mathematics, V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, *orcid.org/0000-0002-4365-8174*

Klochan A.Ye., PhD, National Transport University, Kyiv, Ukraine, *varsenchuk@gmail.com*, *orcid.org/0000-0002-4225-9382*

Klochan A.Ye., PhD, National Transport University, Kyiv, Ukraine, *varsenchuk@gmail.com*, *orcid.org/0000-0002-4225-9382*

Вступ. Поляризоване світло широко застосовують у наукових дослідженнях і в техніці. Контроль поляризації світла важливий у таких галузях як сонячна поляриметрія, оптичний зв'язок, машинобудівна техніка, геологія, візуалізація біомедичних зображень, ідентифікація військових мішеней, хімічний аналіз, фільтрація довжин хвиль. Крім фазових пластинок для керування поляризацією світла використовуються ромби Френеля. Вони застосовуються у системах, в яких аналіз та керування поляризацією здійснюються у широкому спектральному діапазоні, зокрема, у системах, призначених для дослідження магнетизму та атмосфери зірок [1], для пошуку наявності планет поблизу зірок [2], при дослідженні впливу поляризації світла на нелінійне поглинання [3].

Виробники виготовляють велике розмаїття ромбів Френеля. Для полегшення вибору конкретного типу пристрою для керування поляризацією світла потрібно знати не лише принцип його роботи, а й експлуатаційні характеристики (ширина спектральної області застосування, робоча температура, кут падіння світла, поле зору та інші) і їх залежність від вибору матеріалів та допусків при їх виготовленні. Нижче розглянуто принципи роботи ромбів Френеля, виконано порівняння їх властивостей із властивостями фазових пластинок [4], коротко обговорено можливості їх використання у різних галузях науки та техніки.

Ромб Френеля. Властивості ромбів Френеля ґрунтуються на законах повного внутрішнього відбивання. Якщо кут падіння θ (рис.1) лінійно поляризованого потоку світла перевищує кут повного внутрішнього відбивання, то у відбитому потоці в одному і тому ж напрямку розповсюджуються дві хвилі із взаємно перпендикулярною орієнтацією векторів $\mathbf{E}$ ($\mathbf{s}$ та $\mathbf{p}$ компоненти світлового потоку). Різницю фаз δ між цими хвилями можна оцінити за допомогою формули [5]

$$\operatorname{tg} \frac{\delta}{2} = \frac{\cos \theta \sqrt{\sin^2 \theta - n_{21}^2}}{\sin^2 \theta}, \quad (1)$$

де n_{21} – відносний показник заломлення більш густого середовища відносно менш густого.

Максимальний зсув фази $\delta_{\max}$ залежить лише від n_{21}

$$\operatorname{tg} \frac{\delta_{\max}}{2} = \frac{1 - n_{21}^2}{2n_{21}}. \quad (2)$$

У більшості матеріалів значення кута запізнення фази рівне $\pi/2$ реалізується лише після двох повних внутрішніх відбивань. Власне цим і обумовлена ромбовидна форма пристрою (ромб Френеля) для керування поляризацією світла.

Якщо на вхідну грань ромба падає потік лінійно поляризованого світла, то при $\delta_{\max} = \pi/2$ з нього виходить світло поляризоване по колу (рис. 1) і навпаки. Тобто ромб працює як чвертьхвильова фазова пластинка. Це дозволяє змінювати ступінь еліптичності світла від нуля (лінійно поляризоване світло) до одиниці (циркулярно поляризоване світло) (рис. 1).

Два послідовно розміщені ромби (рис. 1) діють як півхвильова фазова пластинка. Дійсно перший ромб перетворює лінійно поляризоване світло в еліптично поляризоване, а другий перетворює еліптично поляризоване світло в лінійно поляризоване. Це дозволяє шляхом повороту подвійного ромба навколо осі розповсюдження світла здійснювати поворот площини поляризації світла на 360° .

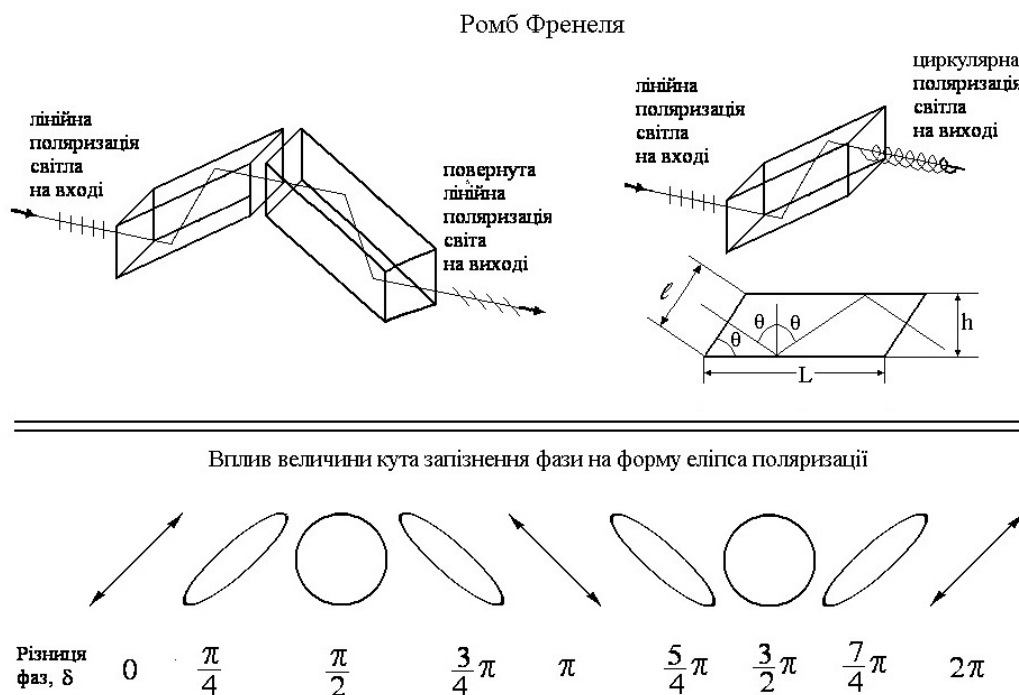


Рисунок 1 – Ілюстрація впливу ромбів Френеля на стан поляризації світла
Figure 1 – Illustration of the influence of Fresnel rhombuses on the state of light polarization

Оптичний матеріал для ромбів. Ромби виготовляють з оптично досконалих ізоотропних матеріалів великого об'єму з відомою дисперсією показника заломлення. Лінійне поглинання та розсіяння світла в області прозорості цих матеріалів повинно бути мінімальним. Найчастіше ромби виготовляють з плавленого кварцу (робочий діапазон 190-2500 нм) [6], зі скла BK7 [6] та K8 (робочий діапазон 90-2500 нм). Для інфрачервоної області найчастіше ромби виготовляються із селеніду цинку (ZnSe) на діапазон (6-14) мкм; телуриду кадмію (CdTe) та КРС (KRS-5) на діапазон (6-18) мкм [2]. Технологія синтезу ZnSe великого об'єму освоєна. Придатність монокристалів CdTe для виготовлення ромбів більш обмежена із-за проблем якісного полірування. Низька дисперсія показника заломлення КРС в інфрачервоній області робить цей матеріал ідеальним для ромбів Френеля. Недоліками цього матеріалу є токсичність, хрупкість, труднощі у поліруванні.

Технічні параметри ромбів Френеля. Особливості розрахунку технічних параметрів ромба проілюструємо на прикладі скла K8. Скориставшись відомою табличною залежністю показника заломлення від довжини хвилі (рис. 2, точки) [7], виконаємо апроксимацію цієї залежності поліномом шостого степеня (рис. 2, суцільна лінія). Середня квадратична похибка $3,6 \cdot 10^{-4}$. Далі за допомогою формули (1) знаходимо залежність $\delta_{\max}$ від λ (рис.3).

Довжина хвилі, при перевищенні якої $\delta_{\max}$ стає меншим за 45° , обмежує спектральний діапазон роботи ромба як чвертьхвильової пластинки з боку великих довжин хвиль (таблиця 1). Спектральний діапазон роботи подвійного ромба як півхвильової пластинки з боку великих довжин хвиль

обмежується наявністю коливальних смуг поглинання (таблиця 1). Край фундаментальної смуги поглинання обмежує спектральний діапазон роботи ромбів з боку малих довжин хвиль.

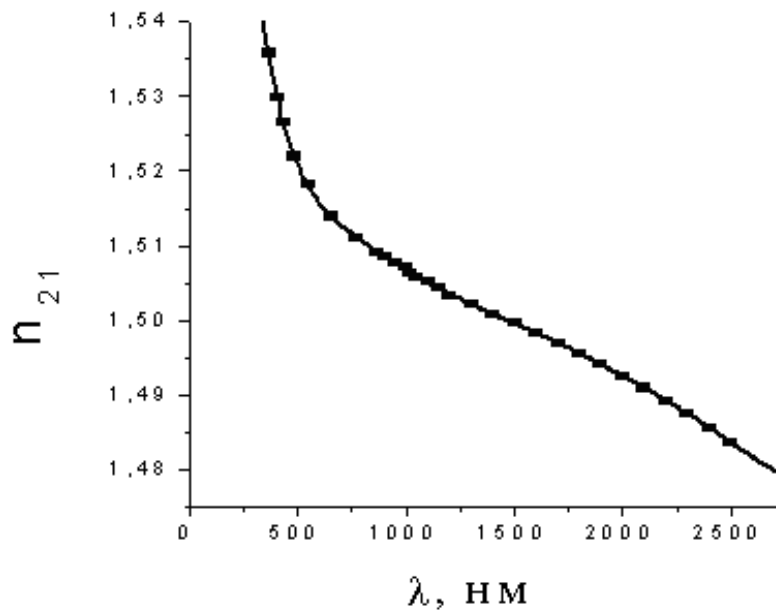


Рисунок 2 – Дисперсія показника заломлення скла K8 [7] (точки).

Суцільна лінія апроксимація поліномом шостого степеня.

Figure 2 – Dispersion of the index of refraction of K8 glass [7] (points).

The solid line is the approximation by a polynomial of the sixth degree.

Зафіксуємо певну довжину хвилі, наприклад, приймемо, що $\lambda = 1,25$ мкм. Скориставшись даними рис. 2, знаходимо n_{21} для цієї довжини хвилі. Підставивши знайдене значення n_{21} та $\delta = \pi/2$ в формулу (1), знаходимо θ . Воно приймає два значення $\theta = 53^\circ 50'$ та $\theta = 49^\circ 46'$. Виходячи з того, що кут падіння повинен перевищувати кут повного внутрішнього відбивання, вибираємо більше значення θ .

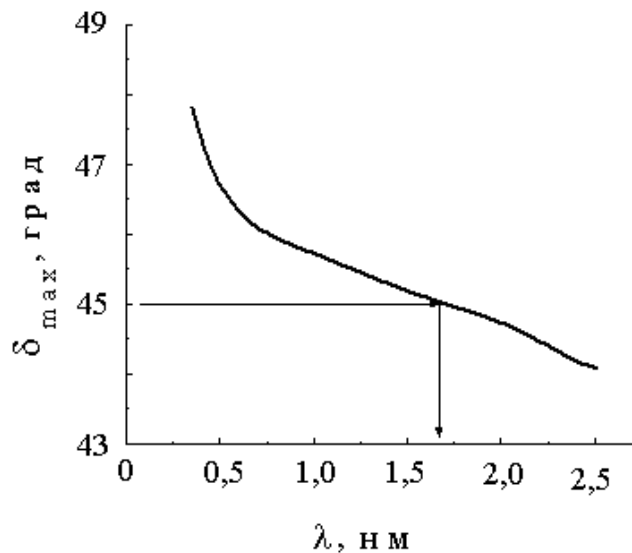


Рисунок 3 – Залежність $\delta_{\max}$ від довжини хвилі для скла K8. Стрілкою показана довгохвильова

границя роботи чверть хвильових ромбів Френеля, виготовлених із скла K8.

Figure 3 – Wavelength dependence for K8 glass. The arrow shows the long-wavelength limit of operation of quarter-wave Fresnel rhombuses made of K8 glass.

У більшості лазерних джерел розподіл інтенсивності I світла вздовж поперечного перерізу має гаусів характер, тобто

$$I = I_m \exp \left[- \left(r / r_o \right)^2 \ln 2 \right], \quad (3)$$

де I_m – максимальне значення інтенсивності, r – відстань від центру потоку світла, r_o – радіус на рівні $I = I_m / 2$. При спектроскопічних дослідженнях зазвичай нехтується вкладом інтенсивності $I = I_m / e^4$ у загальний потік світла. Значення $I = I_m / e^4$ реалізується на відстані від центру потоку. $r_e = 2r_o / \sqrt{\ln 2}$. Це означає, що за мінімальний розмір кожної сторони квадратної вхідної

Таблиця 1 – Параметри ромбів Френеля
Table 1 – Fresnel rhombic parameters

Параметр	Матеріал		
	Плавлений кварц	Скло BK7	Скло K8
Область довжин хвиль	(210-400) нм [6]	(400-2000) нм [6]	(365-2500) нм для $\lambda/2$ (365-1660) нм для $\lambda/4$
Кут при основі ромба		54,6° [8]	53°50'
Допуск на кут		3 кутові хвилини [8]	1 кутова хвилина
Допуск на розмір	+0,0; -0,2 мм [9]	+0,0; -0,2 мм [9]	+0,0; -0,2 мм
Плоскостність	$\lambda/10$ на $\lambda=632,8$ нм [9]	$\lambda/10$ на $\lambda=632,8$ нм [9]	$\lambda/10$ на $\lambda=632,8$ нм
Допуск на кут запізнення фази	$\pm 2^\circ$ [18]	$\pm 2^\circ$ [18]	$+3^\circ$; -1°
Антивідбиваюче покриття	$R \leq 0,2\%$ на центральній довжині хвилі [9]	$R \leq 0,2\%$ на центральній довжині хвилі [9]	$R \leq 0,5\%$ на $\lambda=632,8$ нм
Якість поверхні	20-10 подряпин та виколок [9]	20-10 подряпин та виколок [9]	<20 подряпин та виколок
Допуск на паралельність	<2" [10]	<2" [10]	<2"
Девіація	$\pm 0,5^\circ$ [10]	$\pm 0,5^\circ$ [10]	$\pm 0,3^\circ$ на $\lambda=632,8$ нм
Максимальна пікова інтенсивність	200 МВт/см ² [11]	200 МВт/см ² [11]	200 МВт/см ²
Максимальна неперервна інтенсивність	100 Вт/см ² [11]	100 Вт/см ² [11]	
Діаметр чистої апертури аж до	10 мм [10,12]	10 мм [10,12]	15 мм

грані можна прийняти значення $l = 2r_e = 2r_o / \sqrt{\ln 2}$. Із рис.1 випливає, що висота ромба $h = l \sin \theta$, а довжина основи ромба $L = 2h \cdot \operatorname{tg} \theta$. Одержані співвідношення дозволяють

Таблиця 2 – Габаритні розміри ромба Френеля, виготовленого із скла K8
Table 2 – Overall dimensions of a Fresnel rhombus made of K8 glass

$D_o = 2r_o$, мм*	l , мм	h , мм	L , мм
3	7,2	5,8	15,3
10	24,0	19,4	51,2
15	36,0	29,1	76,8

* D_o – діаметр потоку лазерного випромінювання на рівні $I = I_m / 2$.

розрахувати габаритні розміри ромбів Френеля, виготовлених із скла K8 (таблиця 2) та

проілюструвати їх залежність від поперечного перерізу потоку лазерного випромінювання. Інші технічні параметри ромбів Френеля, які виготовлені зі скла К8, наведені в таблиці 1. Контроль значення кута при основі ромба та паралельність граней здійснювався гоніометром Г-1.

Асортимент ромбів Френеля надзвичайно широкий. Типові значення параметрів ромбів, які пропонуються виробниками, наведено в таблиці 1. Видно, що спектральна область кожного конкретного ромба, в межах якої можна керувати поляризацією, значно перевищує спектральну область роботи фазових пластин нульового та високого порядку і співвимірна з областю роботи ахроматичних фазових пластин (порівняй таблиці 1 та 1 [4]). Зазвичай виробники пропонують ромби на спектральну область, для якої величина запізнення фази дорівнює $90^\circ \pm 2^\circ$. З цієї причини робоча область ромбів значно вужча спектральної області прозорості матеріалу, з якого виготовлено ромб. Крім типових розмірів на вимогу замовника виробники можуть виготовити ромби з бажаним розміром вхідної грані ромба.

Джерела похибок в ромбах Френеля. При виборі конкретного типу конструкції ромба перевагу потрібно віддати тим, у яких сума випадкових та систематичних похибок встановлення кута запізнення фази мінімальна. Величину випадкових похибок можна мінімізувати шляхом оптимального вибору конструкції ромба та його тримача, а також системи реєстрації інтенсивності світла. Систематичні похибки обумовлені невизначенністю в значенні кута падіння потоку світла на відбиваючу грань (див. формулу (1)), залежністю показника заломлення, а значить і кута запізнення фази, від температури та від довжини хвилі, наявністю відбивання від вхідної та вихідної граней ромба; скручування ромбів.

Кут падіння. Згідно з формулою (1), зміна кута падіння θ викликає зміну кута запізнення фази. Результатом цього є висока чутливість одиночних ромбів Френеля до зміни кута падіння (на рівні кутових хвилин) [2]. Це потрібно враховувати при використанні одиночних ромбів Френеля для керування ступенем еліптичності реальних джерел світла, потоки яких завжди дещо розходяться. Подвійні ромби не чутливі до варіації кута падіння. Оскільки, двоє відбивань у двох ромбах взаємно доповнюють одне одного (рис. 1 та рис. 2). Збільшення кута падіння із-за двох повних внутрішніх відбивань у першому ромбі компенсується зменшення його із-за двох повних внутрішніх відбивань в другому ромбі. В результаті цього зміна затримки фази анулюється. Таким чином, допускається широка область варіації відхилення кутів падіння від нормального аж до кількох градусів.

При монтажі подвійних ромбів завжди існує ймовірність появи деякого кута між площинами падіння ромбів, що повинно впливати на величину кута запізнення фази. В роботі [12] показано, що при типових допусках на кут при основі ромба (кут θ) та на монтаж ромбів, кут між вихідною гранню першого ромба та вхідною гранню другого ромба може лежати у діапазоні від $0,2^\circ$ до $0,8^\circ$. Ця різниця в положенні площин падіння вносить похибку визначення кута запізнення фази, яка менша за $0,002^\circ$.

Відбивання від вхідних та вихідних граней. Кожен ромб можна розглядати як еталон Фабрі-Перо, якщо вхідна та вихідна його грані строго паралельні. Допуски на паралельність граней та на кути при основі такі (таблиця 1), що інтерференційними ефектами в ромбах можна знехтувати. Сприяє цьому напилення антивідбиваючих покриттів на вхідній та вихідній гранях ромбів.

Спектральний діапазон роботи. Дисперсія показника заломлення n_{21} визначає залежність кута запізнення фази δ від довжини хвилі. Задавши діапазон зміни δ ми фактично задаємо спектральний діапазон роботи ромбів Френеля. Для значення зміни δ рівного $\pm 2^\circ$ типова його протяжність дорівнює 300 нм для видимого діапазону довжин хвиль [13]. Розширити спектральний діапазон роботи можна за рахунок зменшення залежності n_{21} від довжини хвилі. Це досягається шляхом нанесення на відбиваючі грані ромбів тонкого шару речовини, дисперсія показника заломлення якого близька до дисперсії показника заломлення матеріалу ромба. Так, нанесення на відбиваючі поверхні скла тонкого шару MgF_2 (порядка 23 нм) дозволяє досягти значення результуючого фазового зсуву рівного $90 \pm 0,5^\circ$ у діапазоні від 370 нм до 1000 нм (в той час як запізнення фази класичних хвильових пластинок дає відхилення від 90° порядку 20° [1]).

Вплив температури. В ромбах Френеля температурно залежним параметром є показник заломлення. В більшості ізотропних матеріалів температурна залежність n_{12} незначна. Зокрема, в області кімнатних температур $dn/dT = 0,24 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$ [14] для скла ВК-7, $dn/dT = 0,24 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$ [15] для плавленого кварцу. Для ZnSe , CdTe , KRS-5 на $\lambda = 10,6$ мкм dn/dT відповідно дорівнює $6,1 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$, $10,7 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$, $-9,9 \cdot 10^{-5}/^\circ\text{C}$ [16]. Згідно наведених значень dn/dT , зміна температури ромба на $\pm 10^\circ$ приведе до зміни n_{12} не більше ніж на одиницю в третьому десятковому знакові після коми. Це вказує на незначний вплив температури ромба на величину запізнення фази.

Порівняння властивостей ромбів Френеля та фазових пластинок.

Дані таблиці 1 та таблиці 1 [4] дозволяють порівняти характеристики ромбів Френеля та фазових пластинок, що працюють у видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах. Зокрема, при допуску на встановлення кута запізнення фази в 2° єдиною градуювальною таблицею можна користуватись в інтервалі довжин хвиль в 200-300 нм як для ахроматичних фазових пластинок, так і для ромбів Френеля. Розширити цей діапазон при одночасному зменшенні допуску на кут запізнення фази для фазових пластин складно. Однак, для ромбів Френеля нанесення на відбиваючі поверхні ромба зі скла тонкого шару MgF_2 дозволяє користуватись єдиною градуювальною таблицею в діапазоні довжин хвиль (370 -1000) нм з похибкою встановлення кута повороту площини поляризації в $0,5^\circ$ [1]. Ще більш різюча відмінність спостерігається в інфрачервоній області. Так при точності встановлення кута запізнення фази в 2° протяжність спектральної області в околі 10,6 мкм для фазової пластинки з CdS дорівнює $\pm 0,1$ мкм [16]. Для ромбів Френеля, виготовлених з ZnSe, у спектральній області від 9,238 мкм до 10,6 мкм відхилення від заданого значення кута запізнення фази не перевищує $0,08^\circ$ при нормальному куті падіння [17]. Власне з цієї причини для аналізу стану поляризації світла в інфрачервоній області, що потрібно для виявлення планет поблизу зірок та для дослідження магнітного поля та атмосфери, використовуються ромби Френеля, а не фазові пластинки [1,2]).

На вибір пристрою для керування поляризацією впливає чутливість його до кута падіння на вхідну поверхню. Так відхилення від нормального кута падіння на вхідну грань чвертьхвильової фазової пластинки на 5° викликає зміну кута запізнення фази на 2° [4]. Подвійний ромб Френеля (рис.1) мало чутливий до зміни кута падіння [7]. Для нього допускається відхилення від кута нормального падіння в кілька градусів. Півхвильові пластинки та одиночні ромби Френеля дуже чутливі до відхилення кута падіння від нормального.

Вплив температури на кут запізнення фази в ромбах Френеля незначний. В той же час властивості хвильових пластинок чутливі до зміни температури.

Девіація потоку випромінювання при повороті подвійних ромбів може досягати $\pm 0,5^\circ$ [11]. Суттєво її можна зменшити шляхом зменшення допуску на кут при основі ромба та на паралельність граней. Девіація та прецесія потоку світла, що проходить крізь фазову пластинку відсутня [5].

Променева стійкість ромбів Френеля та фазових пластинок близька. В них вона визначається променевою стійкістю матеріала, з якого вони виготовлені (при наявності повітряного шару між елементами), або променевою стійкістю клею, що з'єднує елементи фазових пластинок або ромбів.

Висновки. Виконано аналіз роботи, технічних параметрів ромбів Френеля. Здійснено порівняння характеристик ромбів Френеля та фазових пластинок. У системах, в яких основну роль грають малі габарити та вага, потрібно віддавати перевагу фазовим пластинкам. До таких систем перш за все потрібно віднести оптичну телекомунікацію. У системах, в яких потрібно керувати поляризацією в широкому діапазоні довжин хвиль, потрібно віддати перевагу ромбам Френеля. До таких систем можна віднести поляриметри, системи дослідження атмосфери і магнетизму Сонця та зірок, при дослідженні нелінійних оптичних властивостей середовищ.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. (27.) P. Petit, J.-F. Donati, and the ESPaDOnS project team Stellar polarimetry with espadons // arXiv:astro-ph/0403118v1 4 Mar 2004. Pp. 1-8.
2. (19.) D. Mawet, C. Hanot, C/ Lenaerts, P. Riaud, D. Defrere, D. Vandormael, J. Loicq, K. Fleury, J.-Y. Plesseria, J. Surdej, S. Habraken Fresnel rhombs as achromatic phase shifters for infrared nulling interferometry // Optics express. Vol. 15, No. 20. Pp.12850-12865 (2007).
3. N.R. Kulish, M.P. Lisitsa, N.I. Malyshev Influence of light polarization in CdS in the presence of two-photon absorption // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics, 2007. V. 10, N 2. P. 72-75.
4. М. І. Малиш, М.Р. Куліш . Фазові пластинки – затримувачі фази // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К. : НТУ, 2023. – Вип. 1 (51). С.194-199.
5. Р. Дитчберн. Физическая оптика. М. Наука. 1965. – 631 с.
6. EKSPLA UAB Savanoriu Av. 231 LT-02300 Vilnius-53 Lithuania.
7. К.И. Тарасов Спектральные приборы. Ленинград, Машиностроение. 1977. – 368 с.
8. DORIC LENSES INC 357 rue Franquet Quebec, QC CANADA G1P 4N7.
9. Newlight Photonics P.O. Box 261 Toronto Postal STN "E" 772 Dovercourt Road Toronto ON 6H 4E2 Canada.

10. 2007 – B. Halle Nachfl. GmbH Hubertusstraße 10 D – 12163 Berlin Germany.
11. Halbo Optics Fresnel Rhombs
12. Karl Lambrecht Corporation 4204 N. Lincoln Ave., Chicago, IL 60618.
13. P.A. Williams, A.H. Rose, C.M. Wang Rotation-polarimeter for accurate retardance measurement // *Applied optics*/ 1997. V. 36, No 25. P. 6466-6472.
14. UQG Ltd The Norman Industrial Estate, 99 – 101 Cambridge Road, Milton, Cambridge, CB4 6AT, England.
15. Е.М. Воронкова, Б.Н. Гречушников, Г.И. Дистлер, И.П. Петров Оптические материалы для инфракрасной техники. Москва, Наука. 1965. – 335 с.
16. II-VI INFRARED 375 Saxonburg Blvd Saxonburg, PA 16056
17. R. Anderson Quarterwaveplate and Fresnel rhomb compared in the 10- μm CO₂ laser emission region // *Applied Optics* (1988) Vol. 27, No. 13. Pp. 2746-2747.

REFERENCES

1. (27.) P. Petit, J.-F. Donati, and the ESPaDOnS project team Stellar polarimetry with espadons // arXiv:astro-ph/0403118v1 4 Mar 2004. Pp. 1-8.
2. (19.) D. Mawet, C. Hanot, C/ Lenaerts, P. Riaud, D. Defrere, D. Vandormael, J. Loicq, K. Fleury, J.-Y. Plesseria, J. Surdej, S. Habraken Fresnel rhombs as achromatic phase shifters for infrared nulling interferometry // *Optics express*. Vol. 15, No. 20. Pp.12850-12865 (2007).
3. N.R. Kulish, M.P. Lisitsa, N.I. Malysh Influence of light polarization in CdS in the presence of two-photon absorption // *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, 2007. V. 10, N 2. P. 72-75.
4. M.I. Malysh, . M.R. Kulish Phase plates – phase retarders. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2023. – Issue 1 (55). S.194-199.
5. P. Ditchbern Fizicheskaja optika. M. Nauka 1965. – 631 s.
6. EKSPLA UAB Savanoriu Av. 231 LT-02300 Vilnius-53 Lithuania.
7. K.I. Tarasov. Spektralnyje pribory. Leningrad. Mashinostrojnie. 1977. – 368 s.
8. DORIC LENSES INC 357 rue Franquet Quebec, QC CANADA G1P 4N7.
9. Newlight Photonics P.O. Box 261 Toronto Postal STN "E" 772 Dovercourt Road Toronto ON 6H 4E2 Canada.
10. 2007 – B. Halle Nachfl. GmbH Hubertusstraße 10 D – 12163 Berlin Germany.
11. Halbo Optics Fresnel Rhombs
12. Karl Lambrecht Corporation 4204 N. Lincoln Ave., Chicago, IL 60618.
13. P.A. Williams, A.H. Rose, C.M. Wang Rotation-polarimeter for accurate retardance measurement // *Applied optics*/ 1997. V. 36, No 25. P. 6466-6472.
14. UQG Ltd The Norman Industrial Estate, 99 – 101 Cambridge Road, Milton, Cambridge, CB4 6AT, England.
15. E.M.Voronkova, B.N. Grechushnikov.G/I. Distler,I.P. Petrov.Opticheskie materialy dlja infrakrasnoi tehniki. Moskva, Nauka. – 335 s.
16. II-VI INFRARED 375 Saxonburg Blvd Saxonburg, PA 16056
17. R. Anderson Quarterwaveplate and Fresnel rhomb compared in the 10- μm CO₂ laser emission region // *Applied Optics* (1988) Vol. 27, No. 13. Pp. 2746-2747.

РЕФЕРАТ

Малиш М.І. Ромби Френеля – затримувачі фази / М.І. Малиш, М.Р. Куліш, А.Є. Ключан // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

Розглянуто принципи роботи, технічні характеристики ромбів Френеля. Здійснено порівняння їх властивостей. Обговорено основні області їх застосування.

Мета досліджень: проаналізувати принцип роботи ромбів Френеля, порівняти їх технічні характеристики.

Метод дослідження – теоретичний.

Встановлено, що ромби Френеля використовуються для аналізу та керування поляризацією світла у досить широкій спектральній області. Їх широко застосовують у наукових дослідженнях і в техніці, у системах для виявлення планет поблизу зірок і для дослідження їх магнітного поля та атмосфери.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РОМБ ФРЕНЕЛЯ, СПЕКТРАЛЬНА ОБЛАСТЬ, ПОЛЯРИЗАЦІЯ СВІТЛА, ЗАТРИМУВАЧ ФАЗИ.

ABSTRACT

Malysh M.I., Kulish M.R., Klochan A.Ye. Fresnel rhombic – phase retarders. Visnyk National Transport University. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

The principles of operation, technical characteristics of Fresnel rhombuses 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 Fresnel rhombuses, to compare their technical characteristics.

The research method is theoretical.

It has been established that Fresnel rhombuses are used to analyze and control the polarization of light in a fairly wide spectral range. They are widely used in scientific research and engineering, in systems for detecting planets near stars and for studying their magnetic field and atmosphere.

KEY WORDS: FRESNEL RHOMBUS, SPECTRAL FIELD, POLARIZATION OF LIGHT, 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. Лашкарьова НАН України, провідний науковий співробітник, e-mail: n_kulish@yahoo.com, tel. +380445256024, +380730422661, Україна, 03028, м. Київ, Велика Китаївська 10, к. 10, orcid.org/0000-0002-4365-8174.

Клочан Арсен Євгенійович, PhD, Національний транспортний університет, асистент кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, e-mail: VArsenchuk@gmail.com, тел. +38(068)-352-81-26, Україна, 01101, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, orcid.org/0000-0002-4225-9382.

AUTHORS:

Malysh Mykola. I., PhD in Physical and Mathematical Science, associate professor, National Transport University, associate professor of the department of information analysis and information security, e-mail: M_Malysh@ukr.net, tel. +380442846709, +380508257165, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 410, orcid.org/0000-0003-4532-0764.

Kulish Mykola R., doctor of physical-mathematical sciences, V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, Leading Researcher, e-mail: n_kulish@yahoo.com, tel. +380445256024, +380730422661, Ukraine, 03028, Kyiv, Bolshay Kitaevskay str. 10, of. 10, orcid.org/0000-0002-4365-8174.

Klochan Arsen Ye., PhD, National Transport University, assistant of the department of information analysis and information security, e-mail: VArsenchuk@gmail.com, tel. +38(068)-352-81-26, Ukraine, 01101, Kyiv, Mykhaila Omelianovycha – Pavlenka str. 1, orcid.org/0000-0002-4225-9382

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Данчук В.Д., доктор фізико-математичних наук, професор, декан факультету Транспортних та інформаційних технологій, Київ, Україна.

Стрельчук В.В., доктор фізико-математичних наук, професор, провідний науковий співробітник Інститута фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова 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, Leading scientific scientist, V.E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

ОЦІНКА ПОВОРОТНОСТІ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КЕРОВАНOSTІ МАШИНИ ПІДБИВАННЯ ҐРУНТУ ПІД ТРУБОПРОВОДОМ

Мусійко В.Д., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, musvd@i.ua, orcid.org/0000-0001-9983-3296

Коваль А.Б., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, kandr@i.ua, orcid.org/0000-0003-1295-8200

Ніколаєнко В.А., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, vanikolaenko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3983-0434

Рагулін В.М., кандидат технічних наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна, ragulinrvn@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2083-4937

ASSESSMENT OF MANEUVERABILITY AND ENSURING CONTROLLABILITY OF THE SOIL COMPACTING MACHINE UNDER PIPELINE

Musiiko V.D., Doctor of Technical Science, National Transport University, Kiev, Ukraine, musvd@i.ua, orcid.org/0000-0001-9983-3296

Koval A.B., Candidate of Science (Engineering), National Transport University, Kyiv, Ukraine, kandr@i.ua, orcid.org/0000-0003-1295-8200

Nikolaenko V.A., Candidate of Science (Engineering), National Transport University, Kyiv, Ukraine, vanikolaenko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3983-0434.

Ragulin V.M., Candidate of Science (Engineering), Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine, ragulinrvn@ukr.net, orcid.org/0000-0003-2083-4937

Постановка проблеми та її актуальність. Ефективна робота спеціальних землерийних машин в значній мірі обумовлюється стійкістю та стабільністю характеристик взаємодії їх ходового обладнання з опорною поверхнею. Нестійке положення машин під час руху, особливо в режимі повороту, поблизу об'єктів підвищеної небезпеки, наприклад магістральних трубопроводів в процесі копання ґрунту є вкрай небезпечним. Це може викликати не санкціоноване бокове зміщення машини і навіть руйнування трубопроводів. В максимальній мірі це стосується роботи машин підбивання (ущільнення) ґрунту під трубою на криволінійних в плані ділянках трубопроводів.

Виникнення небезпечних ситуацій під час роботи на трубопроводах обумовлюється зовнішніми навантаженнями землерийних машин, їх конструктивними особливостями, режимами копання ґрунту, рельєфом та властивостями ґрунтів в яких прокладено трубопроводи. Мінімізація негативного впливу цих чинників на стійкість землерийних машин в режимі копання ґрунту є задачею, що має бути обов'язково вирішена в процесі створення спеціальних землерийних машин безперервної дії.

Необхідність забезпечення точного переміщення землерийних машин відносно трубопроводу як на прямих так і на криволінійних його ділянках вимагає повної керованості машин, що забезпечується відсутністю буксування гусеничних рушіїв в робочих режимах руху. Це досягається шляхом приведення центра тиску машини на ґрунт максимально близько до геометричних центрів опорних їх контурів.

Особливо гострою є необхідність вирішення вказаного питання для машин у яких під дією зовнішніх навантажень, що виникають на робочих режимах роботи, центр тиску зміщується по координатним вісям опорного контуру.

Сформульована задача має бути вирішена комплексно – для різних варіантів монтажу робочого обладнання: на кормі, попереду, збоку тягача, обладнанням машин опорними лижами та без них. Найбільш актуальним на цей час є вирішення поставленого питання для машин, в яких робоче обладнання розміщене збоку. Прикладом є машина для засипки та ущільнення ґрунту під трубопроводом МП-М.

Мета статті. Визначення умов поворотності та керованості землерийних машин безперервної дії з робочим обладнанням розміщеним збоку від шасі в умовах циклічного зміщення центра тиску в межах опорного контуру.

Аналіз результатів досліджень і публікацій.

Дослідження прохідності гусеничних землерийних машин в різних ґрунтових умовах [1-3] забезпечення необхідної стійкості, в тому числі курсової [4-6], покращення тягово-зчіпних властивостей ходового обладнання на різних режимах його роботи [1, 2, 6] є підґрунтям для встановлення основних загальних вимог до тягачів спеціальних землерийних машин безперервної дії різного технологічного призначення.

Згідно [1] під час визначення середнього тиску машин на ґрунт враховується маса машини, а зовнішні навантаження не враховуються. Однак середній тиск є параметром умовним і не може повною мірою визначати ходові якості машини. Деякі дослідники [1, 2, 7, 8] вважають середній тиск мірою прохідності гусеничної машини, обмежуючи при цьому повздовжнє зміщення центра тиску x величиною $x < L_o/6$ (L_o – опорна довжина гусениці). За умови знаходження рівнодіючої в межах ядра перетину опорної поверхні машини, на їх думку, виключається відрив гусениць від ґрунту [2, 9, 10, 11], розподіл тиску під опорними поверхнями є прийнятним, що і забезпечує необхідну стабільність контакту гусениць з опорною поверхнею. Положення координат центра тиску спеціальних землерийних машин безперервної дії на ґрунт в процесі їх створення мають визначатись з урахуванням зовнішніх навантажень, що діють на машину і, головне, сил копання ґрунту.

Основна частина.

У комплексі машин для капітального ремонту трубопроводів машина для засипання та підбивання ґрунту під трубопроводом МП-М виконує завершальні операції – забирає ґрунт з відвалу підбирачем, транспортує його стрічковим конвеєром у траншею, засипає ґрунт під корпус труби і здійснює його ущільнення спеціальним робочим обладнанням, виключаючи у такий спосіб просідання відремонтованого трубопроводу.

Характерною ознакою машини підбивання ґрунту під трубопровід МП-М [12] є наявність двох робочих органів – підсіпки, що встановлюється позаду машини та ущільнення, що встановлюється консольно збоку машини. Таке розташування робочих органів неминуче приводить до зміщення центра мас машини назад щодо поперечної осі й убік ближньої до труби гусениці щодо подовжньої осі базового шасі.

У робочому режимі стріла з ґрунтоущільнювальним робочим обладнанням машини для засипання та підбивання ґрунту під трубопровід МП-М розташована перпендикулярно до подовжньої осі шасі, внаслідок чого центр тиску зміщується на величину y в бік ближньої до труби гусениці В (рис. 1), коли лопаті не ущільнюють ґрунт під трубою і вертикальна складова реакції ґрунту на них $P_{\theta} = 0$, а також на величину y' у бік гусениці А під час стиснення ґрунту під трубою ($P_{\theta} > 0$).

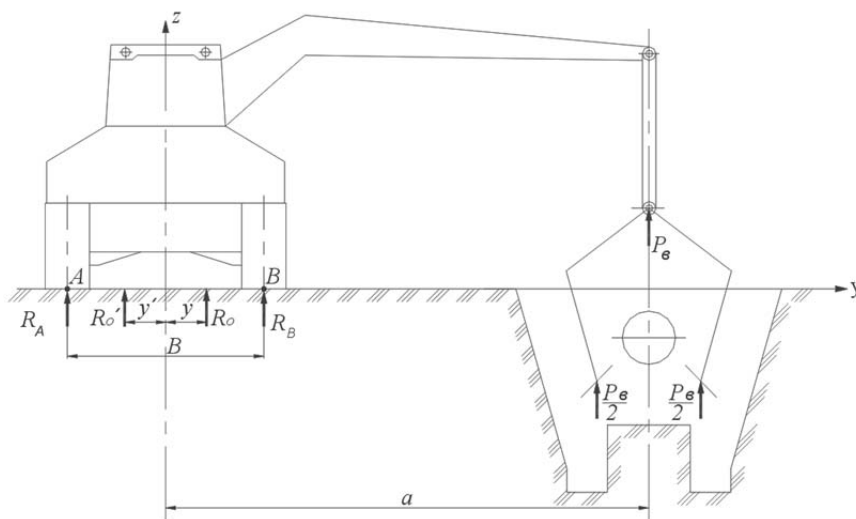


Рисунок 1 – Схема до розрахунку вертикальних навантажень на гусениці

Figure 1 – Diagram for calculating vertical loads on the caterpillars

Вертикальні навантаження на гусениці можна визначити з умови рівноваги (див. рис. 1):

$$R_A = G \left(0,5 - \frac{y}{B} \right) + P_e \left(\frac{a}{B} - 0,5 \right), \quad (1)$$

$$R_B = G \left(0,5 + \frac{y}{B} \right) - P_e \left(\frac{a}{B} + 0,5 \right), \quad (2)$$

де G – сила тяжіння машини;

B – колія;

a – відстань між осями шасі і трубопроводу.

Протягом циклу ущільнення ґрунту під трубопроводом вертикальна складова P_e на лопатях змінюється від нуля до максимуму, значення якого визначає тиск у гідроциліндрах приводу лопатей та положення штоків гідроциліндрів.

Залежності вертикальних навантажень на гусениці від сили P_e , розрахованих за формулами (1), (2), показано на рис. 2. З графіків видно, що коли $P_e = 0$, реакції R_A і R_B визначає величина поперечного зміщення центра тиску y , а $R_A < R_B$. Збільшення під час стиснення ґрунту вертикальної складової P_e , що прикладена до оголовку стріли ґрунтоущільнювального обладнання, приводить до перерозподілу навантажень на гусениці: ближня до трубопроводу розвантажується (R_B зменшується), а навантаження на дальню (R_A) – збільшується. Існує значення сили P_e , за якої навантаження на гусениці будуть однаковими ($R_A = R_B$). Подальше зростання вертикальної сили P_e супроводжується зменшенням навантаження (R_B) на ближню до труби гусеницю і може настати момент, коли $R_B = 0$. Це означає, що опорні котки гусениці B відірвуться від бігової доріжки траків. Така ситуація небажана з багатьох причин, тож її не допускають, регулюючи величину максимального тиску в гідроциліндрах приводу лопатей за допомогою запобіжного клапана.

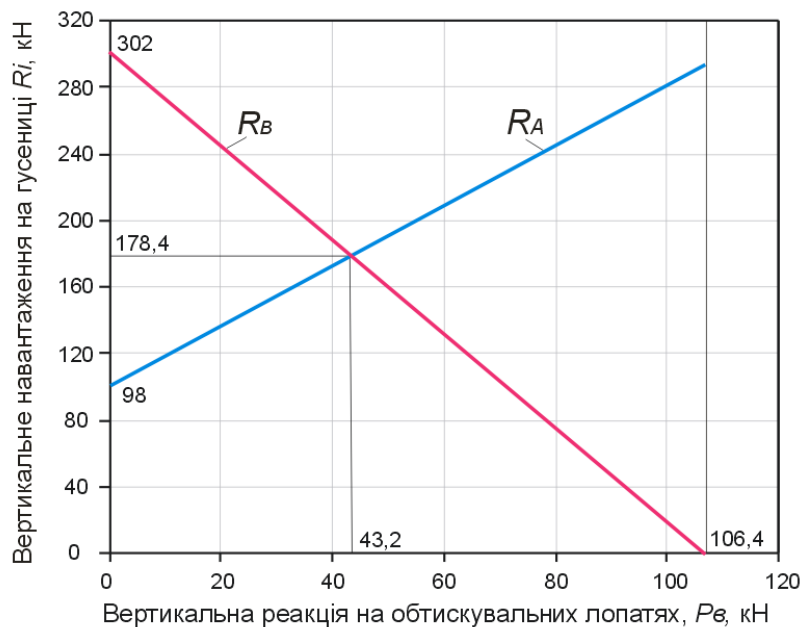


Рисунок 2 – Залежність вертикальних навантажень на гусениці від вертикальних реакцій на обтискувальних лопатях

Figure 2 – Dependence of vertical loads on caterpillars on vertical reactions on the compacting blades

На рис. 3 наведено осцилограму одного циклу роботи ґрунтоущільнювального механізму. Робочий хід (стиснення ґрунту під трубопроводом) лопаті виконують під дією тиску робочої рідини в поршневих порожнинах гідроциліндрів (крива 2). У будь-якому положенні лопатей під час ущільнення ґрунту за різницею тисків у поршневій та штоковій (крива 1) порожнинах можна визначити вертикальну складову P_e реакції ґрунту на лопатях [12] та розрахувати навантаження R_A і R_B на гусениці за формулами (1) і (2).

Під час руху зовнішньою стороною криволінійної ділянки трубопроводу, коли $P_e = 0$, а $R_A \approx 1/3 R_B$ (див. рис. 1), вертикального навантаження на зовнішню гусеницю A може бути замало для забезпечення достатнього її зчеплення з ґрунтом, бо під час повороту гусениця працює у ведучому режимі, реалізуючи великі тягові зусилля. Надмірне буксування гусениці неприпустимо, бо може створити аварійну ситуацію на трубопроводі.

Щоб запобігти цьому, потрібно за допомогою штатної автоматизованої системи керування машиною давати команду на поворот гідромоторам приводу гусениць в проміжку робочого циклу Δt (див. рис. 3), коли тиск в гідроциліндрах приводу лопатей відповідає вертикальній складовій P_v , за якої навантаження на зовнішню гусеницю A буде мати значення $R_A \geq 0,5R_B$.

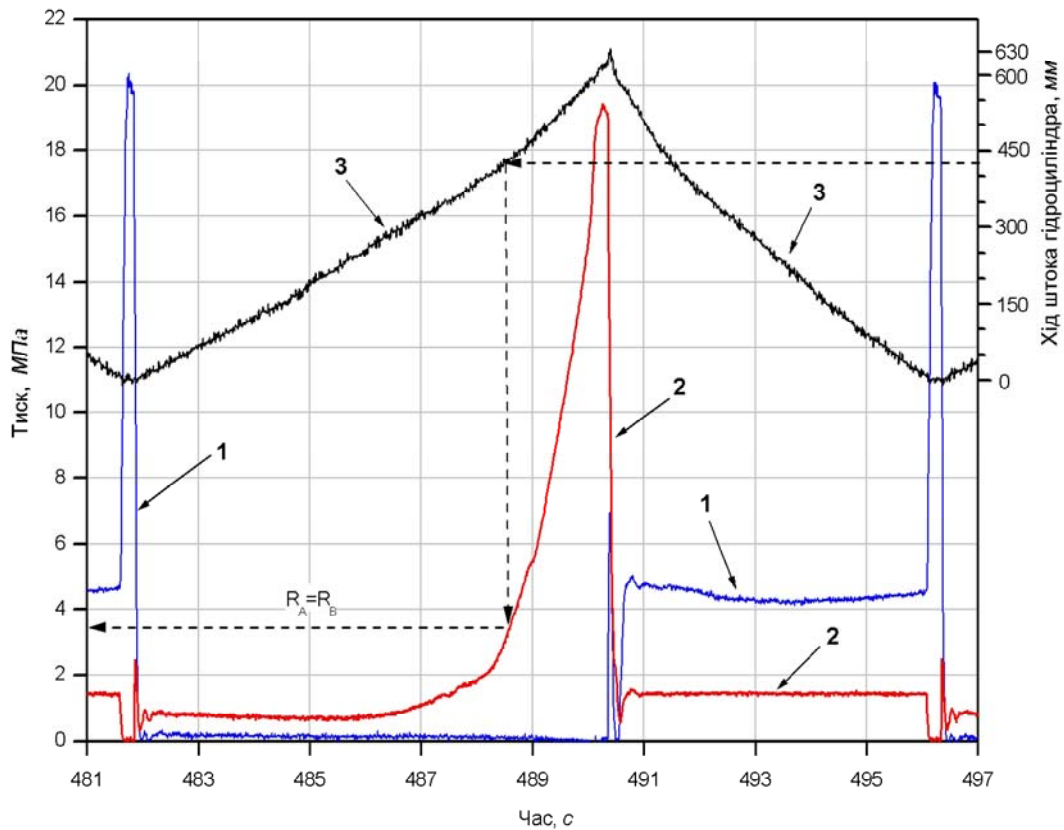


Рисунок 3 – Осцилограма зміни тиску в гідроциліндрах приводу лопатей протягом циклу ущільнення: 1 – штокова порожнина гідроциліндра приводу лопаті; 2 – поршнева порожнина гідроциліндра приводу лопаті; 3 – датчик положення штока

Figure 3 – Oscillogram of pressure change in the hydraulic cylinder of the blade drive throughout the compaction cycle: 1 – rod chamber of the blade drive hydraulic cylinder; 2 – piston chamber of the blade drive hydraulic cylinder; 3 – position sensor of the rod

На стійкість руху машини має суттєвий вплив зміщення центра мас як під час прямолінійного так і під час поворотного режимів руху.

Зміщення центра тиску по поздовжній осі машини, пов'язане з розташуванням центра мас машини чи з навантаженнями від робочого процесу, призводить до зміщення полюсів повороту гусениць з поперечної осі ходового устаткування, що полегшує умови повороту.

Момент опору повороту машини визначається:

$$M_{\text{пов}} = \mu \cdot \frac{Q \cdot L}{4} \cdot K, \quad (3)$$

де Q – рівнодійна прикладених до машини сил;

L – опорна довжина гусениці;

μ – коефіцієнт опору повороту;

K – коефіцієнт, який враховує зменшення моменту опору повороту. $K \leq 1$.

Перерозподіл вертикальних навантажень на гусениці призводить до поперечного зміщення центра тиску (y на рис. 1) відповідно сил тяги в них та погіршення керованості машини.

Для визначення нормальних реакцій на гусеницях складаються рівняння моментів сил відносно полюсів A і B :

$$R_A = \frac{Q}{2} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot y}{B}\right); \quad (4)$$

$$R_B = \frac{Q}{2} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot y}{B}\right), \quad (5)$$

де B – колія машини.

Сили тяги на гусеницях під час повороту зовнішньої гусениці A визначаються:

$$P_A = f \cdot R_A + \mu \cdot \frac{Q \cdot L}{4 \cdot B} \cdot K; \quad (6)$$

$$P_B = f \cdot R_B - \mu \cdot \frac{Q \cdot L}{4 \cdot B} \cdot K, \quad (7)$$

де f – коефіцієнт опору переміщенню машини.

У випадку, якщо під час повороту зовнішня гусениця машини, що має поперечне зміщення центра тиску, буде навантажена нормальною силою, що не достатня для реалізації потрібного тягового зусилля для повороту, можливі проблеми з поворотом машини,

Поворот машини на горизонтальному майданчику можливий за умови:

$$\varphi \cdot R_A \geq P_A, \quad (8)$$

де φ – коефіцієнт зчеплення гусениці з ґрунтом;

R_A, P_A – відповідно нормальна реакція та тягове зусилля в гусениці що дальня від труби та зовнішня в процесі повороту.

Підставимо вирази для R_A (4) і P_A (6) у формулу (8):

$$\varphi \cdot \frac{Q}{2} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot y}{B}\right) \geq f \cdot \frac{Q}{2} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot y}{B}\right) + \mu \cdot \frac{Q \cdot L}{4 \cdot B} \cdot K \quad (9)$$

та визначимо умову можливості повороту:

$$\frac{L}{B} \leq \frac{2 \cdot (\varphi - f)}{\mu \cdot K} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot y}{B}\right). \quad (10)$$

Машини підбивання ґрунту працює на діючих трубопроводах і до неї застосовуються заходи підвищеної безпеки, тому надмірне буксування будь-якої гусениці в процесі повороту на робочих режимах є небажаним. Проведемо аналіз формули (10) для реальних параметрів базового тягача машини і можливих ґрунтових умов роботи на трасі.

За заданого співвідношення L/B (для самохідного шасі ШБ-1 $L/B = 1,7$) гарантований поворот машини можливий із радіусом не менше мінімального. Умовою його реалізації є забезпечення зчеплення зовнішньої в процесі повороту гусениці з ґрунтом. Знайдемо цей мінімальний радіус для машини МП-М.

З виразу (10) знаходимо коефіцієнт опору повороту для реалізації мінімально допустимого радіусу повороту:

$$\mu = \frac{2 \cdot (\varphi - f)}{\frac{L}{B} \cdot K} \cdot \left(1 - \frac{2 \cdot y}{B}\right). \quad (11)$$

Коефіцієнт опору повороту пов'язаний з радіусом повороту машини відомою емпіричною формулою А.О. Нікітіна [13]:

$$\mu = \frac{\mu_{max}}{0,85 + 0,15 \cdot \frac{R}{B}}, \quad (12)$$

де μ_{max} – коефіцієнт опору повороту з повністю загальмованою гусеницею;

R – радіус повороту машини по зовнішній гусениці;

B – колія машини.

Звідси:

$$\frac{R}{B} = \frac{\mu_{max}}{0,15 \cdot \mu}, \quad (13)$$

а мінімальний допустимий радіус повороту

$$R_{min} = B \cdot \frac{\mu_{max} - 0,85 \cdot \mu}{0,15 \cdot \mu}. \quad (14)$$

Порівняємо допустимі радіуси повороту машини МП-М для двох характерних типів ґрунтових умов, що знаходяться на краях діапазону можливих характеристик ґрунтових опорних поверхонь: нормальну – суху щільну поверхню ґрунту ($\mu_{max} = 0,8$; $f = 0,1$; $\varphi = 0,8$) та екстремальну – поверхню з розпушеним суглинистим вологим ґрунтом ($\mu_{max} = 0,5$; $f = 0,15$; $\varphi = 0,4$). Екстремальні умови утворюються на режимах роботи машини МП-М в разі коли підбирач не використовує всього ґрунту з відвалу після машини розкриття трубопроводів МВТ-М і гусениці рухаються по розпушеному ґрунту, в результаті утворюється глибока колія, що утруднює рух і поворот машини. Крім того на вологій поверхні зменшується коефіцієнт зчеплення гусениць з ґрунтом.

Припустивши, що епюра розподілу тиску гусениць на ґрунт має прямокутний вигляд (тобто $K=1$), як гірший випадок повороту машини, розрахуємо допустимі мінімальні радіуси повороту машини з формул (10) та (14) в залежності від зміщення центра тиску у в поперечному напрямку. Результати розрахунків наведено на рис. 4, де крім отриманих кривих $R_{min} = f(y)$, також зазначено допустимі мінімальні радіуси кривизни трубопроводів в плані, що повинні бути не меншими 60 діаметрів трубопроводу.

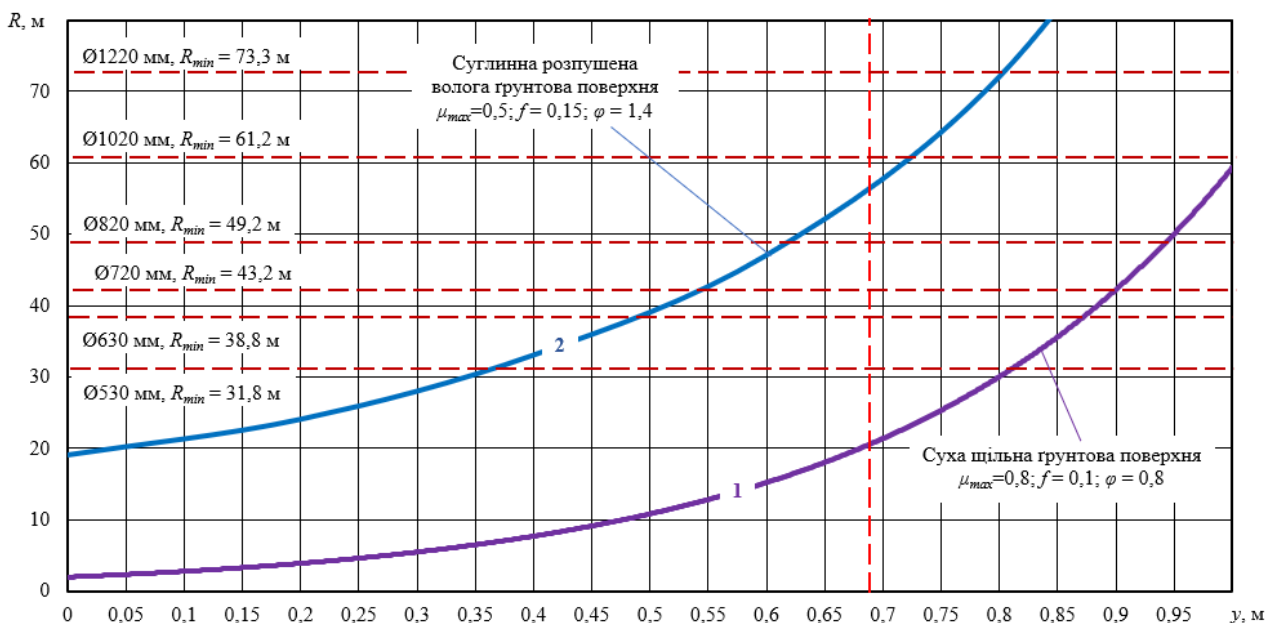


Рисунок 4 – Залежність мінімального радіуса повороту машини від поперечного зміщення центра тиску

Figure 4 – Dependence of the machine's minimum turning radius on the lateral displacement of the center of pressure

У машині МП-М на реальних режимах роботи на криволінійних ділянках трубопроводів поперечне зміщення центра тиску не перевищує 0,685 м, тому в нормальних ґрунтових умовах проблем з поворотом машини не виникає (крива 1). На таких же режимах роботи машини, але в екстремальних ґрунтових умовах на трубопроводах діаметром 820 мм і менше надмірне буксування зовнішньої гусениці, що працює як ведуча, може приводити до втрати поворотності машини МП-М (крива 2). Під час роботи в таких ґрунтових умовах машиністу та оператору машини необхідно приділяти підвищену увагу поворотності машини.

Висновки.

1. Розкрита фізична суть та отримані розрахункові залежності визначення вертикальних навантажень на гусениці базових шасі землерийних машин безперервної дії за умови зміщення центра тиску машини на ґрунт в межах опорного контура.
2. Встановлено умови гарантованого повороту двогусеничної машини, що переміщується вздовж трубопроводу без буксування зовнішньої гусениці в режимі ущільнення ґрунту під трубопроводом.
3. Отримано аналітичну залежність для визначення мінімально допустимого радіусу повороту машини під час переміщення її без буксування вздовж трубопроводів різних діаметрів в різних ґрунтових умовах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лебедев А.Т. Трактори та автомобілі. Ч.3. Шасі; Навч. посібник / А.Т. Лебедев, В.М. Антощенко, М.Ф. Бойко та ін. –К.: Вища освіта, 2004. – 336 с.
2. Kacigin, V.V., Guskov, V.V. The basis of tractor performance theory. Part 1-General laws of soil strength and deformation (1968) *Journal of Terramechanics*, 5 (3), pp. 43-66. doi: 10.1016/0022-4898(68)90080-3.
3. Wong, J.Y. *Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering* (2010) *Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering*. doi: 10.1016/C2009-0-00403-6
4. Коваль А. Б. Визначення умов забезпечення курсової стійкості універсальних землерийних машин. Дис.... канд. техн. наук 05.05.04 / Андрій Борисович Коваль. Нац. трансп. ун-т. – К. , 2014. – 218 с.
5. Y. Yuan, J. Gai, G. Zeng, Z. Han, Z. Sun and Y. Li, "Research on Electric Bulldozer Straight Driving Stability," 2019 3rd Conference on Vehicle Control and Intelligence (CVCI), Hefei, China, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/CVCI47823.2019.8951634.
6. Островерх О. О. Керованість та стійкість рух тракторів : навчальний посібник / О. О. Островерх, В. М. Краснокутський, Т. О. Крюкова. – Харків : Друкарня Мадрид. 2021. – 156 с.
7. Білоконь Я.Ю. Трактори та автомобілі / Я.Ю. Білоконь, А.І. Окоча, С.О. Войцехівський. – К.: Вища освіта, 2003. – 560
8. Главацькій К.Ц., Проскурня В.М. (2007). Визначення впливу опору пересуванню і повороту гусеничного тягача на загальний опір руху причіпного катка та глибини просідання мало опорної гусениці при будівництві та ремонті колії. *Наука та прогрес транспорту*, (17), 86–89. <https://doi.org/10.15802/stp2007/17568>
9. Супонев В.М., Рагулін В.М., Розенфельд М.В. Визначення конструктивних параметрів та опору переміщення в ґрунті робочого обладнання ножового трубозаглиблювача // *Машинобудування*, 2022, № 30, С. 42–50
10. Мусійко В.Д. Зменшення інерційних та динамічних навантажень універсальної землерийної машин. / В.Д. Мусійко, А.Б.Коваль // *Systemy i srodki transportu samochodowego. Wubrane zagadnienie. Monografia Nr 4. Seria: Transport pod redakcja naukowa Kazemierza Lejdy.* – Rzeszów (Polska) : Politechnika Rzeszowska – 2013. S. 129-138.
11. Wildner, David; Herlitzius, Thomas; Berg, Torsten (2020). Model for the analysis of the influence of the dynamic load shift on the traction behavior of a pipe laying machine. *Landtechnik* Volume 75, Issue 4, Pages 176 – 193, 2020. DOI 10.1515/lt.2020.3244.
12. Білякович, М.О. Дослідження якості ущільнення ґрунтового ложа магістральних трубопроводів та вибір параметрів ґрунтоущільнюючого механізму / М.О. Білякович, В.Д. Мусійко, В. Л. Салюк, М.П Кузьмінець // *Metody Obliczeniowe i Badawcze w Rozwoju Pojazdow Samochodowych i Maszyn Roboczych Samojedznych.* – Rzeszow: Politechnika Rzeszowska – SAKON' 01, 2001. — S. 35-40.
13. Коваль А.Б. Забезпечення керованості гусеничних землерийних машин безперервної дії за умови монтажу їх робочого обладнання збоку від базового шасі // *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Науково-технічний збірник.* К. : НТУ, 2022. – Вип. 112. С. 287-294. DOI: 10.33744/0365-8171-2022-112-287-294.

REFERENCES

1. Lebedev A.A. (2004). *Traktory ta avtomovili. Ch.3. Shasi* [Tractors and cars. Part 3. Chassis]. Kyiv: Vyscha osvita. [in Ukrainian].

2. Kacigin, V.V., & Guskov, V.V. (1968) The basis of tractor performance theory. Part 1-General laws of soil strength and deformation Journal of Terramechanics, 5 (3), pp. 43-66. doi: 10.1016/0022-4898(68)90080-3.
3. Wong, J.Y. Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering (2010) Terramechanics and Off-Road Vehicle Engineering. doi: 10.1016/C2009-0-00403-6
4. Koval A.B. *Vuznachennia umov zabezpechennia kursovoi stiikosti universalnykh zemleryinykh mashyn* Diss. [Definition of the conditions assuring the course stability of the multipurpose earth-moving machine. Diss.]. Kyiv, 2013. 219 p. [in Ukrainian].
5. Lebedev A.A. (2004). Traktory ta avtomovili. Ch.3. Shasi [Tractors and cars. Part 3. Chassis]. Kyiv: Higher Education. [in Ukrainian].
6. Ostroverkh O.O., Krasnokutskyi B. M., & Krukova T.O. (2021) Kerovnist ta stiikist rukhu traktoriv. [Maneuverability and stability of tractor movement] Kharkiv: Madrid Printing House [in Ukrainian].
7. Bilokon Ya. Yu. (2003) Traktory ta avtomovili. [Tractors and cars]. Kyiv: Higher Education. [in Ukrainian].
8. Glavatskyi, K. T., & Proskurnia, V. M. (2007). Determination of the influence of support movement and rotation of the crawler tractor on the total motion resistance of the rink and depth of subsidence few reference tracks in the construction and repair of ruts. Science and Transport Progress, (17), 86–89. <https://doi.org/10.15802/stp2007/17568>
9. Suponev V., Ragulin V., & Rozenfeld N. (2022) Determining the structural parameters and forces of resistance to movement in the soil of the working equipment of the knife pipe dredger. Engineering. №3, P. 42–50.
- 10/ Musiiko V.D, & Koval A.B. (2013) Zmenshennia inertsyinykh ta dynamichnykh navantazhen universalnoi zemleryinoi mashyn [Reduction of inertial and dynamic loads of universal earthmoving machines] Systemy i srodki transportu samochodowego. Wubrane zagadnienie. Monografia Nr 4. Seria: Transport pod redakcja naukowa Kazemierza Lejdy. – Rzeszów (Polska) : Politechnika Rzeszowska. S. 129-138. [in Ukrainian].
11. Wildner, David; Herlitzius, Thomas; Berg, Torsten (2020) Model for the analysis of the influence of the dynamic load shift on the traction behavior of a pipe laying machine. Landtechnik Volume 75, Issue 4, Pages 176 – 193, 2020. DOI 10.1515/lt.2020.3244.
12. Biliakovych M.O., Musiiko V.D., Saluk V.L. & Kuzminets M.P. (2001) Doslidzhennia yakosti ushchilnennia gruntovoho lozha mahistralnykh truboprovodiv ta vybir parametriv gruntoushchilnuchoho mekhanizmu [Research as soil compaction bed pipelines and choice of parameters of equipment tamp]. Metody Obliczeniowe i Badawcze w Rozwoju Pojazdow Samochodowych i Maszyn Roboczych Samojednych., issue 01, pp. 35-40.
13. Koval A.B. (2022) Controllability assurance in continuously operating tracked earthmoving machines under conditions of working equipment mounding to the side from the base chassis. Automobile roads and road construction., Issue 112. P. 287-294. DOI: 10.33744/0365-8171-2022-112-287-294

РЕФЕРАТ

Мусійко В.Д. Оцінка поворотності та забезпечення керованості машини підбивання ґрунту під трубопроводом / В.Д. Мусійко, А.Б. Коваль, В.А. Ніколаєнко, В.М. Рагулін // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

В статті приведено результати теоретичних досліджень зі створення методики оцінювання та забезпечення керованості спеціальних землерийних машин безперервної дії, що працюють в режимах переміщення вздовж трубопроводу, як об'єкту підвищеної небезпеки.

Розглядається рух машини для засипання та ущільнення ґрунту під трубопроводом, що працює в режимах зміни величини та координат прикладання зовнішніх вертикальних навантажень на механізм ходу базового шасі.

Оцінку забезпечення керованості машини МП-М виконано для умов переміщення машини вздовж прямолінійних ділянок трубопроводу, та на криволінійних ділянках траси, коли машина переміщується по сухій щільній ґрунтовій поверхні та по суглинному розпушеному ґрунту. Встановлено, що визначальний вплив на поворотність машини має величина зміщення центра тиску машини на ґрунт, що обумовлюється координатами прикладання сил тяжіння машини та зовнішніх сил, які циклічно діють на машину в процесі ущільнення ґрунту.

Отримані залежності визначення вертикальних навантажень на гусениці базового шасі в процесі ущільнення ґрунту під трубою, коли вертикальні навантаження, що діють на ґрунтоущільнюване обладнання змінюється від нуля до свого максимуму. Визначено умови можливого відриву одної з гусениць машини в процесі ущільнення ґрунту та умови сталого руху машини МП-М вздовж трубопроводу в процесі ущільнення ґрунту під трубою, не зважаючи на перерозподіл вертикальних навантажень між гусеницями.

Аналітичним шляхом встановлено умови виключення надмірного буксування зовнішньої гусениці базового шасі машини під час повороту в робочому режимі. Для заданих співвідношень між базою L та колією B машині визначено мінімальний радіус R_{min} гарантованого повороту машини, що рухається вздовж криволінійної ділянки трубопроводу за умови зчеплення зовнішньої, під час повороту, гусениці з ґрунтом.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МАШИНА, УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТУ, ТРУБОПРОВІД, НАВАНТАЖЕННЯ, ТИСК, ШАСІ, БУКСУВАННЯ, РАДІУС

ABSTRACT

Musiyko V.D., Koval A.B., Nikolaenko V.A., Ragulin V.M. Assessment of maneuverability and ensuring controllability of the soil compacting machine under pipeline. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

The article presents the results of theoretical research on the development of a methodology for assessing and ensuring the controllability of special continuous action earth-moving machines that operate in modes of movement along the pipeline, as an object of increased danger.

It considers the movement of the machine for backfilling and compacting soil under the pipeline, working in modes of changing the magnitude and coordinates of applying external vertical loads on the chassis's walking mechanism.

The assessment of the machine's MP-M controllability was performed for the conditions of the machine's movement along straight sections of the pipeline and on curved sections of the track when the machine moves on a dry dense soil surface and on loamy loosened soil. It was found that the decisive influence on the machine's maneuverability is the magnitude of the shift of the machine's center of pressure on the soil, which is determined by the coordinates of the application of the machine's gravity forces and the external forces that cyclically act on the machine during the soil compaction process.

The dependencies for determining the vertical loads on the caterpillars of the base chassis during the soil compaction process under the pipe, when vertical loads acting on the soil-compacting equipment change from zero to its maximum, were obtained. Conditions for possible detachment of one of the machine's caterpillars during the soil compaction process and conditions for the stable movement of the MP-M machine along the pipeline during the soil compaction process under the pipe, despite the redistribution of vertical loads between the caterpillars, were determined.

Analytically, conditions for eliminating excessive skidding of the outer caterpillar of the base chassis of the machine during turning in the working mode were established. For given ratios between the base L and track width B of the machine, the minimum radius R_{min} of guaranteed turning of the machine moving along a curved section of the pipeline under the condition of the outer, during turning, caterpillar's engagement with the soil was determined.

KEYWORDS: MACHINE, SOIL COMPACTION, PIPELINE, LOAD, PRESSURE, CHASSIS, SKIDDING, RADIUS

АВТОРИ:

Мусійко Володимир Данилович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: musvd@i.ua, тел: +380501040262, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, кв. 226a, orcid.org/0000-0001-9983-3296.

Коваль Андрій Борисович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail: kandr@i.ua, тел. +380500240894, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 226, orcid.org/0000-0003-1295-8200.

Ніколаєнко Володимир Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інженерії машин транспортного будівництва, e-mail:

vanikolaienko@ukr.net, тел: +380679786117, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к.226. orcid.org/0000-0003-3983-0434.

Рагулін Віталій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри будівельних і дорожніх машин, e-mail: ragulinrvn@ukr.net, тел. +380972957392, Україна, 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, orcid.org/0000-0003-2083-4937.

AUTHORS:

Musiiko Volodymyr Danylovych., Doctor of Technical Science, Professor, National Transport University, Head of Department of Transportation Construction Machinery Engineering, Professor, e-mail: musvd@i.ua, Phone +380501040262, Ukraine, 01010, Kyiv, street. M. Omelianovycha-Pavlenka, 1, ap. 226a, orcid.org/0000-0001-9983-3296.

Koval Andrii Borysovych., Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Transportation Construction Machinery Engineering, e-mail: kandr@i.ua, Phone +38050240894, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovycha-Pavlenka, 1, of. 226, orcid.org/0000-0003-1295-8200.

Nikolaienko Volodymyr Anatoliiovych, Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of Department of Transportation Construction Machinery Engineering, e-mail: vanikolaienko@ukr.net, Phone +380679786117, Ukraine, 01010, Kyiv, street. M. Omelianovych-Pavlenko, 1, of. 226. orcid.org/0000-0003-3983-0434.

Ragulin Vitaliy Mykolaiovych, Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Kharkiv National Automobile and Highway University, Associate Professor Department of Construction and Road-Building Machinery, e-mail: ragulinrvn@ukr.net, Phone +380972957392, Ukraine, 61002, Kharkiv, Yaroslava Mudrogo str., 25, orcid.org/0000-0003-2083-4937.

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 зварювально-ізоляційних технологій при будівництві трубопроводів «Нафтогазбудізоляція», Київ, Україна.

REVIEWERS:

Kovbasenko S. V., Candidate of Science (Engineering), National Transport University, Professor of Department of Transportation Construction Machinery Engineering, 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.

APPLYING ENERGY PRINCIPLES TO THE ASSESSMENT OF ROAD TRAFFIC SAFETY

Polishchuk V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head of the Department of Transport Systems and Traffic Safety, [orcid.org/0000-0003-3145-7225](mailto:polivol2013@gmail.com)

Nahrebelna L.P., Ph.D, National Transport University, Department of Transport Systems and Traffic Safety, Head of the Road Safety Center SE «NIDI», [orcid.org/0000-0002-5615-9075](mailto:nagrebelnalydmila@gmail.com)

Vyhovska I.A., National Transport University, Department of Transport Systems and Traffic Safety, i.vyhovska2609@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1426-9863

Popov S. Yu., National Transport University, Department of Transport Systems and Traffic Safety, popov@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0002-9373-2934

ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПРИНЦИПІВ ДО ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

Поліщук В.П., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, polivol2013@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3145-7225

Нагребельна Л.П., доктор філософії, Національний транспортний університет, керівник Центру безпеки дорожнього руху ДП «НІПІ» nagrebelnalydmila@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5615-9075

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

Понов С.Ю., Національний транспортний університет, Київ, Україна, popov@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0002-9373-2934

Introduction.

In contemporary urban landscapes, efficient road traffic management stands as a linchpin for sustainable development and societal well-being. The dynamic interplay between increasing vehicular volumes, evolving infrastructural demands, and pressing environmental concerns necessitates a holistic approach to traffic management. Central to this approach is the delicate balance between enhancing traffic efficiency and ensuring road safety. Efforts in modern traffic management have traditionally focused on two primary objectives: optimizing traffic flow to alleviate congestion and enhancing safety measures to mitigate accident risks. However, achieving these objectives simultaneously presents a multifaceted challenge, influenced by a myriad of factors including road conditions, traffic patterns, weather conditions, and human behavior. This article delves into the complexities of contemporary traffic management, with a particular emphasis on reconciling the sometimes conflicting goals of efficiency and safety. By examining the relationship between key metrics such as the safety coefficient (K_a) and the uniformity coefficient (K_b), we aim to develop a comprehensive understanding of traffic dynamics [4,6,17]. Through empirical analysis and advanced statistical techniques, we seek to elucidate the interdependencies between these metrics and explore their implications for real-time traffic management strategies. Furthermore, this study addresses the critical gap in existing literature by proposing an integrated approach to traffic management, wherein safety and efficiency considerations are harmonized through a unified criterion. By leveraging insights from both safety and efficiency metrics, we endeavor to enhance decision-making processes in traffic control centers and optimize resource allocation for maximum societal benefit. This research holds significant implications for policymakers, urban planners, and transportation authorities tasked with enhancing the resilience and sustainability of urban transportation systems. By fostering a deeper understanding of the intricate relationship between safety and efficiency in traffic management, this study aims to pave the way for more effective and adaptive approaches to address the evolving challenges of modern mobility. In the subsequent sections, we present a comprehensive analysis of safety and efficiency metrics, elucidating their interplay and implications for real-world traffic management scenarios. Through empirical validation and practical insights, we seek to offer actionable recommendations for enhancing road traffic safety, efficiency, and sustainability in the urban context [6, 19-21]. Overall, this study contributes to the burgeoning body of knowledge in transportation science and underscores the importance of adopting an integrated perspective in addressing the complex challenges of urban mobility. Through interdisciplinary collaboration and data-

driven analysis, we strive to advance the frontier of road traffic management and pave the way for safer, more efficient, and sustainable transportation systems [1, 4, 6].

Methodology.

Typically, when optimizing road traffic conditions, both in urban and rural areas, a dual task is addressed. On one hand, there is a need to maximize the speed of movement, which unequivocally characterizes the efficiency of transportation processes. On the other hand, ensuring the guaranteed safety of the process is essential, which is precisely associated with certain adequate speed limitations, albeit from the perspective of minimizing the severity of potential consequences. From a modern perspective on traffic organization, along with enhancing traffic efficiency (ensuring necessary speeds, reducing vehicle delays, etc.), significant attention is directed towards improving road safety. The compromise between these two opposing demands is determined by the relationship between road conditions and traffic flows [6], influenced by the constraints of the road network and weather conditions. Naturally, an improved traffic organization should provide both an adequate level of road safety and the necessary level of service for road users, thereby determining the ultimate efficiency of road traffic. Additionally, achieving the maximum possible utilization of the road network's capacity and reducing negative environmental impacts are essential goals. Clearly, simultaneously meeting such diverse and sometimes opposing demands is a highly challenging task and should be addressed based on specific numerical characteristics that define the aforementioned requirements to some extent. Therefore, it is advisable to formulate some comprehensive criteria capable of compromise to satisfy various road traffic conditions requirements. It is worth noting that while the aspect of increasing traffic efficiency, especially in terms of ensuring necessary speeds and reducing forced vehicle stops during movement, currently has solid theoretical foundations and practical implementation methods, another aspect related to improving safety is still considered insufficiently developed, and existing practical methods are rather specific. A separate relevant task is forecasting and preventing potential conflict situations and road traffic accidents under real conditions based on continuous monitoring of relevant traffic flow characteristics through automatic control of these characteristics. This task is particularly important in the context of automated management on sections and nodes of road networks. Unfortunately, adequate recommendations regarding the specification of these control parameters, as well as informative criteria that could be calculated in real-time "online", are lacking. Consequently, further research is necessary in this direction, primarily aimed at developing more or less universal criteria and evaluation methods for assessing road safety conditions. The aim of this article is to attempt to determine the qualitative and quantitative relationship between the existing indicator for assessing potential road safety in the form of the safety coefficient and acceleration noise, which is an energy indicator of the actual state of the traffic flow. Establishing this connection will allow the application of the safety coefficient to assess the actual state of the traffic flow and, furthermore, enable the formulation of a universal criterion for evaluating the level of road safety [6, 22].

The safety coefficient (K_b) [3] is a criterion widely used for assessing potential traffic safety on individual sections of the roadway and is typically applied during the road design stage [1, 6, 18]. It is determined using the formula:

$$K_b = \frac{V_m}{V_{en}}, \quad (1)$$

V_m – the maximum possible speed of vehicle movement along the road section under consideration;

V_{en} – the maximum possible speed of vehicles entering the section.

The physical meaning of this criterion lies essentially in assessing the potential unevenness of vehicle speed along the given section relative to the speed at the entrance to that section. It is evident that this indicator has a spatial context and therefore is purely computational. It is applied to construct a linear graph of the safety coefficient for the designed road. Then, sections with $K_b < 0.6$ are identified for taking appropriate measures to reduce it. It is worth noting that the application of most road signs on highways is determined precisely based on this indicator [6, 18].

A significant drawback of this criterion is the complexity of its application on sections of existing roads, considering the actual current values of traffic flow characteristics [21].

It is worth noting that there are quite a few significant works in the field of studying the uniformity and safety of traffic flow in real-time [22, 23]. Among the main evaluative indicators of uniformity and

safety of traffic flow, the following can be mentioned: acceleration noise (the root mean square value of acceleration variations of individual vehicles relative to the mean acceleration value of the traffic flow), which is determined by the formula [25]:

$$\sigma_a = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i - a_{cp})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Characterizes the level of additional fuel losses incurred due to braking or acceleration of vehicles, i.e., energy expenditures.

Speed noise (the root mean square of the variations in speeds of individual vehicles relative to the mean speed of the traffic flow) [1, 6, 25]:

$$\sigma_v = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_i - V_{cp})^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

which characterizes the level of safety of vehicle movement.

In the formulas (1, 2): a_i ; V_i ; $(a_i \cdot V_i)$ – The values of the respective parameters of the i -th vehicles; a_{avg} ; V_{avg} ; $(a \cdot V)_{avg}$ – their arithmetic mean values; n – the number of vehicles used to form the specified criteria.

When determining the experimental value of σ_a , one can apply one of the numerical formulas provided in the literature on safety and traffic management, which allows its determination directly from the observed data of the speed of individual vehicles [6, 25]:

$$K_a = \sigma_a = \left\{ \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta V_i}{t_i} \right)^2 - \left(\frac{V_T - V_0}{T} \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

V_0 ; V_T – Initial and final values of the mean spatial velocity of the traffic flow on the studied section [4]; ΔV_i the difference between similar velocities for the i -th vehicles; t_i – the time of passage of the i -th vehicle of this section; T – observation interval. In formula (4) and further, the acceleration noise will be denoted as K_a .

Note that the safety coefficient (K_a) in its physical sense is closer to σ_a , as it also characterizes, to some extent, the change in the speed of movement on the section under consideration. This suggests the assumption that there is a certain relationship between these indicators, the establishment of which would allow using the experimentally obtained value of K_a to determine the value of K_b and vice versa. To confirm this hypothesis, let's compare the linear graphs of the changes in the values of $K_a(L)$ and $K_b(L)$ on the section of the road (see Fig. 1a, b), constructed based on the data in Table 1: The length L on the graphs represents the number of sections of size 50 m.

Even a simple comparison of the graphs allows us to assert that both graphs have almost the same character of changes in the road space [6, 24], which already indicates the presence of a mutual connection.

Table 1 – Regression analysis results of the study findings

Таблиця 1 – Результати регресійного аналізу результатів дослідження

Ka	0,1	0,2	0,38	0,32	0,31	0,36	0,25	0,18	0,22	0,43	0,38
Kb	0,4	0,37	0,43	0,48	0,55	0,52	0,51	0,52	0,47	0,46	0,5
Ka	0,31	0,38	0,31	0,25	0,3	0,43	0,21	0,14	0,14	0,25	0,18
Kb	0,55	0,5	0,48	0,5	0,5	0,47	0,46	0,52	0,47	0,46	0,45

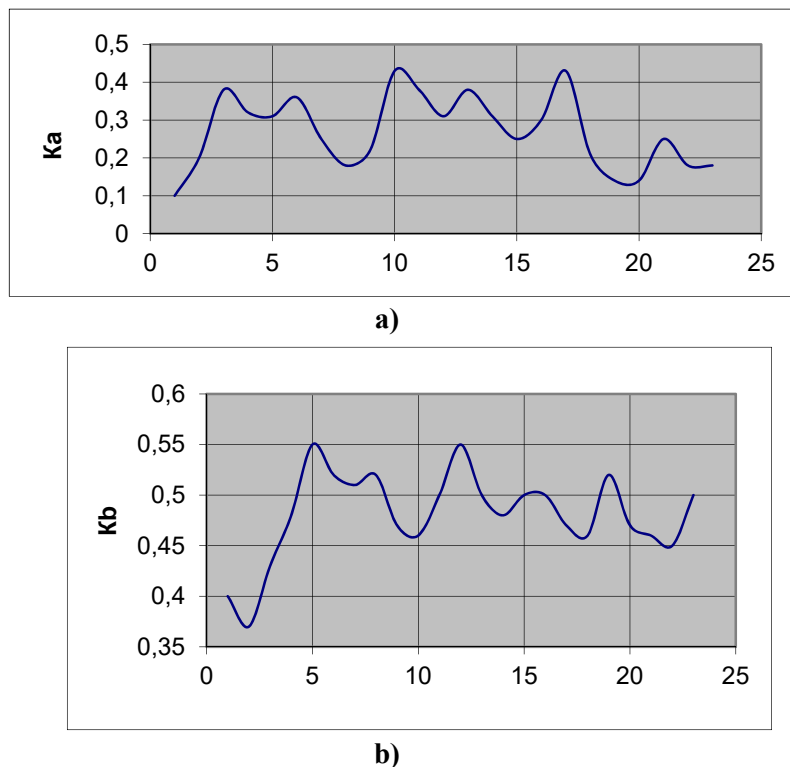


Figure 1 – Dependencies $K_a(L)$ (a) i $K_b(L)$ (b)
Рисунок 1 – Залежності $K_a(L)$ (a) i $K_b(L)$ (b)

For a more rigorous demonstration of this relationship and its numerical assessment, a regression analysis of the data in Table 1 was conducted. However, the results of the regression analysis (regression equation $y = 0.097x + 0.4551$, where $y = K_a$; $x = K_b$; coefficient of determination $R^2 = 0.0468$) completely refute the hypothesis of mutual dependence. Obviously, in conducting the regression analysis, it was necessary to take into account that initially the value of the acceleration index K_a changes, and then, as a consequence, a change in the safety coefficient K_b should be observed under its influence. Considering this circumstance, when conducting the regression analysis, each pair of values of $K_a(L)$ (a) and $K_b(L+\Delta L)$ should be selected with a certain spatial shift ΔL . We chose $\Delta L = 2$. After conducting the regression analysis with this shift taken into account, a decision was made, as shown in Figure 2, which indicates a significant correlation between the specified indicators.

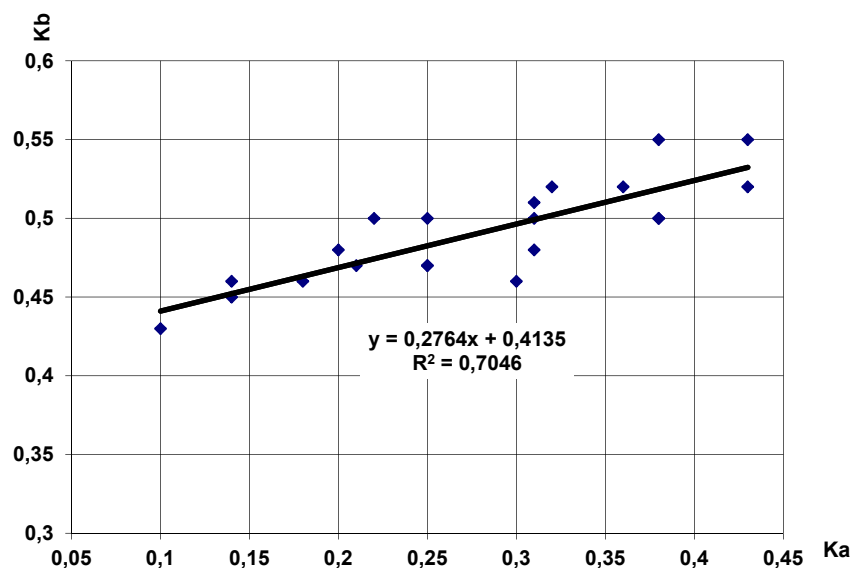


Figure 2 – Results of the regression analysis of the dependency $K_b = f(K_a)$
Рисунок 2 – Результати регресійного аналізу залежності $K_b = f(K_a)$

The obtained coefficient of determination $R^2 = 0.7046$ (which corresponds to the correlation coefficient $R = 0.839$) fully confirms the hypothesis of the mutual relationship between K_b and K_a , allowing, based on the regression equation shown in Figure 2, to substitute the indicators for each other depending on the problem being solved.

Conclusion.

In studies examining the impact of public transit on other traffic flow safety, the safety of movement was assessed using an analysis of the speed variance of buses and other vehicles [1, 4, 24]. This approach was applied in accordance with the principles of traffic flow theory [6], which suggests using energy characteristics of traffic flow to evaluate safety. Considering that public transit vehicles typically travel at lower speeds and can obstruct the movement of other vehicles, the use of the K_a index for such vehicle types is relevant and appropriate. Therefore, it is reasonable to investigate the possibility of utilizing the relationship between K_a and K_b for public transit vehicles and to identify patterns and conditions for replacing K_a and K_b specifically for buses, which is planned to be addressed in future studies.

The study has shed light on the interrelationship between safety coefficients K_a and K_b in assessing the safety of traffic flow. Through empirical analysis and regression modeling, we have demonstrated a significant correlation between these coefficients, providing valuable insights into their mutual influence. Furthermore, our findings suggest the potential for utilizing K_a as a proxy for K_b , particularly in the context of public transit vehicles. This opens avenues for simplifying safety evaluations and streamlining traffic management strategies. Moving forward, further research is warranted to explore the applicability of this relationship across various transportation contexts and to develop refined methodologies for integrating K_a and K_b into safety assessment frameworks. By enhancing our understanding of these safety indicators, we can contribute to the development of more efficient and effective traffic safety measures, ultimately promoting safer and smoother transportation systems for all road users.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Polishchuk Volodymyr, Popov Stanislav. (2023). MICROSCOPIC TRAFFIC FLOW MODEL WITH INFLUENCE OF PASSENGER TRANSPORT. World Science, 2(80). https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30062023/8015.
2. Drew, D. (1972). Theory of transport flows and their management. *Transport*.
3. Linheng Li, Can Wang, Ying Zhang, Xu Qu, Rui Li, Zhijun Chen, Bin Ran, Microscopic state evolution model of mixed traffic flow based on potential field theory, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Volume 607, 2022, 128185, ISSN 0378-4371, <https://doi.org/10.1016/j.physa.2022.128185>.
4. Popov, Stanislav, Traffic Control Technology for Public Transport in Order to Provide Traffic Safety (July 10, 2023). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4505252>.
5. Traffic flow dynamics: Data, models and simulation. (2013) *Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation*, pp. 1-503. Doi: 10.1007/978-3-642-32460-4.
6. Drew, D. (1972). Theory of transport flows and their management. *Transport*.
7. Chai, C., Wong, Y.D., (2014) *Accident Analysis and Prevention*, 63, pp. 94-103. doi: 10.1016/j.aap.2013.10.023.
8. Ali, Y., Zheng, Z., Haque, M.M., Wang, M., A game theory-based approach for modelling mandatory lane-changing behaviour in a connected environment (2019) *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 106, pp. 220-245. www.elsevier.com/inca/publications/store/1/3/0/ doi: 10.1016/j.trc.2019.07.011
9. Daamen, W., Buisson, C., Hoogendoorn, S.P., Traffic simulation and data: Validation methods and applications (2014) *Traffic Simulation and Data: Validation Methods and Applications*, pp. 1-244. Cited 21 times. <http://www.tandfebooks.com/doi/book/10.1201/b17440> ISBN: 978-148222871-7; 978-148222870-0 doi: 10.1201/b17440.
10. Fountoulakis, M., Bekiaris-Liberis, N., Roncoli, C., Papamichail, I., Papageorgiou, M. Highway traffic state estimation with mixed connected and conventional vehicles: Microscopic simulation-based testing (2017) *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 78, pp. 13-33. doi: 10.1016/j.trc.2017.02.015.
11. Ghiasi, A., Hussain, O., Qian, Z.S., Li, X., A mixed traffic capacity analysis and lane management model for connected automated vehicles: A Markov chain method, (2017) *Transportation Research Part B: Methodological*, 106, pp. 266-292. Cited 201 times. www.elsevier.com/inca/publications/store/5/4/8/ doi: 10.1016/j.trb.2017.09.022.

12. Roy, R., Saha, P., Headway distribution models of two-lane roads under mixed traffic conditions: a case study from India (2018) *European Transport Research Review*, 10 (1), art. no. 3., <http://www.springer.com/engineering/mechanical+eng/journal/12544>.
13. Olayode, Isaac Oyeyemi, Alessandro Severino, Frimpong Justice Alex, Elżbieta Macioszek, Lagouge Kwanda Tartibu. (2023). Systematic review on the evaluation of the effects of ride-hailing services on public road transportation. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 22, 100943. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100943>.
14. Olayode, Isaac Oyeyemi, Bo Du, Alessandro Severino, Tiziana Campisi, Frimpong Justice Alex. (2023). Systematic literature review on the applications, impacts, and public perceptions of autonomous vehicles in road transportation system. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 10(6), 1037-1060. ISSN 2095-7564. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2023.07.006>.
15. Traffic flow dynamics: Data, models and simulation. (2013) *Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation*, pp. 1-503. Doi: 10.1007/978-3-642-32460-4.
16. Doğan, E. (2024). Examining the safety impacts of transit priority signal systems using simulation techniques. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 122, 61-71. ISSN: 0209-3324. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2024.122.4>.
17. Keler, A., Sun, W., & Schmöcker, J.-D. (2023). Generating and Calibrating a Microscopic Traffic Flow Simulation Network of Kyoto: First Insights from Simulating Private and Public Transport. *SUMO Conference Proceedings*, 4, 189–195. <https://doi.org/10.52825/scp.v4i.226>.
18. Lin, Y., Lin, H., & Lu, Z. (2022). Warning of Dangerous Driving Behavior Caused by Drivers and Road Environmental Factors. In *Proceedings of CECNet 2022* (Vol. 363, pp. 48-55). *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*. DOI: 10.3233/FAIA220517.
19. Perdomo Calvo, J. A., & Torres Ospina, C. D. (Year not provided). Benefits of the Bus Rapid Transit System on the Reduction of Road Travel Crashes. Retrieved from <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3963881/v1>.
20. Porcu, F., Olivo, A., Maternini, G., & Barabino, B. (2020). Evaluating bus accident risks in public transport. *Transportation Research Procedia*, 45, 443-450. ISSN 2352-1465. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.037>.
21. Porcu, F., Olivo, A., Maternini, G., Coni, M., Bonera, M., & Barabino, B. (2021). Assessing the Risk of Bus Crashes in Transit Systems. *European Transport / Trasporti Europei*, Issue 81, Paper n° 4. ISSN 1825-3997. <https://doi.org/10.48295/ET.2021.81.4>. Available from: https://www.researchgate.net/publication/351048885_Assessing_the_Risk_of_Bus_Crashes_in_Transit_Systems [accessed Apr 03 2024].
22. Fabio Porcu, Alessandro Olivo, Giulio Maternini, Benedetto Barabino, Evaluating bus accident risks in public transport, *Transportation Research Procedia*, Volume 45, 2020, Pages 443-450, ISSN 2352-1465, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.037>.
23. Medvid', P., Gogola, M., & Kubalák, S. (2020). Occupancy of public transport vehicles in Slovakia. *Transportation Research Procedia*, 44, 153–159.
24. Wood, J., Yu, Z., & Gayah, V. (2022). Development and evaluation of frameworks for real-time bus passenger occupancy prediction. *International Journal of Transportation Science and Technology*.
25. Karamanlis, I., Nikiforiadis, A., Botzoris, G., Kokkalis, A., & Basbas, S. (2023). Towards Sustainable Transportation: The Role of Black Spot Analysis in Improving Road Safety. *Sustainability*, 15, 14478. <https://doi.org/10.3390/su151914478>.

REFERENCES

1. Polishchuk Volodymyr, Popov Stanislav. (2023). MICROSCOPIC TRAFFIC FLOW MODEL WITH INFLUENCE OF PASSENGER TRANSPORT. *World Science*, 2(80). https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30062023/8015.
2. Drew, D. (1972). Theory of transport flows and their management. *Transport*.
3. Linheng Li, Can Wang, Ying Zhang, Xu Qu, Rui Li, Zhijun Chen, Bin Ran, Microscopic state evolution model of mixed traffic flow based on potential field theory, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Volume 607, 2022, 128185, ISSN 0378-4371, <https://doi.org/10.1016/j.physa.2022.128185>.
4. Popov, Stanislav, Traffic Control Technology for Public Transport in Order to Provide Traffic Safety (July 10, 2023). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4505252>.
5. Traffic flow dynamics: Data, models and simulation. (2013) *Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation*, pp. 1-503. Doi: 10.1007/978-3-642-32460-4.
6. Drew, D. (1972). Theory of transport flows and their management. *Transport*.

7. Chai, C., Wong, Y.D., (2014) *Accident Analysis and Prevention*, 63, pp. 94-103. doi: 10.1016/j.aap.2013.10.023.
8. Ali, Y., Zheng, Z., Haque, M.M., Wang, M., A game theory-based approach for modelling mandatory lane-changing behaviour in a connected environment (2019) *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 106, pp. 220-245. www.elsevier.com/inca/publications/store/1/3/0/ doi: 10.1016/j.trc.2019.07.011
9. Daamen, W., Buisson, C., Hoogendoorn, S.P., Traffic simulation and data: Validation methods and applications (2014) *Traffic Simulation and Data: Validation Methods and Applications*, pp. 1-244. Cited 21 times. <http://www.tandfebooks.com/doi/book/10.1201/b17440> ISBN: 978-148222871-7; 978-148222870-0 doi: 10.1201/b17440.
10. Fountoulakis, M., Bekiaris-Liberis, N., Roncoli, C., Papamichail, I., Papageorgiou, M. Highway traffic state estimation with mixed connected and conventional vehicles: Microscopic simulation-based testing (2017) *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 78, pp. 13-33. doi: 10.1016/j.trc.2017.02.015.
11. Ghiasi, A., Hussain, O., Qian, Z.S., Li, X., A mixed traffic capacity analysis and lane management model for connected automated vehicles: A Markov chain method, (2017) *Transportation Research Part B: Methodological*, 106, pp. 266-292. Cited 201 times. www.elsevier.com/inca/publications/store/5/4/8/ doi: 10.1016/j.trb.2017.09.022.
12. Roy, R., Saha, P., Headway distribution models of two-lane roads under mixed traffic conditions: a case study from India (2018) *European Transport Research Review*, 10 (1), art. no. 3., <http://www.springer.com/engineering/mechanical+eng/journal/12544>.
13. Olayode, Isaac Oyeyemi, Alessandro Severino, Frimpong Justice Alex, Elżbieta Macioszek, Lagouge Kwanda Tartibu. (2023). Systematic review on the evaluation of the effects of ride-hailing services on public road transportation. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 22, 100943. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100943>.
14. Olayode, Isaac Oyeyemi, Bo Du, Alessandro Severino, Tiziana Campisi, Frimpong Justice Alex. (2023). Systematic literature review on the applications, impacts, and public perceptions of autonomous vehicles in road transportation system. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 10(6), 1037-1060. ISSN 2095-7564. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2023.07.006>.
15. Traffic flow dynamics: Data, models and simulation. (2013) *Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation*, pp. 1-503. Doi: 10.1007/978-3-642-32460-4.
16. Doğan, E. (2024). Examining the safety impacts of transit priority signal systems using simulation techniques. *Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport*, 122, 61-71. ISSN: 0209-3324. <https://doi.org/10.20858/sjsutst.2024.122.4>.
17. Keler, A., Sun, W., & Schmöcker, J.-D. (2023). Generating and Calibrating a Microscopic Traffic Flow Simulation Network of Kyoto: First Insights from Simulating Private and Public Transport. *SUMO Conference Proceedings*, 4, 189–195. <https://doi.org/10.52825/scp.v4i.226>.
18. Lin, Y., Lin, H., & Lu, Z. (2022). Warning of Dangerous Driving Behavior Caused by Drivers and Road Environmental Factors. In *Proceedings of CECNet 2022* (Vol. 363, pp. 48-55). *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*. DOI: 10.3233/FAIA220517.
19. Perdomo Calvo, J. A., & Torres Ospina, C. D. (Year not provided). Benefits of the Bus Rapid Transit System on the Reduction of Road Travel Crashes. Retrieved from <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3963881/v1>.
20. Porcu, F., Olivo, A., Maternini, G., & Barabino, B. (2020). Evaluating bus accident risks in public transport. *Transportation Research Procedia*, 45, 443-450. ISSN 2352-1465. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.037>.
21. Porcu, F., Olivo, A., Maternini, G., Coni, M., Bonera, M., & Barabino, B. (2021). Assessing the Risk of Bus Crashes in Transit Systems. *European Transport / Trasporti Europei*, Issue 81, Paper n° 4. ISSN 1825-3997. <https://doi.org/10.48295/ET.2021.81.4>. Available from: https://www.researchgate.net/publication/351048885_Assessing_the_Risk_of_Bus_Crashes_in_Transit_Systems [accessed Apr 03 2024].
22. Fabio Porcu, Alessandro Olivo, Giulio Maternini, Benedetto Barabino, Evaluating bus accident risks in public transport, *Transportation Research Procedia*, Volume 45, 2020, Pages 443-450, ISSN 2352-1465, <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.037>.
23. Medvid', P., Gogola, M., & Kubaľák, S. (2020). Occupancy of public transport vehicles in Slovakia. *Transportation Research Procedia*, 44, 153–159.

24. Wood, J., Yu, Z., & Gayah, V. (2022). Development and evaluation of frameworks for real-time bus passenger occupancy prediction. *International Journal of Transportation Science and Technology*.
25. Karamanlis, I., Nikiforiadis, A., Botzoris, G., Kokkalis, A., & Basbas, S. (2023). Towards Sustainable Transportation: The Role of Black Spot Analysis in Improving Road Safety. *Sustainability*, 15, 14478. <https://doi.org/10.3390/su151914478>.

ABSTRACT

Polishchuk V.P., Nahrebelna L.P., Vyhovska I.A., Popov S. Yu. Applying energy principles to the assessment of road traffic safety. *Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal.* – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

In the contemporary realm of traffic management, achieving a balance between enhancing road traffic efficiency and ensuring safety remains paramount. This delicate equilibrium is influenced by the interplay between road conditions, traffic flows, and environmental factors.

The object of the study – patterns of safety in the movement of traffic vehicle.

Purpose of the study – establishing the relationship between the acceleration index and the safety coefficient of traffic, and their impact on traffic safety.

Methods of the study – regression analysis of traffic safety methods and vehicle acceleration noise has been conducted.

The optimization of traffic management systems must not only prioritize safety and service quality but also maximize the utilization of road capacities while minimizing environmental impact. A crucial challenge lies in the prediction and prevention of potential conflicts and road accidents through continuous monitoring of relevant traffic characteristics, especially in the context of automated traffic management systems. However, the absence of adequate recommendations for specifying monitoring parameters and real-time informative criteria poses a significant hurdle. This study explores the concept of a composite criterion to harmonize diverse demands on road conditions. Specifically, it investigates the relationship between the safety coefficient (K_a) and the uniformity coefficient (K_b) as indicators of traffic flow stability and safety. While initial regression analysis suggested no significant correlation, further examination with spatial shifts in data pairs revealed a substantial association, thereby supporting the hypothesis of interdependence between K_b and K_a . The findings offer insights into substituting these indicators based on specific operational requirements, facilitating more informed decision-making in traffic management. Overall, this integrated approach underscores the complexity of balancing safety and efficiency in road traffic management and provides a methodological framework for addressing these challenges effectively.

KEYWORDS: TRAFFIC MANAGEMENT, ROAD TRAFFIC SAFETY, SAFETY COEFFICIENT, REGRESSION ANALYSIS, CONFLICT PREDICTION, ACCIDENT PREVENTION

РЕФЕРАТ

Поліщук В.П. Застосування енергетичних принципів до оцінки безпеки дорожнього руху / В.П. Поліщук, Л.П. Нагребельна, І.А. Виговська, С.Ю. Попов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

Сучасні дослідження управління дорожнім рухом розглядають досягнення балансу між підвищенням ефективності дорожнього руху та забезпеченням безпеки дорожнього руху, що залишається першочерговим завданням. Вказані умови впливають на взаємодію між дорожніми умовами, транспортним потоком та екологічними факторами.

Об'єкт дослідження – закономірності безпеки руху транспортних засобів.

Мета роботи – встановити зв'язок показника прискорення та коефіцієнтом безпеки руху, та їх вплив на безпеку руху.

Методи дослідження – проведення регресійний аналіз методик безпеки рух та шуму прискорень транспортних засобів.

Оптимізація систем управління транспортом повинна не лише пріоритизувати безпеку та якість обслуговування, але й максимізувати використання дорожніх пропускних здатностей, зменшуючи при цьому вплив на довкілля. Ключовим викликом є передбачення та запобігання можливих конфліктів та ДТП шляхом постійного моніторингу відповідних характеристик дорожнього руху, особливо в контексті автоматизованих систем управління транспортом. Однак відсутність належних рекомендацій для визначення параметрів моніторингу та критеріїв реального часу ускладнює ситуацію. В дослідженні наводиться концепція композитного критерію для узгодження інших факторів до дорожніх умов. Зокрема, вивчається взаємозв'язок між коефіцієнтом безпеки (K_a) та

коефіцієнтом рівномірності (K_b) як показниками стабільності та безпеки руху транспорту. Хоча початковий регресійний аналіз не підтвердив значущої кореляції, подальший аналіз зі зміщенням даних показав значний зв'язок, підтверджуючи гіпотезу про взаємозалежність між K_b та K_a . Знайдені результати надають уявлення про заміну цих показників з урахуванням конкретних експлуатаційних вимог, що сприяє більш інформованому прийняттю рішень в управлінні дорожнім рухом. Загалом, цей інтегрований підхід підкреслює складність забезпечення балансу між безпекою та ефективністю у управлінні дорожнім рухом і надає методологічну основу для ефективного вирішення цих проблем.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ, БЕЗПЕКА ДОРОЖНЬОГО РУХУ, КОЕФІЦІЄНТ БЕЗПЕКИ, РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ, ПРОГНОЗУВАННЯ КОНФЛІКТІВ, ЗАПОБІГАННЯ ДТП.

АВТОРИ:

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.

Нагребельна Людмила Павлівна, доктор філософії з транспортних технологій (Ph.D), Національний транспортний університет, старший викладач кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, Начальник Центру безпеки дорожнього руху, ДП «НІРІ», e-mail: nagrebelsnalydmila@gmail.com тел.: +380973926016., Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к. 435. <http://orcid.org/0000-0002-5615-9075>

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

Попов Станіслав Юрійович, Національний транспортний університет, здобувач кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, e-mail: 11spopov@gmail.com, тел. +380442804885, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка 1, к.435. orcid.org/0000-0002-9373-2934.

AUTHORS:

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.

Nahrebelna Liudmyla , Ph.D, National Transport University, Department of Transport Systems and Traffic Safety, Head of the Road Safety Center SE «NIDI», e-mail: nagrebelsnalydmila@gmail.com, tel. +380442804885, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovicha-Pavlenko str. 1, of. 435, <http://orcid.org/0000-0002-5615-9075>

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.

Popov Stanislav, National Transport University, Department of Transport Systems and Traffic Safety, e-mail 11spopov@gmail.com, tel. +380442804885, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovicha-Pavlenko str. 1, of. 435, <https://orcid.org/0000-0002-9373-2934>

РЕЦЕЗЕНТИ:

Кисельов Володимир Борисович, доктор технічних наук, професор, директор навчальнонаукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету ім. В.І.Вернадського, Київ, Україна.

Прокудін Георгій Семенович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри міжнародних перевезень та митного контролю. Київ, Україна.

REVIEWERS:

Kiselev Vladimir Borisovich, doctor of technical Sciences, Director of the Educational and Scientific Institute of Municipal Management and Urban Economics of Tavrida National University V.I .Vernadsky, Kyiv, Ukraine.

Prokudin Geogriy Semenovych, Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University head of Department Head «International Transportation and Customs Control» Kyiv, Ukraine.

СУЧАСНІ ВІДСТАНІ ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ ТА РЕМОНТІ АВТОМОБІЛІВ ЗА КООПЕРАЦІЄЮ НА ПІДПРИЄМСТВАХ АВТОСЕРВІСУ

Савін Ю.Х., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, ghsavin@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4329-665X

Митко М.В., кандидат технічних наук, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна, mytko_83@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5484-0510

CONTEMPORARY PRACTICES IN SERVICING AND REPAIRING VEHICLES THROUGH COOPERATION AT AUTOMOTIVE SERVICE ENTERPRISES

Savin Y.F., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, ghsavin@gmail.com, orcid.org/0000-0003-4329-665X

Mytko M.V., Ph.D., Vinnytsia National Technical University, Vinnytsa, Ukraine, mytko_83@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5484-0510

Постановка проблеми. Автомобільний транспорт є найбільш мобільним, ефективним і універсальним засобом комунікації та посідає чинне місце у транспортному комплексі України.

За останні роки на автомобільному транспорті країни відбулися значні зміни. Поряд з існуючими автотранспортними підприємствами створено велику кількість відносно невеликих транспортно-комерційних підприємств. Тому з середини 90-х років в Україні почала формуватися регіональна структура з обслуговування та ремонту автомобілів, яка заснована за принципами концентрації, спеціалізації та кооперування робіт у межах регіону.

Зараз технічне обслуговування (ТО) та ремонт рухомого складу автотранспортних підприємств або транспортних підрозділів інших підприємств може бути організовано наступними способами:

1) всі роботи з технічного обслуговування та ремонту автомобілів виконуються на власній виробничо-технічній базі підприємства;

2) всі роботи з технічного обслуговування та ремонту автомобілів підприємства виконуються за договорами на підприємствах автосервісу;

3) частина робіт з ТО і ремонту автомобілів виконується на власній виробничо-технічній базі підприємства (в основному це постові роботи ТО і поточного ремонту(ПР)), а інша частина – на підприємствах автосервісу (в основному це діагностичні роботи, а також дільничні роботи ПР, обсяг яких незначний, але вони вимагають наявності спеціалізованого, вартісного обладнання та кваліфікованого персоналу).

Найбільше розповсюдження отримав спосіб організації виробництва ТО і ремонту автомобілів на власній виробничо-технічній базі підприємства. Це, в першу чергу, стосується бувших державних комплексних АТП, що обумовлено практикою розвитку автомобільного транспорту. Незалежно від кількості автомобілів в АТП, тобто обсягів робіт з ТО і ремонту, підприємства формували всю сукупність виробничих підрозділів і оснащували їх необхідним технологічним обладнанням. В той же час дослідження, свідчать, що тільки на великих АТП доцільно виконувати всі види робіт з ТО і ремонту автомобілів. На невеликих АТП виробничі потужності використовуються надто неефективно.

Другий спосіб організації технічного обслуговування та ремонту автомобілів (всі роботи з ТО і ремонту виконуються за договорами на підприємствах автосервісу) застосовується в сучасних комерційних організаціях і компаніях (банківські, страхові компанії та інші), в собівартість послуг яких вже закладено витрати на утримання транспорту.

Третій спосіб організації технічного обслуговування та ремонту автомобілів (змішаний), коли частина робіт виконується безпосередньо на підприємстві, а інші роботи – на підприємствах автосервісу, використовується в сучасних невеликих транспортно-комерційних підприємствах, для яких створення у повному обсязі відповідної власної виробничо-технічної бази, по-перше, економічно недоцільно, по-друге, практично неможливо.

Наведені вище способи організації ТО і ремонту транспортних засобів, які зараз реалізуються в Україні, мають місце і у розвинутих країнах світу.

Однією з найбільш важливих умов при організації виконання робіт з ТО і ремонту транспортних засобів за кооперацією є економічно доцільні відстані доставки автомобілів та ремонтного фонду на підприємства автосервісу або інші підприємства, які надають відповідні послуги. Тобто, вони обмежують можливість виконання робіт за кооперацією.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання удосконалення організаційних форм виробництва з технічного обслуговування і ремонту автомобілів, розвитку виробничої інфраструктури автомобільного транспорту розглядалися в роботах таких науковців, як д.т.н., професор Бідняк М.Н., д.т.н., професор Біліченко В.В., д.т.н., професор Кузнецов Є.С., д.т.н., професор Курніков І.П. та іншими науковцями. Аналіз виконаних науково-дослідних робіт свідчить, що питання впровадження сучасних організаційних форм виробництва з ТО і ремонту автомобілів є актуальні та вимагають подальшого вирішення.

Так можливість виконання робіт за кооперацією обмежується економічно доцільними відстанями доставки автомобілів на підприємства автосервісу. Наведені в літературних джерелах [1, 3] доцільні відстані між підприємствами складають для ТО-1 10-15 км, ТО-2 – 20-45 км, ПР – 40-80 км.

Однак, вказані відстані доставки автомобілів були визначені ще в 70-80 роках минулого століття та не відповідають сучасним умовам. Так, доцільні відстані доставки були визначені для АТП, які мали у своєму складі від 100 до 300 автомобілів (у 70-90 роках минулого століття це було 63,4% від загальної кількості АТП). Зараз кількість АТП в Україні, які мають більше 100 автомобілів, складає менш 1%. Переважна більшість автотранспортних підприємств (біля 64% від загальної кількості) має до 10 одиниць рухомого складу. Це обумовлює збільшення економічно доцільних відстаней доставки автомобілів.

З іншого боку, за вказаний період часу вартість палива збільшилася в доларовому еквіваленті майже у 10 разів (з 0,15-0,25 \$ за літр у 70-80 роках минулого століття до 1,5-2,0 \$ за літр зараз). Частина вартості паливо-мастильних матеріалів в вартості доставки автомобілів та ремонтного фонду на підприємства автосервісу зараз складає більше 50%. Звідки зростання вартості доставки і, відповідно, зменшення економічно доцільних відстаней при виконанні робіт з ТО і ремонту автомобілів за кооперацією в підприємствах автосервісу.

Найбільш наближені до сучасних умов економічно доцільні відстані доставки автомобілів та ремонтного фонду на підприємства автосервісу наведені в дисертаційній роботі Митка М.В. [2]. По-перше, в них вже враховані зміни структури автотранспортних підприємств України, по-друге, враховані також зміни вартості паливо-мастильних матеріалів на той час (2017-2019 роки). Отримані в роботі [2] економічно доцільні відстані доставки для виконання робіт з ТО і ремонту автомобілів за кооперацією суттєво відрізняються від раніше наведених в науково-навчальній літературі. Відстані доставки автомобілів на підприємства автосервісу для виконання постових робіт ТО-2 і ПР скоротилися, але відстані доставки агрегатів і вузлів для виконання дільничних робіт ПР суттєво збільшилися.

Однак, за останні роки внаслідок світової економічної та енергетичної кризи (2020-2022 р.р.), воєнного стану в Україні (2022-2023 роки) вартість палива збільшилася майже вдвічі. Зараз в Україні бензин А-95 коштує 49-55 грн/л, дизельне пальне – 51-57 грн/л. Внаслідок девальвації гривні суттєво збільшилися вартість послуг на підприємствах автосервісу. Тому в сучасних умовах наведені в роботі [2] рекомендації щодо економічно доцільних відстаней доставки автомобілів та ремонтного фонду на підприємства автосервісу викликають сумнів і вимагають додаткових досліджень.

Метою даної статті є визначення економічно доцільних відстаней доставки при обслуговуванні та ремонту автомобілів на підприємствах автосервісу в сучасних умовах.

Викладення основного матеріалу дослідження. Перехід до регіональної інфраструктури виробництва з обслуговування і ремонту автомобілів дозволяє у багатьох випадках відмовитися від комплексних АТП, ширше використовувати принципи концентрації, спеціалізації та кооперування, більш ефективно використовувати існуючий виробничий потенціал, суттєво зменшити капітальні витрати, створити необхідні умови для повного забезпечення потреб власників транспортних засобів у виробничих послугах з їх ТО і ремонту.

Доцільність виконання робіт з ТО і ремонту автомобілів автотранспортного або іншого підприємства за кооперацією на підприємствах автосервісу залежить від обсягу цих робіт та витрат, необхідних для виконання робіт безпосередньо на підприємстві. Тому для визначення доцільності виконання робіт з ТО і ремонту автомобілів за кооперацією на підприємствах автосервісу за критерій прийнято максимальний обсяг робіт з ТО і ремонту автомобілів, при якому виконання конкретного виду робіт вже є економічно недоцільне в автотранспортному підприємстві.

Цільова функція визначення доцільності виконання k -го виду робіт з обслуговування та ремонту автомобілів автотранспортного підприємства за кооперацією на підприємствах автосервісу має вигляд:

$$C_{k, АТП, i} \geq C_{k, ЦСВ, j} \quad , \quad (1)$$

де $C_{k, АТП, i}$ – собівартість 1 людино-години виконання k -го виду робіт в i -ому АТП, грн/люд.-год;
 $C_{k, ЦСВ, j}$ – вартість 1 людино-години виконання k -го виду робіт в j -ому ЦСВ, грн/люд.-год.

Використання такого критерію пояснюється тим, що зараз вартість робіт на СТОА та інших спеціалізованих підприємствах з обслуговування і ремонту автомобілів визначається через вартість однієї нормо-години для зазначеного виду робіт, тобто через питомі затрати, що припадають на 1 людино-годину трудомісткості. Тобто, виконання k -го виду робіт з обслуговування та ремонту автомобілів в i -ому АТП недоцільне, якщо собівартість 1 людино-години виконання робіт в автотранспортному підприємстві більше ніж вартість 1 людино-години виконання k -го виду робіт в j -ому ЦСВ (див. рис. 1).

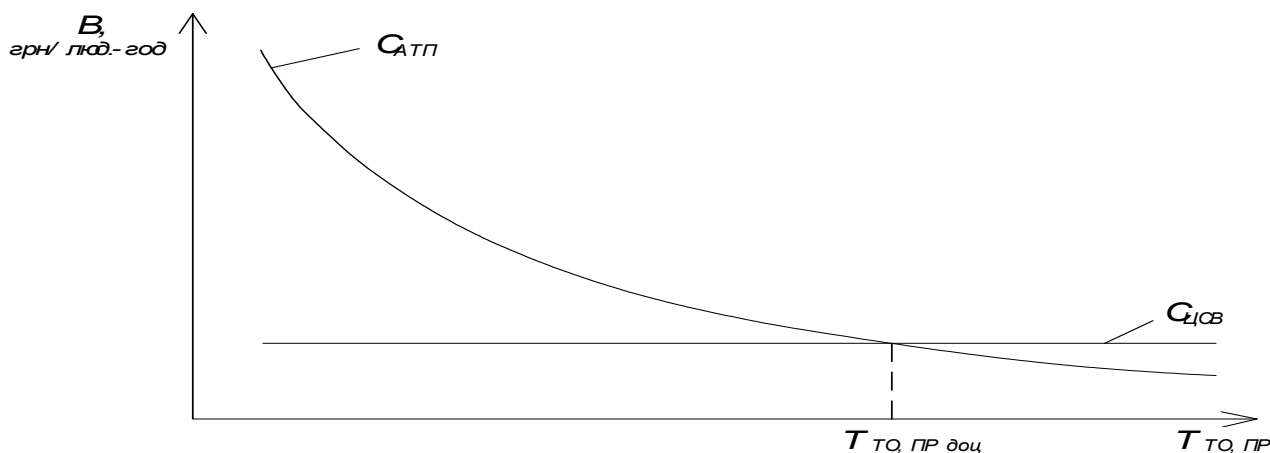


Рисунок 1 – Визначення доцільності виконання k -го виду робіт з обслуговування та ремонту автомобілів АТП за кооперацією на підприємствах автосервісу

Figure 1 – Determining the feasibility of performing quantitative maintenance and repair work on vehicles at the automotive enterprise through collaboration with auto service enterprises

Однак, наведена функція не враховує витрати, які пов'язані з доставкою автомобілів або ремонтного фонду на обслуговування та ремонт. З врахуванням витрат на доставку функція має вигляд:

$$C_{k, АТП, i} \geq C_{k, ЦСВ, j} + C_{k, доц, j} \quad , \quad (2)$$

де $C_{k, доц, j}$ – витрати на доставку автомобілів або ремонтного фонду для виконання k -го виду робіт на j -те ЦСВ, яка припадає на 1 людино-годину трудомісткості, грн/люд.-год.

Виконання k -го виду робіт з обслуговування та ремонту автомобілів в i -ому АТП недоцільне, якщо собівартість 1 людино-години виконання робіт в автотранспортному підприємстві більше, ніж вартість 1 нормо-години виконання k -го виду робіт в j -ому ЦСВ, враховуючи витрати, які пов'язані з доставкою автомобілів або ремонтного фонду на обслуговування та ремонт на ЦСВ (див. рис. 2).

Як видно з рис. 2, при збільшенні відстані доставки автомобілів або ремонтного фонду на ЦСВ максимальний обсяг робіт з ТО і ремонту автомобілів, при якому виконання конкретного виду робіт є економічно недоцільне в автотранспортному підприємстві, поступово зменшується.

Собівартість 1 людино-години виконання k -го виду робіт в i -ому АТП визначається

$$C_{k, АТП, i} = C_{ЗП, k, i} + C_{об., k, i} + C_{пом, k, i} \quad , \quad (3)$$

де $C_{ЗП, k, i}$ – питомі затрати на заробітну плату ремонтних робітників з урахуванням нарахувань, виконуючих k -й вид робіт в i -ому АТП, що припадають на 1 люд.-год трудомісткості, грн/люд.-год;
 $C_{об., k, i}$ – питомі затрати на обладнання необхідне для виконання k -го виду робіт, що припадають на 1 люд.-год трудомісткості, грн/люд.-год. Питомі затрати враховують не тільки вартість самого

обладнання, амортизаційні відрахування, вартість його установки, але і затрати на електроенергію; $C_{пом,к,i}$ – питомі затрати на приміщення, яке використовується для виконання k -го виду робіт, що припадають на 1 люд.-год трудомісткості, грн/люд.-год. Затрати враховують амортизаційні відрахування на приміщення, вартість опалення та освітлення.

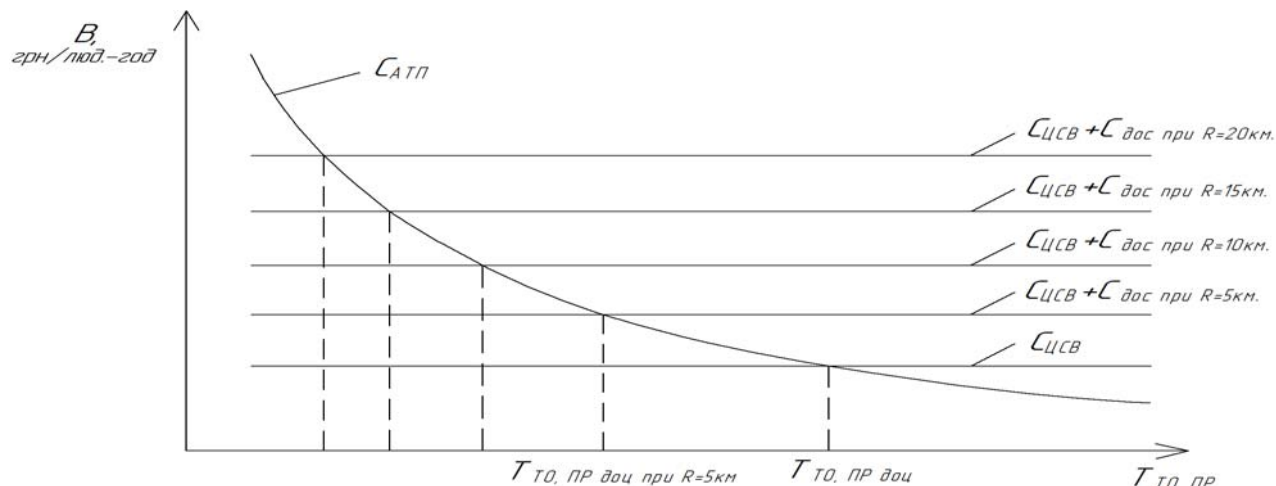


Рисунок 2 – Визначення доцільності виконання k -го виду робіт з обслуговування та ремонту автомобілів АТП за кооперацією на підприємствах автосервісу з врахуванням витрат на доставку

Figure 2 – Determining the cost-effectiveness of performing quantitative maintenance and repair tasks for vehicles at the automotive transport enterprise through collaboration with automotive service enterprises, considering delivery costs

$C_{пом,к,i}$ – питомі затрати на приміщення, яке використовується для виконання k -го виду робіт, що припадають на 1 люд.-год трудомісткості, грн/люд.-год. Затрати враховують амортизаційні відрахування на приміщення, вартість опалення та освітлення.

Згідно з правилами сертифікації підприємств, здійснюючих технічне обслуговування і ремонт транспортних засобів, для виконання k -го виду робіт підприємство повинно бути оснащено усім необхідним технологічним обладнанням. Тому приймається, що як АТП, так і ЦСВ оснащені однотипним технологічним обладнанням для виконання k -го виду робіт. Це дає можливість рахувати, що якість виконання робіт в АТП і ЦСВ є однаковою.

Вартість витрачених запасних частин і експлуатаційних матеріалів при виконанні робіт в ЦСВ урахується окремо. Приймається, що для виконання конкретного виду робіт як в АТП, так і в ЦСВ використовуються однакові запасні частини та експлуатаційні матеріали. Тому затрати на запасні частини та експлуатаційні матеріали не враховуються.

Собівартість 1 людино-години робіт з обслуговування та ремонту автомобілів в k -му виробничому підрозділі АТП визначається [2]:

$$C_{1.л.-г.} = (Z_{пл}^{pp} + C_{зз} + C_{об} + C_{ен.сис}) / T_{ТОР} , \quad (4)$$

де $Z_{пл}^{pp}$ – річна заробітна плата ремонтного робочого, грн; $C_{зз}$ – річні амортизаційні витрати на приміщення, грн; $C_{об}$ – річні амортизаційні витрати на обладнання, грн; $C_{ен.сис.}$ – річні витрати на енергосистеми (енергозабезпечення, водопостачання, опалення і. т. п.), грн; $T_{ТОР}$ – річний обсяг робіт з ТО і ремонту, люд.-год;

$$C_{1.л.-г.} = (12 \times Z_{пл}^m \times H_{зп} \times P + S_n \times C_{1.м}^2 \times H_{ам}^n \times x_p + 1,22 \times C_{об} \times H_{ам}^{об} \times x_p + 12 \times S_n \times C_{1.м}^2 \times H_{ен.сис}^n \times x_p) / T_{ТОР} , \quad (5)$$

де $Z_{пл}^m$ – місячна заробітна плата ремонтного працівника, грн; $H_{зп}$ – нарахування на заробітну плату, %; P – чисельність працівників, осіб; S_n – площа приміщення, м²; $C_{1.м}^2$ – вартість 1 м² виробничої площі, грн; $H_{ам}^n$ – норма амортизаційних відрахувань на будівлю, %; $C_{об}$ – вартість обладнання, грн; $H_{ам}^{об}$ – норми амортизаційних відрахувань на обладнання, %; 1,22 – коефіцієнт, що враховує витрати на

монтаж обладнання і підвід інженерних комунікацій; $C_{1\text{ м}^2\text{ енергосії}}$ – питомі витрати на енергоносії на 1 м² приміщення в місяць, грн; x_p – кількість робочих постів.

Вартість доставки автомобілів або ремфонду на ЦСВ, яка приходить на 1 людино-годину трудомісткості, визначається [2]:

$$C_{п-1\text{ км}} = (C_{авт} + 3П_в + B_{пал} + B_{тор}) / t_{тор} ; \quad (6)$$

де $C_{авт}$ – вартість залучення автомобіля при виконанні перевезень, грн; $3П_в$ – заробітна плата водію, грн; $B_{пал}$ – витрати на паливо, грн; $B_{ТОР}$ – витрати на ТО і ремонт автомобілів, грн; $t_{ТОР}$ – обсяги робіт при доставці на ТО і ремонт автомобілів, люд.-год.

$$\begin{aligned} C_{п-1\text{ км}} = & (2 \times (C_{авт} \times H_{ам}^a \times L_d) / (D_p \times t_p \times U_e) + 2 \times (3_n^e \times H_{3н} \times L_d) / (T_m \times U_e) + \\ & + 4 \times (H_l \times C_m \times L_d) / 100) / t_{ТОР} = 2 \times L_d \times ((C_{авт} \times H_{ам}^a) / (D_p \times t_p \times U_e) + \\ & + (3_n^e \times H_{3н}) / (T_m \times U_e) + 2 \times (H_l \times C_m) / 100) / t_{ТОР} ; \end{aligned} \quad (7)$$

де $H_{ам}^a$ – норма амортизаційних відрахувань на автомобіль, якій залучено до перевезень, %; D_p – кількість робочих днів в році; t_p – час роботи, год; L_d – відстань доставки, км; U_e – середня експлуатаційна швидкість, км/год; 3_n^e – середня місячна заробітна плата водія, грн; $H_{3н}$ – нарахування на заробітну плату, %; T_m – місячний фонд робочого часу водія, год; H_l – лінійна норма витрати пального, л/100 км; C_m – вартість 1 л пального, грн/л.

Економічно доцільна відстань доставки автомобілів та ремонтного фонду для виконання i -го виду робіт з ТО і ремонту на підприємствах автосервісу визначається за формулою:

$$R_i = \frac{(C_{АТП,10,i} - C_{ЦСВ,i})}{C_{п-1\text{ км}, i}} , \quad (8)$$

де $C_{АТП,10,i}$ – собівартість виконання i -го виду робіт на АТП, яке має в своєму складі 10 автомобілів, грн/люд.-год; $C_{ЦСВ,i}$ – вартість нормо-години виконання i -го виду робіт на ЦСВ, грн/люд.-год; $C_{п-1\text{ км}, i}$ – вартість доставки автомобілів на ЦСВ на 1 км, яка приходить на 1 люд.-год трудомісткості, грн/люд.-год * км.

Методика визначення економічно доцільних відстаней доставки автомобілів на підприємства автосервісу включає наступні етапи:

– I етап – виконується технологічний розрахунок автотранспортного підприємства, яке нараховує 10 одиниць рухомого складу, та визначаються річні обсяги робіт з ТО і ремонту автомобілів, чисельність виробничого персоналу, кількість робочих постів ТО і ремонту, площі виробничих приміщень;

– II етап – визначається собівартість 1 людино-години виконання кожного виду робіт з технічного обслуговування та ремонту автомобілів в автотранспортному підприємстві;

– III етап – визначаються доцільність виконання робіт з обслуговування та ремонту автомобілів АТП на підприємстві автосервісу та економічно доцільні відстані доставки автомобілів.

Спочатку порівнюється собівартість виконання кожного виду робіт з ТО і ремонту автомобілів на підприємстві з вартістю виконання цих робіт на інших підприємствах (СТОА, АТП, ЦСВ), які розташовані поряд АТП (рівняння 1), та приймається попереднє рішення щодо доцільності їх виконання на підприємстві автосервісу.

В разі доцільності їх виконання на підприємстві автосервісу визначаються вартість доставки автомобілів або ремфонду на СТОА, яка приходить на 1 людино-годину трудомісткості робіт (рівняння 7), та економічно доцільні відстані транспортування автомобіля або його окремих комплектуючих з АТП на підприємства автосервісу (рівняння 8).

Блок-схему алгоритму визначення економічно доцільних відстаней доставки автомобілів на підприємства автосервісу наведено на рисунку 3.

Для отримання загальних результатів та висновків щодо економічно доцільних відстаней доставки автомобілів на підприємства автосервісу для виконання робіт з обслуговування та ремонту автомобілів за кооперацією розрахунки виконувалися для наступних еталонних умов, що характерні для більшості АТП України на сучасному етапі:

– автотранспортні підприємства нараховували 10 одиниць рухомого складу;

- автомобілі працюють в 3-й категорії умов експлуатації;
- середньодобовий пробіг автомобілів складає 200 км;
- умови зберігання рухомого складу – відкрита стоянка без підігрівання;

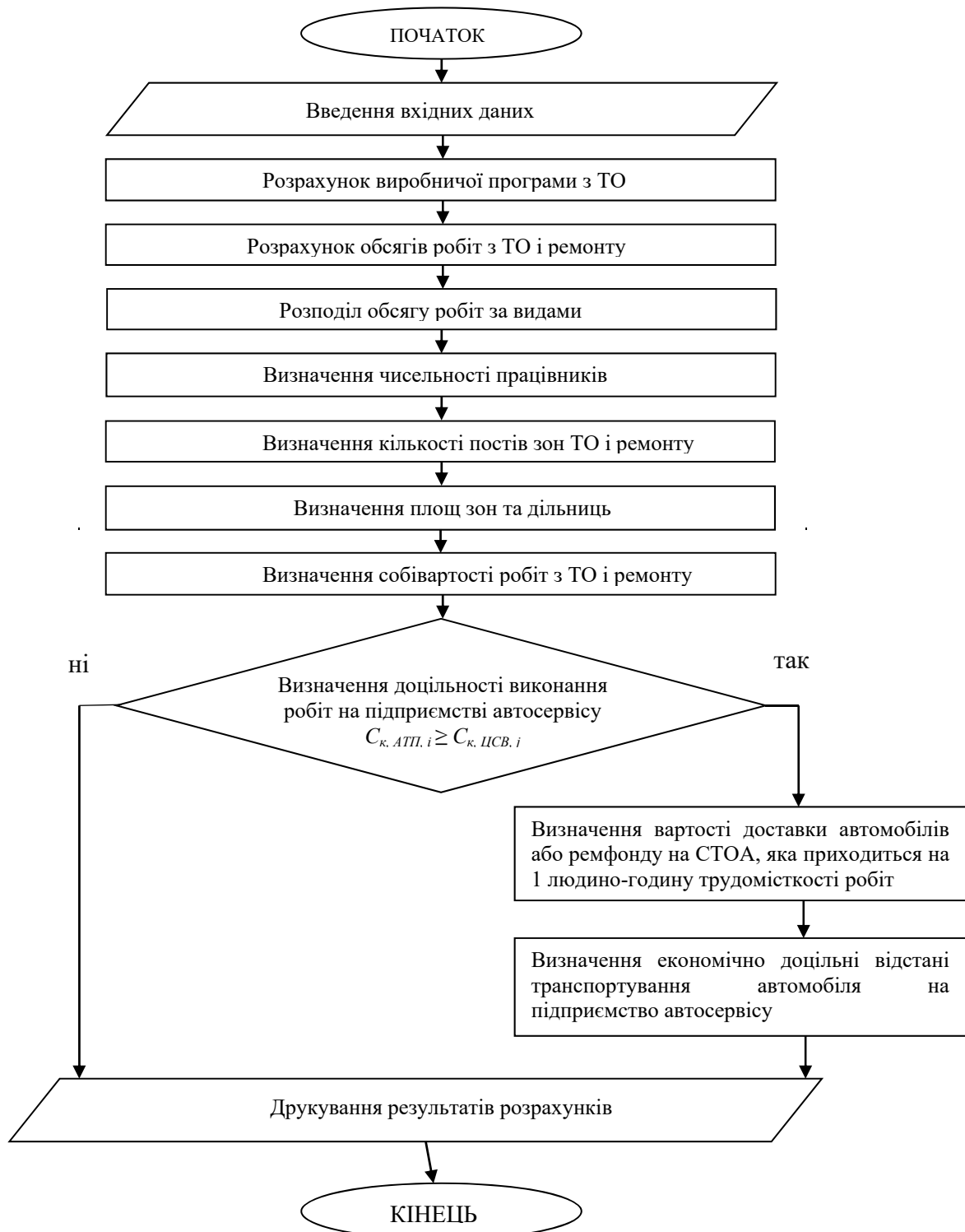


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритму визначення економічно доцільних відстаней доставки автомобілів на підприємства автосервісу

Figure 3 – Algorithm flowchart for determining economically feasible distances for vehicle delivery to automotive service enterprises

розрахунки виконувалися для базових моделей автомобілів автотранспортних підприємств:

- таксомоторні АТП:
- автомобілі малого класу – Chevrolet Aveo;
- автомобілі середнього класу – ГАЗ-31105;
- вантажні АТП:
- автомобілі малої вантажопідйомності – ГАЗ-33021 «Газель»;
- автомобілі великої вантажопідйомності – КАМАЗ-53215;
- автобусні АТП:
- автобуси середньої пасажиромісткості – Mercedes-Benz «Vario» ТУР А407;
- автобуси великої пасажиромісткості – ЛАЗ А-183 D1 «City».

Розрахунки виконувалися за програмою, що розроблена в дисертаційній роботі Митка М.В. [2].

В сучасних умовах суттєвий вплив на вартість доставки автомобілів та ремонтного фонду при виконанні робіт з ТО і ремонту за кооперацією в спеціалізованих підприємствах автосервісу надає вартість паливо-мастильних матеріалів. Зараз на АЗС вартість бензину А-95 складає 49-55 грн/л (при розрахунках приймається 53 грн/л), вартість дизельного палива – 51-57 грн/л (при розрахунках приймається 54 грн/л).

Вартість доставки автомобілів та ремонтного фонду на підприємства автосервісу на 1 км, яка припадає на 1 людину-годину трудомісткості робіт з ТО і ремонту, наведено у табл. 1.

Частка вартості паливо-мастильних матеріалів в вартості доставки автомобілів та ремонтного фонду в підприємства автосервісу зараз складає від 37% до 53% в залежності від типу рухомого складу. Звідки зростання вартості доставки і, відповідно, зменшення економічно доцільних відстаней доставки при виконанні робіт з ТО і ремонту автомобілів за кооперацією в підприємствах автосервісу.

Економічно доцільні для сучасних умов відстані доставки автомобілів, вузлів та агрегатів при виконанні робіт з ТО і ремонту за кооперацією в спеціалізованих підприємствах автосервісу наведено у табл. 2. Приймається, що при виконанні постових робіт з обслуговування та ремонту (ЩО, ТО-1, ТО-2, діагностичних робіт, постових робіт ПР, фарбувальних робіт ПР, зварювально-жерстяницьких та арматурних робіт ПР) на підприємства автосервісу доставляється безпосередньо автомобіль. При виконанні дільничних робіт ПР (агрегатні, електротехнічні та інші роботи) доставка ремонтного фонду здійснюється вантажним автомобілем малої вантажопідйомності (ГАЗ-33021 «Газель»).

Отримані сучасні економічно доцільні відстані доставки для виконання робіт з ТО і ремонту автомобілів за кооперацією суттєво відрізняються як від наведених в науково-навчальній літературі, так і в дисертаційній роботі [2].

За даними табл. 2 для таксомоторних АТП економічно доцільна відстань доставки автомобілів на ЩО складає до 2 км, для вантажних АТП – до 2-3 км для автобусних АТП – до 1-3 км, тобто відстань майже в 1,5-2 рази менше ніж за рекомендаціями роботи [2].

Для таксомоторного АТП економічно доцільні в сучасних умовах відстані доставки автомобілів для виконання ТО-1 і ТО-2 близькі до рекомендуємих в літературних джерелах [1]. Для вантажних і автобусних АТП відповідні відстані доставки суттєво менші. Це саме стосується і відстаней доставки автомобілів на підприємства автосервісу для виконання постових робіт ПР (регулювальні і складально-розбірні роботи ПР). Для вказаних робіт наведені в табл. 2 відстані доставки суттєво обмежують можливість виконання вказаних робіт за кооперацією в підприємствах автосервісу.

Так для таксомоторних АТП вже при наявності тільки 10 легкових автомобілів виконання постових робіт ПР за кооперацією на підприємствах автосервісу економічно недоцільно. Це саме стосується вантажних АТП, на яких виконання постових робіт ПР за кооперацією при наявності 10 автомобілів великої вантажопідйомності також економічно недоцільно. Тобто, для ТО-1, ТО-2, постових робіт ПР на невеликих вантажних або автобусних АТП, які мають до 10 одиниць рухомого складу, вже доцільно мати 1-2 універсальних робочих пости для виконання вказаних видів робіт. Це пояснюється, по перше, достатнім обсягом постових робіт з ТО і ПР, що дозволяє організувати їх виконання безпосередньо на автотранспортному підприємстві, по-друге, значною вартістю доставки рухомого складу на підприємства автосервісу. Особливо це стосується вантажних автомобілів великої вантажопідйомності або автобусів великої пасажиромісткості.

Що стосується виконання діагностичних робіт Д-1 і Д-2, більшості дільничних робіт поточного ремонту, то отримані економічно доцільні відстані доставки в підприємства автосервісу суттєво перевищують рекомендації, наведені в навчально-науковій літературі [1, 3]. Це пояснюється незначним обсягом цих робіт в малих підприємствах та значною собівартістю виконання вказаних робіт безпосередньо в АТП.

Таблиця 1 – Вартість доставки автомобілів та ремонтного фонду АТП на підприємства автосервісу на 1 км, яка припадає на 1 людино-годину трудомісткості робіт з ТО і ремонту

Table 1 – Cost of delivery of vehicles and repair fund from the automotive transport enterprise to automotive service enterprises per 1 kilometer, allocated per 1 person-hour of labor intensity for technical maintenance and repair works

Найменування робіт з ТО і ремонту	Вартість доставки на 1 км відстані до сервісного центру, грн / люд.-год						
	Таксомоторні АТП		Вантажні АТП		Автобусні АТП		
	автомобілі малого класу («Chevrolet Aveo»)	автомобілі середнього класу (ГАЗ- 31105)	автомобілі малої вантажної підйомності (ГАЗ-33021 «Газель»)	автомобілі великої вантажної підйомності (КАМАЗ-53215)	автомобілі середньої пасажиро-місткості (Mercedes-Benz «Vario» ТУР А 407)	автомобілі великої пасажиро- місткості (ЛАЗ А-183 D 1 «City»)	
Прибиральні та мийні	29,81	40,90	46,49	61,48	38,04	44,18	
Загальне діагностування (Д-1)	23,85	32,71	37,19	61,48	38,04	66,27	
Поглиблене діагностування (Д-2)	15,90	21,81	24,79	40,97	25,33	33,14	
Кріпильні, регулювальні, мастильні роботи ТО-1	9,17	9,63	12,87	8,20	5,07	7,36	
Кріпильні, регулювальні, мастильні роботи ТО-2	2,27	2,42	3,08	2,56	1,27	1,84	
Регулювальні і складально-розбірні роботи ПР	10,84	10,90	18,59	10,25	12,67	16,57	
Фарбувальні	23,85	32,71	37,19	30,74	19,02	26,51	
Агрегатні	4,77	6,55	7,44	10,25	7,60	11,04	
Слюсарно-механічні	4,77	6,55	7,44	10,25	7,60	11,04	
Електротехнічні	8,00	10,90	12,87	15,37	9,50	13,25	
Акумуляторні	11,92	16,36	18,59	20,49	19,00	22,09	
Ремонт приладів систем живлення	8,00	10,90	12,87	15,37	9,50	13,25	
Шиномонтажні та вулканізаційні	11,92	16,36	18,59	15,37	12,67	16,57	
Ковальсько-ресорні	11,92	16,36	18,59	15,37	12,67	13,25	
Мідницькі	11,92	16,36	18,59	15,37	12,67	16,57	
Оббивні	8,00	10,90	12,87	12,30	9,50	13,25	
Таксомоторні	11,92	16,36	–	–	–	–	
Зварювальні-жерстяницькі та арматурні	8,00	10,90	12,87	15,37	9,50	16,57	

Таблиця 2 – Економічно доцільні відстані доставки автомобілів, вузлів та агрегатів при виконанні робіт з ТО і ремонту за кооперацією в спеціалізованих підприємствах автосервісу

Table 2 – Economically feasible distances for the delivery of vehicles, components, and assemblies during the execution of technical maintenance and repair works through collaboration with specialized automotive service enterprises

Найменування робіт з ТО і ремонту	Економічно доцільні відстані доставки, км					
	Таксомоторні АТП		Вантажні АТП		Автобусні АТП	
	автомобілі малого класу («Chevrolet Aveo»)	автомобілі середнього класу (ГАЗ- 31105)	автомобілі малої вантажо- підйомності (ГАЗ-33021 «Газель»)	автомобілі великої вантажо- підйомності (КАМАЗ-53215)	автобуси середньої пасажиро-місткості (Mercedes-Benz «Vario» ТУР А 407)	автобуси великої пасажиро- місткості (ЛАЗ А-183 D 1 «City»)
Прибиральні та мийні	до 2	0	до 3	до 2	до 3	до 1
Загальне діагностування (Д-1)	до 135	до 80	до 85	до 35	до 90	до 40
Поглиблене діагностування (Д-2)	до 140	до 90	до 160	до 27	до 130	до 80
Кріпильні, регулювальні, мастильні роботи ТО-1	до 25	до 3	до 15	0	до 2	0
Кріпильні, регулювальні, мастильні роботи ТО-2	0	0	до 30	0	0	0
Регулювальні і складально-розбірні роботи ПР	0	0	до 30	0	до 10	до 6
Фарбувальні	до 100	до 50	до 175	до 110	до 120	до 80
Агрегатні				до 40		
Слюсарно-механічні				до 50		
Електротехнічні				до 80		
Акумуляторні				до 75		
Ремонт приладів систем живлення				до 100		
Шиномонтажні та вулканізаційні				до 80		
Ковальсько-ресорні				до 85		
Мідницькі				до 75		
Оббивні				до 95		
Таксометричні	до 80	до 70	–	–	–	–
Зварюально-жестяницькі та арматурні	до 70	до 45	до 105	до 25	до 60	до 30

В першу чергу, це обумовлено великою вартістю технологічного обладнання, особливо, постів діагностики, дільниць для виконання фарбувальних робіт. Однак сучасні економічно доцільні відстані доставки автомобілів, вузлів та агрегатів, які наведені в табл. 2, менше на 10-35 км для діагностичних робіт і на 25-265 км для дільничних робіт поточного ремонту ніж за рекомендаціями роботи [2], що пояснюється суттєвим зростанням вартості палива за останні роки.

Так економічно доцільні відстані доставки для виконання загального діагностування Д-1 складають для таксомоторних АТП до 80-135 км, для вантажних АТП – до 35-85 км, для автобусних АТП – до 40-80 км в залежності від типу рухомого складу. За рекомендаціями Митка М.В. це відстані складають, відповідно, для таксомоторних АТП до 110-170 км, для вантажних АТП – до 40-100 км, для автобусних АТП – до 55-100 км.

Для поглибленого діагностування Д-2 сучасні економічно доцільні відстані доставки складають для таксомоторних АТП до 90-140 км, для вантажних АТП – до 27-160 км, для автобусних АТП – до 80-130 км. Економічно доцільні відстані доставки для виконання фарбувальних робіт складають для таксомоторних АТП до 50-100 км, для вантажних АТП – до 11-175 км, для автобусних АТП – до 80-120 км в залежності від типу рухомого складу.

Економічно доцільні відстані доставки для виконання дільничних робіт поточного ремонту в підприємствах автосервісу складають від 40 до 100 км в залежності від виду робіт.

Однак, вказані в табл. 2 економічно доцільні відстані доставки при виконанні робіт з ТО і ремонту автомобілів за кооперацією мають орієнтовний характер. В першу чергу, це стосується доставки в ремонт вузлів та агрегатів, так як вартість їх доставки багато в чому залежить від способу організації доставки на підприємства автосервісу. Тому, в кожному конкретному випадку доцільність виконання робіт з ТО і ремонту автомобілів за кооперацією потрібно визначати на підставі відповідних розрахунків.

Отримані економічно доцільні відстані доставки збігаються з тенденцією організації ТО і ремонту автомобілів, яка має місце в розвинених країнах Європи і США, коли автотранспортні підприємства не тільки малої, але середньої і також великої потужності виконують на власній базі тільки постові роботи ТО і ремонту, а більшість дільничних робіт поточного ремонту виконують за кооперацією на спеціалізованих підприємствах.

Висновки. Однією з найбільш важливих умов при організації виконання робіт з ТО і ремонту транспортних засобів за кооперацією є економічно доцільні відстані доставки автомобілів та ремонтного фонду на підприємства автосервісу або інші підприємства, які надають відповідні послуги.

Існуючі в навчально-науковій літературі рекомендації щодо доцільних відстаней доставки або не враховують зміни структури підприємств автомобільного транспорту в Україні, або зміну вартості палива та вартості послуг з ТО і ремонту автомобілів на сучасному етапі.

Розроблено методику визначення економічно доцільних відстаней доставки автомобілів на підприємства автосервісу. На підставі проведених досліджень визначені економічно доцільні відстані доставки для виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту автомобілів на підприємствах автосервісу на сучасному етапі. Вони враховують сучасну вартість паливо-мастильних матеріалів, яка склалася на АЗС України, та вартість нормо-години на підприємствах автосервісу.

Слід відмітити, що розроблена методика визначення доцільних відстаней доставки при виконання робіт з обслуговування та ремонту автомобілів за кооперацією та отримані результати можуть бути цікаві не тільки для України, але і для більшості країн світу, в яких вартість палива за останні роки також зросла майже у 2 рази.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Канарчук В.Є., Курніков І.П. Виробничі системи на транспорті: підручник. – К.: Вища шк., 1997. – 359 с.
2. Митко М. В. Підвищення ефективності роботи автотранспортних підприємств удосконаленням структури виробничих підрозділів: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20. Київ, 2019. – 251 с.
3. Савін Ю.Х. Визначення економічно доцільних відстаней доставки автомобілів на підприємства автосервісу / Ю.Х. Савін, М.В. Митко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. Науковий журнал. Вінниця: ВНТУ, 2019. – Вип. 2 (143). – С. 99-104.

REFERENCES

1. Kanarchuk V.Ye., Kurnikov I.P. Production systems in transportation: textbook. – K.: Higher school, 1997. – 359 p.
2. Mytko M.V. Improving the efficiency of work at motor transport enterprises by enhancing the structure of production units: Dissertation for the degree of candidate of technical sciences: 05.22.20. Kyiv, 2019. – 251 p.
3. Savin Y. F. Determination of economic advisable distances of automobile delivery on autoservice enterprise / Y.F. Savin, M.V. Mytko // Visnyk of Vinnitsa Polytechnic Institute. Scientific journal. Vinnitsa: VNTU, 2019. – Issue 2 (143). – P. 99-104.

РЕФЕРАТ

Савін Ю.Х. Сучасні відстані при обслуговуванні та ремонті автомобілів за кооперацією на підприємствах автосервісу / Ю.Х. Савін, М.В. Митко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

У статті наведено методику визначення економічно доцільних відстаней доставки автомобілів на підприємства автосервісу. На підставі проведених досліджень визначено економічно доцільні відстані доставки для виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту автомобілів на підприємствах автосервісу на сучасному етапі. Вони враховують сучасну вартість паливо-мастильних матеріалів, яка склалася на АЗС України, та вартість нормо-години на підприємствах автосервісу.

Об'єкт дослідження – зміна економічно доцільних відстаней доставки автомобілів на підприємства автосервісу в сучасних умовах в залежності від вартості палива та вартості послуг з технічного обслуговування та ремонту автомобілів.

Метою роботи є визначення економічно доцільних відстаней доставки при обслуговуванні та ремонті автомобілів на підприємствах автосервісу в сучасних умовах.

Метод дослідження. Для досягнення поставленої мети в рамках виконаної роботи були використані наступні методи дослідження: аналіз процесів і явищ, математичне моделювання процесів, масове спостереження, статистична обробка даних результатів досліджень.

Перехід до регіональної інфраструктури виробництва з обслуговування та ремонту транспортних засобів, яка базується на принципах концентрації, спеціалізації та кооперування, дозволяє у багатьох випадках відмовитися від комплексних АТП, більш ефективно використовувати існуючий виробничий потенціал, створити необхідні умови для повного забезпечення потреб власників транспортних засобів у послугах з ТО і ремонту автомобілів.

Однак доцільність виконання робіт з ТО і ремонту автомобілів за кооперацією обмежується витратами, які пов'язані з доставкою автомобілів та ремонтного фонду на підприємства автосервісу. В сучасних умовах, внаслідок воєнного стану в країні, на економічно доцільні відстані доставки суттєвий вплив надає значне збільшення вартості палива та вартості нормо-години на підприємствах автосервісу.

Розроблено методику визначення економічно доцільних відстаней доставки автомобілів на підприємства автосервісу. Визначено для сучасних умов економічно доцільні відстані при виконанні робіт з ТО і ремонту автомобілів за кооперацією на підприємствах автосервісу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОМОБІЛІ, ДОЦІЛЬНІ ВІДСТАНІ ДОСТАВКИ; КООПЕРАЦІЯ, ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА, ПІДПРИЄМСТВА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ, ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТ.

ABSTRACT

Savin Y.H., Mytko M.V. Contemporary practices in servicing and repairing vehicles through cooperation at automotive service enterprises. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

The article presents a methodology for determining economically feasible distances for delivering vehicles to automotive service enterprises. Based on conducted research, economically feasible delivery distances have been determined for performing maintenance and repair work on vehicles at automotive service enterprises at the present stage. They take into account the current cost of fuel and lubricants, which has been established at fuel stations in Ukraine, as well as the hourly rate at automotive service enterprises.

The object of the research is the variation of economically feasible delivery distances for vehicles to automotive service enterprises in modern conditions, depending on the cost of fuel and the cost of technical maintenance and repair services for vehicles.

The aim of the study is to determine economically feasible delivery distances for servicing and repairing vehicles at automotive service enterprises in contemporary conditions.

Research Methodology. To achieve the stated objective within the framework of the conducted work, the following research methods were employed: analysis of processes and phenomena, mathematical modeling of processes, mass observation, statistical data processing of research results.

Transitioning to a regional production infrastructure for maintenance and repairing vehicles, based on principles of concentration, specialization, and cooperation, allows in many cases to abandon comprehensive automotive enterprises, more effectively utilize existing production potential, and create necessary conditions to fully meet the needs of vehicle owners in technical maintenance and repair services.

However, the feasibility of performing technical maintenance and repair work through cooperation is limited by expenses associated with the delivery of vehicles and repair assets to automotive service enterprises. In modern conditions, due to the state of war in the country, significant increases in the cost of fuel and the hourly rate at automotive service enterprises exert a considerable impact on economically feasible delivery distances.

A methodology has been developed for determining economically feasible delivery distances for vehicles to automotive service enterprises. Economically feasible distances have been determined for modern conditions when performing technical maintenance and repair work through cooperation at automotive service enterprises.

KEYWORDS: VEHICLES, ECONOMICALLY FEASIBLE DELIVERY DISTANCES; COOPERATION, PRODUCTION ORGANIZATION, AUTOMOTIVE ENTERPRISES, TECHNICAL MAINTENANCE AND REPAIR.

АВТОРИ:

Савін Юрій Хомич, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Технічна експлуатація автомобілів та автосервіс», e-mail: ghsavin@gmail.com, тел. +380962356861, Україна, 01010, м. Київ, вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, к. 410, orcid.org/0000-0003-4329-665X.

Митко Микола Васильович, кандидат технічних наук, Вінницький національний технічний університет, старший викладач кафедри «Автомобілі та транспортний менеджмент», e-mail: mytko_83@ukr.net, тел. +380969488191, Україна, 21021, м. Вінниця, вул. Політехнічна, 7, корпус №3, к. 3213, orcid.org/0000-0002-5484-0510.

AUTHOR:

Savin Yuri F., Ph.D., Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of department "Technical operation of cars and car services", e-mail: ghsavin@gmail.com, tel. +380962356861, Ukraine, 01010, m. Kyiv, str. Mikhail Omelyanovich-Pavlenko, 1, k. 410, orcid.org/0000-0003-4329-665X.

Mytko Mykola V., Ph.D., Vinnytsia National Technical University, Senior Lecturer of the department of "Cars and transport management", e-mail: mytko_83@ukr.net, tel. +380969488191, Ukraine, 21021, m. Vinnyts, str. Politekhnichna, 7, Building No. 3, k. 3213, orcid.org/0000-0002-5484-0510.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гутаревич Ю.Ф., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри «Двигуни і теплотехніка», Київ, Україна.

Макаров В.А., доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, професор кафедри «Автомобілі та транспортний менеджмент», Вінниця, Україна.

REVIEWER:

Gutarevych Y.F., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Professor of the department of "Engines and heat engineering", Kyiv, Ukraine.

Makarov V.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Vinnytsia National Technical University, Professor of the department of "Cars and transport management", Vinnytsa, Ukraine.

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ РОБОТИ ВОДІЇВ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ AVL-СИСТЕМ

Топольський Є.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, dreugent@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5587-3069

Сокульський О.Є., кандидат технічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна, mortimer@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3853-9928

METHODOLOGY FOR ASSESSING THE QUALITY OF THE WORK OF MOTOR VEHICLE DRIVERS USING AVL SYSTEMS

Topolskov Y.O., PhD, National Transport University, Kiev, Ukraine, dreugent@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5587-3069

Sokulskyi O.E., Ph.D. National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" Kyiv, Ukraine, mortimer@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3853-9928

Актуальність напрямку досліджень та постановка проблеми

Загально відомо, що оцінка якості роботи та кваліфікації водія є актуальною проблемою, що займає чинне місце поряд з питаннями раціональної організації перевезень і у певній мірі їх доповнює. Досить тільки згадати, що навіть висококваліфіковані водії є частими винуватцями ДТП і різноманітних порушень правил дорожнього руху. Саме необачність і недисциплінованість водіїв зазвичай призводять до зниження продуктивності роботи АТЗ, паливної економічності і екологічності, а також стають причинами аварій на дорогах [1-3]. Зараз, коли відбувається перенасичення автомобільним транспортом міст і передмість, ускладнюються умови дорожнього руху, це питання набуває ще більшої актуальності.

Мета дослідження

Досліджуючи цю проблему стає зрозумілим, що зараз не існує єдиної методики, яка б давала всебічну оцінку якості роботи водія. У більшості випадків якість роботи водія оцінюється безпекою руху, продуктивністю та економічністю [4-7]. Дехто пропонує часткові показники такі як: безпомилковість роботи, своєчасність її виконання, комфортабельність, паливна економічність, екологічність тощо. Метою досліджень має бути не тільки формулювання критеріїв всебічної оцінки якості роботи водія, а ще й розробка зручної для практичного застосування методики оцінювання, яку можна було б реалізувати на базі сучасних автоматизованих систем управління наземним транспортом класу AVL [8].

Обґрунтування критеріїв якості і факторів, що на них впливають

З самого початку перевізний процес знаходиться під випадковим впливом людського фактору, який визначається набором індивідуальних професійних та психологічних якостей водія [2,3]. Саме від цього складного чинника у значній мірі залежить безпомилковість роботи, яка характеризується порушеннями правил дорожнього руху (ПДР), участю у ДТП, повнотою та якістю виконання запланованих виробничих завдань. Теоретично дуже складно формалізувати і спрогнозувати вплив людського фактору, тому на практиці вдаються лише до аналізу його наслідків – визначення фактичних втрат від ДТП та аварій, зниження продуктивності, зростання собівартості, несвоєчасності доставки тощо. Аналізуючи ці показники і визначаючи їх відхилення від запланованих значень, можна у певній мірі судити про кваліфікацію та якість роботи конкретного водія.

З урахуванням вищесказаного пропонується розглядати якість роботи водія АТЗ у комплексі з економічним аспектом та безпекою дорожнього руху (БДР).

Згідно наведеної схеми (рис.1) економічний аспект охоплює основні показники ефективності транспортного процесу [4] такі як:

- *продуктивність* P – обсяг виконаної транспортної роботи в одиницю часу, $т/год$ ($ткм/год$);
 - *собівартість* S – вартість одиниці виконаної транспортної роботи, $грн/т$ ($грн/ткм$);
 - *своєчасність доставки вантажу* $T [τ]$,
- де T – час доставки вантажу;
 $τ$ – припустимий час доставки вантажу;

БДР передбачає визначення таких показників як:

- кількість зафіксованих порушень ПДР ($N_{ПДР}$);
- кількість ДТП ($N_{ДТП}$);
- визначення стилю керування АТЗ (плавна їзда накатом, часті різкі розгони і гальмування, входження у повороти на великій швидкості тощо).

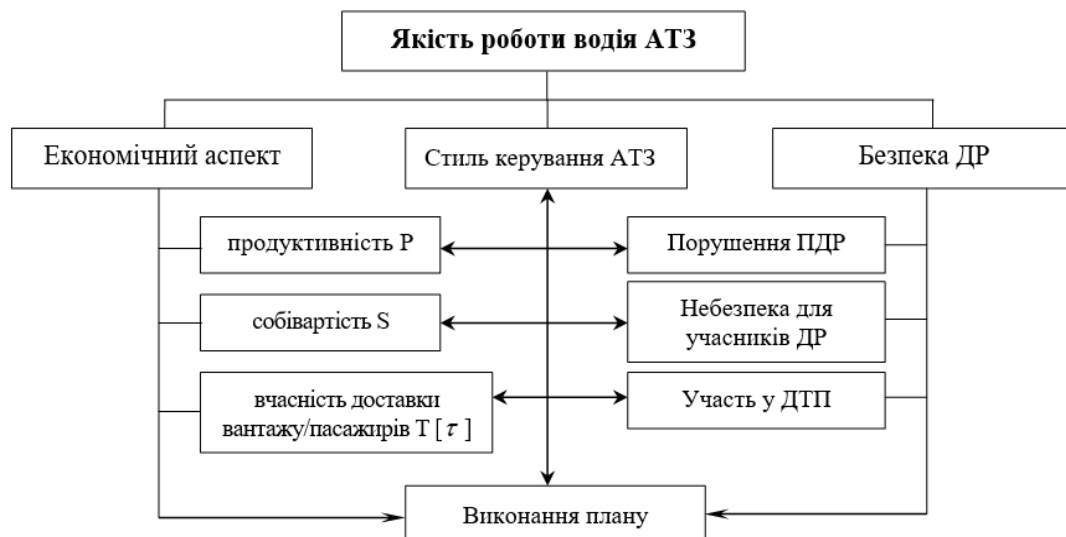


Рисунок 1 – До критеріїв оцінювання якості роботи водія АТЗ

Figure 1 – To the criteria for evaluating the quality of work of a motor vehicle driver

Відповідно перерахованим показникам якість роботи водія повинна на практиці оцінюватися за такими критеріями:

- *критерій продуктивності* (K_p), що визначається відношенням обсягу фактично виконаної транспортної роботи (P_f) до її запланованого обсягу (P_p):

$$K_p = \frac{P_f}{P_p} \geq 1 \quad (1)$$

- *критерій економічності* (K_s), що визначається відношенням фактичного значення собівартості (S_f) до її запланованого значення (S_p):

$$K_s = \frac{S_f}{S_p} \leq 1 \quad (2)$$

- *критерій вчасності* (K_t), що визначається відношенням фактичної тривалості доставки вантажу/пасажирів (T_f) до припустимої (T_n):

$$K_t = \frac{T_f}{T_n} \rightarrow 1 \quad (3)$$

Треба зауважити, що вчасність доставки вантажу (пасажирів) також доцільно оцінювати за логістичною концепцією «точно у термін». Методика проведення такої оцінки висвітлена авторами в одній з попередніх публікацій [9].

- *комплексний критерій дорожньої дисципліни* (K_{dd}), що вказує на зафіксовані порушення ПДР, участь у ДТП, а також враховує стиль керування транспортним засобом:

$$K_{dd} = N_{дтп} \cdot k_{дтп} + N_{пдр} \cdot k_{пдр} + S_{тз}, \quad (4)$$

де $k_{дтп}$ – коефіцієнт, що враховує участь у ДТП різного ступеню тяжкості.

$k_{пдр}$ – коефіцієнт, що враховує порушення ПДР різного ступеню серйозності.

$S_{тз}$ – коефіцієнт, що враховує стиль керування транспортним засобом і залежить від ступеня перевищення рекомендованого швидкісного режиму руху АТЗ (дисперсії динамічних показників АТЗ) у конкретних дорожніх умовах.

Аналіз факторів, які впливають на зазначені критерії показав, що визначальним серед них є швидкісний режим руху, який обирається водієм АТЗ і характеризується:

- миттєвим значенням швидкостей V ;
- середньою технічною швидкістю V_T ;
- миттєвим прискоренням a та сповільненням j ;
- параметрами розподілу швидкостей, прискорень і сповільнень у часі (тобто їх дисперсіями D і середньоквадратичними відхиленнями y).

Методика статистичної обробки параметрів, що характеризують швидкісний режим руху АТЗ

Для отримання показників, що характеризують швидкісний режим руху АТЗ, потрібно збирати статистичні дані протягом усього часу роботи водія на лінії. Звичайно цей процес вимагає автоматизації збору, збереження і обробки інформації, що може бути досить легко реалізовано в рамках сучасних автоматизованих систем супутникового моніторингу і диспетчерського управління транспортом класу AVL [8] з використанням приймачів глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS) і датчиків прискорення АТЗ [10]. Такий варіант супутниково-інерціальної системи моніторингу (рис.2) забезпечує надійний збір даних навіть в умовах недостатньої видимості навігаційних супутників, зокрема при експлуатації автомобілів у містах з висотною забудовою.

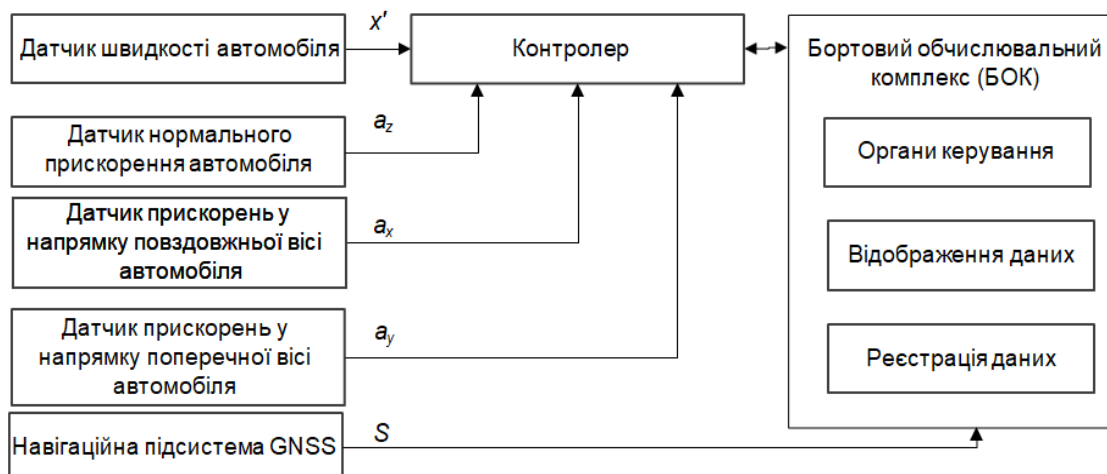


Рисунок 2 – Схема збору даних у навігаційній системі АТЗ, що використовує інерціальні датчики у комплексі з приймачем GNSS

Figure 2 – Data collection scheme in a vehicle navigation system using inertial sensors in combination with a GNSS receiver

Зібрані статистичні дані є набором значень швидкості $V_1, V_2, \dots, V_n$ протягом встановленого інтервалу часу $t_1, t_2, \dots, t_n$. На основі цих даних можливо отримати закон розподілу величини V_i у часі, який відповідає нормальному закону із щільністю розподілу [11]:

$$f(V_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_v}} \exp \left\{ -\frac{(V_i - m_v)^2}{2\sigma_v^2} \right\}, \quad (5)$$

де m_v – середнє значення швидкості V_i ;

σ_v^2 – дисперсія.

Якщо m_v і σ_v^2 є незсунутими з мінімальною дисперсією оцінки математичного очікування m_v і дисперсії σ_v^2 по виборці із генеральної сукупності, що підкоряється розподілу імовірностей, то отримаємо:

$$m_v = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n V_i \cdot t_i, \quad (6)$$

де V_i – значення швидкості, що зафіксована на інтервалі часу t_i ;

n – кількість інтервалів часу;

T – загальний час.

$$T = \sum_{i=1}^n t_i$$

$$\sigma_v^2 = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (V_i - m_v)^2 t_i \quad (7)$$

Отже, обробивши зібрані статистичні дані за формулами (6) і (7), отримаємо значення середньої швидкості автомобіля m_v протягом часу T , а також визначимо ступінь нерівномірності руху за дисперсією σ_v^2 .

Окрім швидкості досить важливими показниками швидкісного режиму є статистичні характеристики прискорення a_i при розгоні та сповільнення j_i при гальмуванні АТЗ.

Статистичні характеристики цих параметрів знаходяться аналогічно. Розраховуються значення прискорень $a_1, a_2, \dots, a_n$ і значення сповільнень $j_1, j_2, \dots, j_n$ на протязі інтервалів часу $t_1, t_2, \dots, t_n$:

$$a_i = \frac{\Delta V_i}{t_i}, \quad (8)$$

$$\Delta V_i = V_{i+1} - V_i$$

Оскільки величина ΔV_i вважається постійною на інтервалі t_i і $\Delta V_i = C_i$ (C_i – точність вимірювального пристрою), то можна записати:

$$a_i = \frac{C_i}{t_i} \quad (9)$$

Так само визначається сповільнення j_i на інтервалі t_i :

$$j_i = \frac{-C}{t_i} \quad (10)$$

Маючи значення прискорень a_i і сповільнень j_i в інтервалах часу t_i , можна, як у випадку зі швидкістю, отримати статистичні показники прискорень.

Середнє прискорення при розгоні:

$$m_a = \frac{1}{T_p} \sum_{i=1}^n a_i \cdot t_i, \quad (11)$$

де T_p – час розгону ($T_p = \sum_{i=1}^n t_i$).

З урахуванням формули (9) запишемо:

$$m_a = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{T_p} \quad (12)$$

Аналогічно запишемо для сповільнення:

$$m_j = \frac{\sum_{i=1}^n -C_i}{T_c}, \quad (13)$$

де T_c – час сповільнення ($T_c = \sum_{i=1}^n t_i$)

Знайдемо дисперсію прискорення σ_a^2 і сповільнення σ_j^2 , що будуть характеризувати стиль їзди водія (плавність розгону і гальмування):

$$\sigma_a^2 = \frac{1}{T_p} \sum_{i=1}^n (a_i - m_a)^2 t_i \quad (14)$$

$$\sigma_j^2 = \frac{1}{T_c} \sum_{i=1}^n (j_i - m_j)^2 t_i \quad (15)$$

Маючи фактичні значення показників $V_i, a_i, j_i, m_v, m_a, m_j, \sigma_v^2, \sigma_a^2, \sigma_j^2$, що характеризують швидкісний режим руху АТЗ протягом часу T , а також враховуючи інформацію про порушення ПДР і участь у ДТП, що міститься у базі даних АТП, можна оцінити якість роботи водія з обох сторін – економічної та БДР, і врешті сформулювати узагальнену оцінку рівня його кваліфікації [12].

Також доцільно використовувати оцінюючі показники, що характеризують успішність роботи водіїв і ступінь досягнення ними поставленої мети. Якщо мета управління автомобілем задана у вигляді нормативного руху із середньою швидкістю, то оцінюючий показник приймається рівним різниці нормативної ($\bar{V}_n$) і досягнутої швидкості ($\bar{V}$):

$$\Delta V = \bar{V}_n - \bar{V} \quad (16)$$

З метою контролю безпеки дорожнього руху і забезпечення необхідного рівня ефективності транспортного процесу доцільно оцінювати відхилення фактично досягнутої швидкості відносно трьох її нормативних значень (оптимального (V_n), мінімально ($V_{\min}$) і максимально припустимого ($V_{\max}$)):

$$\Delta V_i^c = \left\{ \begin{array}{ll} V_{\min} - V_i, & V_i < V_{\min} \\ V_n - V_{\min}, & V_i = V_{\min} \\ V_n - V_i, & V_i < V_n \\ 0, & V_i = V_n \\ V_i - V_n, & V_i > V_n \\ V_{\max} - V_n, & V_i = V_{\max} \\ V_i - V_{\max}, & V_i > V_{\max} \end{array} \right\} \quad (17)$$

Також слід звернути увагу на таку характеристику швидкісного режиму як дисперсія, що свідчить про рівномірність руху, яка у свою чергу впливає на знос АТЗ та рівень БДР. Оцінюючий показник по дисперсії швидкості приймається рівним різниці нормативної (σ_{vn}^2) і досягнутої дисперсії швидкості (σ_v^2):

$$\Delta\sigma_v^2 = \sigma_{vn}^2 - \sigma_v^2 \quad (18)$$

Аналогічним чином оцінюються прискорення при розгоні та сповільнення при гальмуванні, значення яких мають бути використані для оцінки стилю керування транспортним засобом з використанням коефіцієнту $S_{TЗ}$ з формули (4):

$$S_{TЗ} = \Delta\sigma_v^2 \times k_v + \Delta\sigma_a^2 \times k_a + \Delta\sigma_j^2 \times k_j, \quad (19)$$

де k_v, k_a, k_j – вагові коефіцієнти до відповідних дисперсій швидкостей, прискорень та сповільнень транспортного засобу.

Рекомендації щодо практичної реалізації запропонованої методики

Для реалізації запропонованого підходу потрібно розробити ряд математичних моделей, які будуть базуватися на розглянутих вище критеріях і дозволять оцінювати не тільки якість роботи водія, а й забезпечать визначення фактичних значень показників ефективності, надійності та економічності перевезень з метою подальшого їх порівняння із запланованими значеннями. У перспективі це дозволить визначати залежність економічних втрат (прибутків) підприємств транспорту від рівня кваліфікації водіїв АТЗ, що буде особливо доцільним для організацій з численним парком транспортних засобів, де бракує об'єктивності контролю.

Важливим питанням, що повинно бути вирішено при оцінці якості роботи водія АТЗ, є об'єктивне визначення дорожньо-транспортної обстановки. Оскільки умови роботи водія можуть бути самими різноманітними та суттєво впливати на вибір швидкісного режиму руху АТЗ, тому їх обов'язково потрібно враховувати шляхом введення у модель відповідних вагових коефіцієнтів, а також використовувати адекватні ймовірнісно-статистичні моделі. Збір інформації у режимі реального часу, накопичення і обробка статистичної вибірки повинні виконуватись апаратно-програмними засобами автоматизованих систем моніторингу і диспетчерського управління наземним транспортом [8,10], що використовують прогресивні інформаційні технології – супутникові навігаційні й телекомунікаційні системи, наземні мережі мобільного зв'язку і сучасні засоби обробки і збереження інформації (рис.3).



Рисунок 3 – Узагальнена структурна схема AVL-системи
Figure 3 – A generalized structural scheme of the AVL system

Використання цих технологій відкриває широкі можливості для подальшого удосконалення методики оцінки якості роботи водія та виводить логістичне управління перевезеннями на більш високий рівень.

В якості бази для практичної реалізації розробленої методики можна розглянути такі відомі європейські платформи супутникового моніторингу як Wialon та WebEye [12], які вже мають спеціальні програмні застосунки для контролю якості роботи водіїв АТЗ. Запропонована методика може стати доповненням до існуючих програмних розробок та в певній мірі підвищить точність та об'єктивність оцінювання якості роботи водіїв.

Наступним етапом після об'єктивної оцінки кваліфікації водіїв є впровадження заходів для подальшого підвищення якості їх роботи, що насамперед передбачає вирішення оптимізаційної задачі. Задача оптимізації якості роботи водія за розглянутими вище критеріями є “конфліктною” так як передбачає максимізацію виконання плану за економічними критеріями (1), (2), (3) з одночасною мінімізацією по критеріях, що характеризують БДР (4) і (17).

$$\left\{ \begin{array}{l} (K_p + K_s + K_t) \xrightarrow{V_i \rightarrow V_{\max}} \rightarrow \max \\ K_{dd} \xrightarrow{V_i \rightarrow V_n} \rightarrow \min \\ V_{\min} \leq V_i \leq V_{\max} \end{array} \right. \quad (20)$$

Висновки

Можна припустити, що деякі водії, працюючи на лінії будуть обирати такий швидкісний режим руху, який дозволить їм успішно виконувати план, але при цьому буде знижувати БДР. У такому випадку основним заходом, що сприятиме вирішенню оптимізаційної задачі є зважений підхід до встановлення планових економічних показників з урахуванням фактичних умов роботи АТЗ або, як вже зазначалось, виходячи з ймовірно-статистичних характеристик цих умов. Іншими словами, потрібно так планувати економічні показники перевезень, щоб водій АТЗ міг у достатній мірі їх забезпечувати і при цьому не вдаватись до порушень ПДР, “екстремального” керування АТЗ, що може призвести до ДТП. Крім того, водій повинен усвідомлювати, що його робота знаходиться під постійним контролем і кожна помилка, будь-то суттєве відхилення від запланованого маршруту руху, перевищення швидкості або неадекватна поведінка на дорозі, буде автоматично зафіксована системою і в результаті стане відомою керівництву підприємства.

Отже, запропонований підхід дозволить суттєво знизити вплив людського фактору на ефективність перевезень і сприятиме підвищенню безпеки дорожнього руху.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Іовлев В.Д. Професійна етика та культура водіння: Навчальний посібник. Луцьк: Вид. “Твердиня”, 2008. 48 с.
2. Кабанцева А.В. Значення психічного здоров'я водія для безпеки дорожнього руху/ Медична психологія, 2016, №3, С.48-51.
3. Лях М.А., Дем'янюк О.С., Бешун О.А. Основи керування автомобілем та безпека дорожнього руху: Навч. посібник для ВНЗ – К.: ВІКНУ, 2011 – 368 с.
4. Давідіч Ю. О. Конспект лекцій з дисципліни «Ефективність транспорту» (для магістрів усіх форм навчання спеціальності 275 – Транспортні технології) / Ю. О. Давідіч, Г. І. Фалецька, М. В. Ольхова; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 74 с.
5. Кухарчук О.П., Шумляківський В.П., Титаренко В.Є. Фактор людини у питанні підвищення ефективності експлуатації міського громадського транспорту / Державний університет «Житомирська політехніка» DOI: [https://doi.org/10.26642/tn-2019-1\(83\)-18-24](https://doi.org/10.26642/tn-2019-1(83)-18-24)
6. Md Rohani M. Bus Driving Behaviour and Fuel Consumption: thesis for the degree of Doctor of Philosophy / M. Md Rohani. – Southampton. – 2012. – P. 116–136.

7. Потреба в технологіях еко-водіння у міському громадському транспорті, Луцький національний технічний університет 43018, Україна, м. Луцьк, вул. Львівська, 75 © І. Слатов, І. Мурований, 2023 <https://doi.org/10.23939/tt2023.01.073> (англійською).
8. Баранов Г.Л. Диспетчерські системи класу AVL по управлінню перевезеннями із застосуванням супутникових технологій / Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів. Застосування супутникових технологій у транспортній галузі. – К.: НТУ, ТАУ. – 2002. – С.18 – 23.
9. Беляєвський Л.С., Топольськов Є.О. Застосування сучасних навігаційно-телекомунікаційних технологій та моделей оцінки надійності функціонування логістичної системи за концепцією «Just in time» / Вісник Центрального наукового центру ТАУ. – К.: 2009. – Вип. 12.– С.113-116.
10. Топольськов Є.О. Удосконалення бортових навігаційних комплексів автотransпортних засобів з використанням інерціальних датчиків та імовірісно-геометричних методів обробки інформації / Л.С. Беляєвський, Г.Л. Баранов, А.А. Сердюк, Є.О. Топольськов // Науково-технічний збірник «Інформаційні системи, механіка та керування» НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – К., 2019. – Вип. 21. – С. 135-147.
11. Веригіна І. В., Островська О. В., Сугакова О. В. Теорія ймовірностей та математична статистика лекції і практикум: Навч. Посібник. [Електронне мережне навчальне видання] – К.: НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022 – 254 с.
12. Програмні застосунки для оцінки якості роботи водіїв у AVL-системах моніторингу автотransпорту. [Електронний ресурс]: <https://wialon.com/en/eco-driving>, <https://www.webeye.eu/ua-ua/rishennya/upravlinnya-vodiyami> (дата звернення: 25.03.2024).

REFERENCES

1. Iovliev V.D. Profesiina etyka ta kultura vodinnia: Navchalnyi posibnyk. Lutsk: Vyd. "Tverdynia", 2008. 48 s.
2. Kabantseva A.V. Znachennia psykhichnoho zdorovia vodiia dlia bezpeky dorozhnoho rukhu/ Medychna psykholohiia, 2016, №3, S.48-51.
3. Liakh M.A., Demianiuk O.S., Beshun O.A. Osnovy keruvannia avtomobilem ta bezpeka dorozhnoho rukhu: Navch. posibnyk dlia VNZ – K.: VIKNU, 2011 – 368 s.
4. Davidich Yu. O. Konspekt lektsii z dystsypliny «Efektyvnist transportu» (dlia mahistriv usikh form navchannia spetsialnosti 275 – Transportni tekhnolohii) / Yu. O. Davidich, H. I. Faletska, M. V. Olkhova; Kharkiv. nats. un-t misk. hosp-va im. O. M. Beketova. – Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova, 2019. – 74 s.
5. Kukharchuk O.P., Shumliakivskyi V.P., Tytarenko V.Ie. Faktor liudyny u pytanni pidvyshchennia efektyvnosti ekspluatatsii miskoho hromadskoho transportu / Derzhavnyi universytet «Zhytomyrska politehnika» DOI: [https://doi.org/10.26642/tn-2019-1\(83\)-18-24](https://doi.org/10.26642/tn-2019-1(83)-18-24)
6. Md Rohani M. Bus Driving Behaviour and Fuel Consumption: thesis for the degree of Doctor of Philosophy / M. Md Rohani. – Southampton. – 2012. – P. 116–136.
7. Potreba v tekhnolohiiakh eko-vodinnia u miskomu hromadskomu transporti, Lutskyi natsionalnyi tekhnichniy universytet 43018, Ukraina, m. Lutsk, vul. Lvivska, 75 © I. Slatov, I. Murovani, 2023 <https://doi.org/10.23939/tt2023.01.073> (anhliiskoiu).
8. Baranov H.L. Dyspetcherski systemy klasu AVL po upravlinniu perevezenniamy iz zastosuvanniam suputnykovykh tekhnolohii / Systemni metody keruvannia, tekhnolohiia ta orhanizatsiia vyrobnytstva, remontu i ekspluatatsii avtomobiliv. Zastosuvannia suputnykovykh tekhnolohii u transportnii haluzi. – K.: NTU, TAU. – 2002. – S.18 – 23.
9. Bieliaievskyi L.S., Topolskov Ye.O. Zastosuvannia suchasnykh navihatsiino-telekomunikatsiinykh tekhnolohii ta modelei otsinky nadiinosti funktsionuvannia lohistychnoi systemy za kontseptsiiieu «Just in time» \ Visnyk Tsentralnogo naukovoho tsentru TAU. – K.: 2009. – Vyp. 12.– S.113-116.
10. Topolskov Ye.O. Udoskonalennia bortovykh navihatsiinykh kompleksiv avtotransportnykh zasobiv z vykorystanniam inertsiialnykh datchykyv ta imovirnisno-heometrychnykh metodiv obrobky informatsii / L.S. Bieliaievskyi, H.L. Baranov, A.A. Serdiuk, Ye.O. Topolskov // Naukovo-tekhnichniy

zbirnyk «Informatsiini systemy, mekhanika ta keruvannia» NTUU «Kyivskiy politekhnichnyi instytut imeni Ihoria Sikorskoho». – K., 2019. – Vyp. 21. – S. 135-147.

11. Veryhina I. V., Ostrovska O. V., Suhakova O. V. Teoriia ymovirnostei ta matematychna statystyka leksii i praktykum: Navch. Posibnyk. [Elektronne merezhne navchalne vydannia] – K.: NTUU KPI im. Ihoria Sikorskoho, 2022 – 254 c.

12. Prohramni zastosunkyy dlia otsinky yakosti roboty vodiiv u AVL-systemakh monitorynhu avtotransportu. [Elektronnyi resurs]: <https://wialon.com/en/eco-driving>, <https://www.webeye.eu/ua-ua/rishennya/upravlinnya-vodiyami> (data zvernennia: 25.03.2024).

РЕФЕРАТ

Топольськов Є.О. Методика оцінювання якості роботи водіїв автотранспортних засобів з використанням AVL-систем / Є.О. Топольськов, О.Є. Сокульський // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

Об'єкт дослідження – процеси моніторингу та критерії оцінювання якості роботи водіїв автотранспортних засобів.

Мета роботи – обґрунтування методики оцінювання якості водіїв автотранспортних засобів з використанням сучасних технологій моніторингу та методів статистичної обробки даних.

У дослідженні використаний комплексний метод аналізу та синтезу на основі обрання основних критеріїв якості та відповідних параметрів для проведення статистичної обробки інформації й формування математичних моделей оцінки ефективності та безпеки перевезень.

У статті висвітлюється актуальна проблема оцінювання кваліфікації та якості роботи водіїв автотранспортних засобів і аналізуються різні підходи до її вирішення. Обґрунтовуються найбільш важливі критерії для оцінювання кваліфікації і проведення поточного контролю якості роботи водіїв. Обирається в якості основного фактору, що впливає на показники якості роботи водія, швидкісний режим руху автотранспортного засобу і пропонується методика статистичної обробки значень його основних параметрів, що вимірюються бортовими датчиками швидкості та прискорення автомобіля у комплексі з приймачем сигналів глобальних навігаційних супутникових систем.

На завершення надаються рекомендації щодо розробки моделей оцінки ефективності та безпеки перевезень при зміні швидкісного режиму руху з урахуванням розглянутих критеріїв, а також пропонується реалізація розробленої методики з використанням апаратно-програмних засобів існуючих систем супутникового моніторингу автотранспорту.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА БЕЗПЕКА ПЕРЕВЕЗЕНЬ, ЯКІСТЬ РОБОТИ ВОДІЯ, КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ, ШВИДКІСНИЙ РЕЖИМ РУХУ, МОНІТОРИНГ АВТОТРАНСПОРТУ, AVL-СИСТЕМА, ДАТЧИКИ ПРИСКОРЕННЯ, СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ.

ABSTRACT

Topolskov Y.O., Sokulskyi O.E. Methodology for assessing the quality of the work of motor vehicle drivers using AVL systems. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

The object of the research is monitoring processes and criteria for assessing the quality of work of motor vehicle drivers.

The purpose of the work is to substantiate the methodology for assessing the quality of motor vehicle drivers using modern monitoring technologies and methods of statistical data processing.

The research uses a complex method of analysis and synthesis based on the selection of the main quality criteria and relevant parameters for statistical processing of information and the formation of mathematical models for evaluating the efficiency and safety of transportation.

The article highlights the actual problem of evaluating the qualifications and work quality of motor vehicle drivers and analyzes various approaches to its solution. The most important criteria for evaluating the qualifications and conducting current control of the quality of the work of drivers are substantiated. The driver's work quality, the speed mode of the motor vehicle is chosen as the main factor affecting the indicators, and a method of statistical processing of the values of its main parameters, measured by the on-

board speed and acceleration sensors of the car in combination with the receiver of signals of global navigation satellite systems, is proposed.

At the end, recommendations are provided for the development of models for evaluating the efficiency and safety of transportation when changing the speed mode of traffic, taking into account the considered criteria, and also the implementation of the developed methodology using the hardware and software of existing systems of satellite monitoring of motor vehicles is proposed.

KEY WORDS: EFFICIENCY AND SAFETY OF TRANSPORTATION, QUALITY OF DRIVER'S WORK, EVALUATION CRITERIA, HIGH-SPEED TRAFFIC MODE, MONITORING OF AUTOMOBILE TRANSPORT, AVL SYSTEM, ACCELERATION SENSORS, STATISTICAL INFORMATION PROCESSING.

АВТОРИ:

Топольськов Євгеній Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри інформаційних систем і технологій, e-mail: dreugent@gmail.com, тел.: +380442807066, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 347а, orcid.org/0000-0001-5587-3069.

Сокульський Олег Євгенович, кандидат технічних наук, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», доцент кафедри інформаційних систем та технологій, e-mail: mortimer@ukr.net, тел. +380634277709, Україна, 03056, м. Київ, проспект Перемоги, 37, orcid.org /0000-0003-3853-9928

AUTHORS:

Topolskov Y.O., Ph.D., Associate Professor, National Transport University, Associate Professor of the Department of information systems and technologies, e-mail: dreugent@gmail.com, tel.: +380442807066, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovych-Pavlenko Str., 1, of. 347a, orcid.org/0000-0001-5587-3069.

Sokulskyi O.E. , Ph.D. National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies, e-mail: mortimer@ukr.net, tel. +380634277709, Ukraine, 03056, pr. Peremohy, 37, orcid.org/0000-0003-3853-9928

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Баранов Г.Л., доктор тех. наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри інформаційних систем і технологій факультету транспортних та інформаційних технологій, Київ, Україна.

Івохін Є.В., доктор фіз.-мат. наук, професор, Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, професор кафедри системного аналізу та теорії прийняття рішень факультету комп'ютерних наук та кібернетики, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Baranov G.L., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Professor of the Department of information systems and technologies, Kyiv, Ukraine.

Ivohin E.V., Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Taras Shevchenko National university of Kyiv, Professor of the Department of systems analysis and decision theory, Faculty of computer science and cybernetics, Kyiv, Ukraine.

ОСОБЛИВОСТІ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РУХУ МАРШРУТНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

Трушевський В.Е., кандидат технічних наук, Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Україна, aspirerzp@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-5966-259X

Райда І.М., Національний університет «Запорізька політехніка», Запоріжжя, Україна, raydaim.base@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3925-4692

FEATURES OF DESIGNING TRAFFIC LIGHTS FOR PUBLIC TRANSPORT

Trushevskiy Vjacheslav, Ph. D., National University Zaporizhzhia Polytechnic, Zaporizhzhia, Ukraine, aspirerzp@gmail.com, orcid.org/ 0000-0002-5966-259X

Raida I.M., National University Zaporizhzhia Polytechnic, Zaporizhzhia, Ukraine, raydaim.base@gmail.com, orcid.org/0000-0003-3925-4692

Постановка проблеми.

На сучасному етапі розвитку урбаністики маршрутному транспорту загального користування разом із транспортними засобами індивідуальної мобільності відводиться ключова роль у вирішенні проблеми перевантаження вулично-дорожньої мережі автомобільним транспортом [1, 2]. Рух маршрутних транспортних засобів виконується територією населеного пункту, в тому числі й центральною його частиною, яка для великих міст характеризується високою щільністю світлофорних об'єктів, великою кількістю перехресть та пішохідних переходів. При цьому маршрутні транспортні засоби мають значні габаритні розміри та меншу маневреність, що додатково ускладнює їх рух вулично-дорожньою мережею.

У сукупності зазначені вище особливості призводять до серйозних економічних втрат при нестабільному режимі руху транспортного потоку, якому притаманні часті розгони, гальмування та зупинки транспорту. Причинами цього виступають порівняно висока вартість експлуатації маршрутних транспортних засобів загального користування та значна загальна вартість втраченого часу пасажирів при здійсненні поїздки, що одночасно знаходяться в транспортному засобі. В таких умовах доцільним є широке застосування оперативних заходів організації дорожнього руху, спрямованих на забезпечення пріоритету для пропуску маршрутних транспортних засобів загального користування з метою якнайбільшої мінімізації зазначених вище показників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Забезпеченню пріоритетності руху маршрутних транспортних засобів загального користування приділяється велика увага у багатьох літературних джерелах [3-5]. В роботі [6] пропонується певний алгоритм забезпечення просторово-часового пріоритету на регульованих перехрестях для маршрутних транспортних засобів на прикладі автобусів.

Весь набір оперативних заходів організації дорожнього руху на регульованих перехрестях, спрямованих на збільшення ефективності експлуатації маршрутних транспортних засобів громадського користування, прийнято поділяти на дві групи: заходи із активного забезпечення пріоритету та пасивного забезпечення пріоритету [7]. До пасивних заходів відносять виділення фази світлофорного регулювання у жорсткій програмі для пропуску маршрутних транспортних засобів, введення смуг руху для громадського транспорту, застосування так званих «шлюзів» для забезпечення першочергового виїзду маршрутних транспортних засобів до стоп-ліній регульованих перехресть, призначення головної дороги в напрямі руху маршрутного транспорту [8]

Активний пріоритет вимагає наявності в зоні перехрестя та на під'їздах до нього чутливих елементів – детекторів, що реагують на наближення маршрутного транспорту загального користування та, отримавши такий сигнал, передають його до дорожнього контролера. Дорожній контролер на основі отриманого сигналу проводить локальну корекцію параметрів та режиму світлофорного регулювання, забезпечуючи збільшення тривалості дозволяючого сигналу за напрямками регулювання, до яких входить траєкторія руху маршрутного транспортного засобу.

Застосування такої технології обмежується близькістю зупинок маршрутних транспортних засобів до стоп-ліній перехресть, обладнаних системою активного пріоритету. В таких випадках через нестачу часу автоматика не встигає викликати саме ту фазу регулювання, що є сприятливою для руху маршрутного транспортного засобу.

Також актуальною є проблема визначення подальшого напрямку руху маршрутного транспортного засобу, що наближається до перехрестя, де діє система світлофорного регулювання з активним пріоритетом для транспортних засобів громадського користування.

У випадку, якщо маршрути транспортних засобів на самому перехресті розділюються за подальшими напрямками руху, то для визначення найбільш сприятливої фази регулювання необхідна додаткова інформація щодо напрямку подальшого руху маршрутного транспортного засобу. Для розв'язання цієї проблеми застосовується маркування транспортних засобів загального користування, яке дозволяє додатковим відеодетекторам встановити маршрут їх подальшого руху [9], або підключення системи пріоритетного пропуску до даних GPS-трекінгу, аби створити можливість визначити який саме транспортний засіб проїздить наразі повз детектор і до якого маршруту руху він належить [10].

Якщо йдеться про тролейбуси або трамваї, то у джерелах [11, 12] запропоновано оригінальні датчики, які дозволяють визначити напрям подальшого руху тролейбуса чи трамвая. Принцип їх дії базується на використанні електричних сигналів, що супроводжують переведення розхідних стрілок тролейбусів чи трамваїв за умови автоматизації цього процесу.

В описаних вище випадках, коли напрями подальшого руху маршрутних транспортних засобів, що підійшли до перехрестя з одного під'їзду, є різними та на цьому перехресті діє система активного пріоритетного пропуску, набуває важливості рівень інформаційного забезпечення водіїв маршрутних транспортних засобів. Додаткова інформація про дозволені в даний час напрями руху і застосування по них пріоритету із забезпеченням повної відсутності конфліктів з іншими транспортними засобами та пішоходами могла б значно спростити роботу водія та підвищити загальну безпеку руху маршрутного транспортного засобу.

Формування цілей статті.

Основною метою дослідження є запропонування усунення описаних вище недоліків й підвищення якості надання активного пріоритету руху маршрутному пасажирському транспорту на регульованих перехрестях шляхом використання транспортних світлофорів типу 5.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Згідно з [13] транспортні світлофори типу 5 застосовуються для регулювання безконфліктним рухом маршрутних тролейбусів та автобусів за наявності спеціальної виділеної смуги для їхнього руху, а також для регулювання безконфліктного руху трамваїв. Основна умова використання – безконфліктність. Розглянемо декілька практичних прикладів використання транспортного світлофору типу 5.1 з метою поліпшення умов руху маршрутних транспортних засобів та підвищення його безпеки.

На перехресті вулиць Жаботинського та Яценка м. Запоріжжя застосовується транспортні світлофори типу 1.6 та 1.9 (рис. 1). На під'їзді по вулиці Яценка від вулиці Козачої рух нерейкових транспортних засобів дозволяється лише праворуч, оскільки на цьому перехресті для уникнення небезпечних конфліктних точок лівоповоротних траєкторій нерейкових транспортних засобів з прямими траєкторіями руху трамваїв реалізовано віднесений лівий поворот. Окрім нерейкових транспортних засобів, по вулиці Яценка від вулиці Козачої по окремому полотну до перехрестям під'їжджають також і трамваї. Для проїзду перехрестям трамваї та нерейкові транспортні засоби керуються одним і тим самим світлофором типу 1.6. Основний світлофор при цьому розташований перед перехрестям праворуч від проїзної частини, на щоглі освітлення, а дублюючі світлофори розташовані за перехрестям. Таким чином, основний сигнал зеленого кольору світлофора 1.6 (напрямок 7) дозволяє рух прямо лише для трамвая.

Таке розташування транспортного світлофору типу 1.6 є незручним для водія трамвая, оскільки йому потрібно спрямувати свій погляд вбік через чотири смуги руху. Водіїв нерейкових транспортних засобів дозволяючий сигнал основної секції з контурною стрілкою прямо взагалі вводить в оману про дозволені напрями руху, незважаючи на наявність перед перехрестям дорожнього знаку 5.16 «напрямок руху смугами», що вказує дозволений напрям лише праворуч.

Відповідно до [13], використання на цьому під'їзді окремого світлофору для регулювання руху трамваїв по трамвайних коліях, що прокладені на окремому полотні, не є обов'язковим. Таке застосування є обов'язковим лише для відокремлених проїзних частин одного під'їзду, а не для трамвайних колій. Потрібно змінити редакцію національного стандарту таким чином, аби для вулиць і доріг, що мають відокремлені трамвайні колії, застосування окремих світлофорів, розташованих в межах цих трамвайних колій, для регулювання руху трамваїв через регульовані перехрестя було б обов'язковим. В такому випадку необхідно також зазначити в тексті національного стандарту, що, по можливості, в таких випадках повинні використовуватися саме світлофори типу 5.1, а не транспортні світлофори типу 1.3, 1.6 та 1.9.

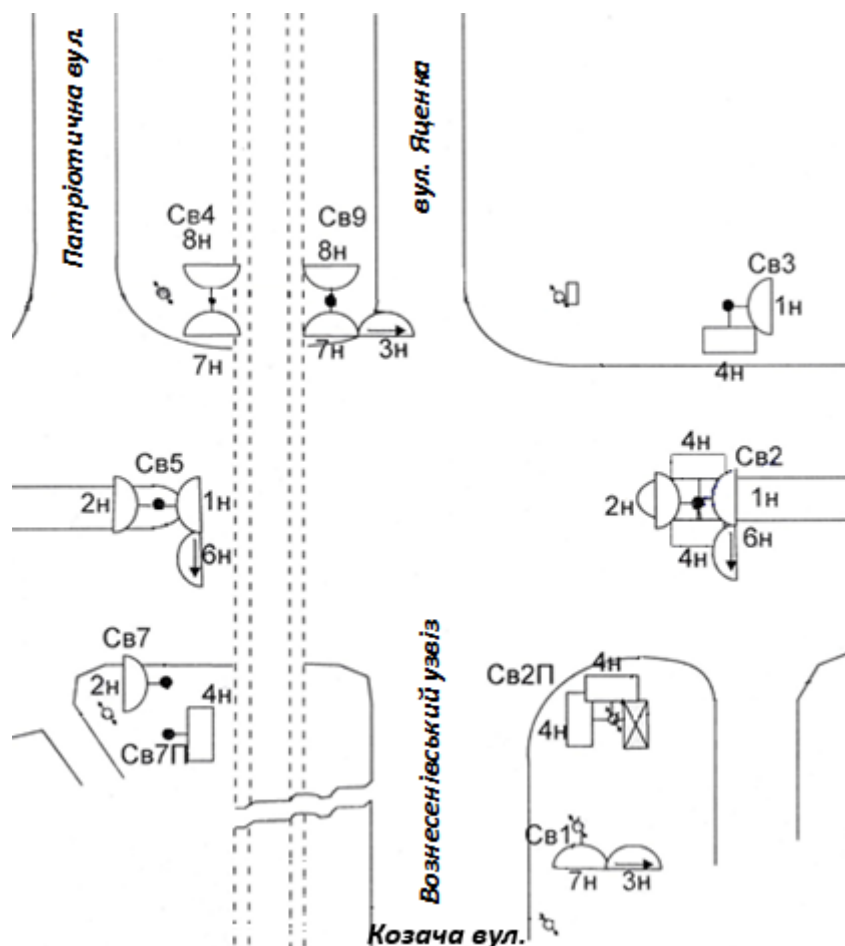


Рисунок 1 – Схема розташування засобів регулювання на перехресті вулиць Перемоги та Яценка
Figure 1 – Scheme of the traffic lights location at the intersection of Peremohy and Yatsenko streets

Також необхідно зробити обов'язковим застосуванням лише транспортних світлофорів типу 5.1 у випадках, коли, відповідно до режиму світлофорного регулювання, тривалості мінімальних часових проміжків у фазах регулювання, до яких включені траєкторії руху трамваїв та нерейкових транспортних засобів з цього ж під'їзду, є різними. В такому випадку при необов'язковості застосування світлофору типу 5.1 буде існувати можливість застосування світлофорів типів 1.3, 1.6 та 1.9 для регулювання руху трамваїв.

У такій ситуації водіями нерейкових транспортних засобів світлофор для регулювання руху трамваїв, що рухаються по окремому полотну, може бути сприйнятий як дублюючий світлофор, розташований ліворуч від проїзної частини для основного світлофора, який призначено для регулювання руху нерейкових транспортних засобів. Особливо ця небезпека помилкового сприйняття світлофора для регулювання руху трамваїв, як дублюючого, буде проявлятися в темну пору доби та в умовах недостатньої видимості, коли орієнтування водіїв ускладнено. Саме така ситуація склалася в м. Запоріжжі на перехресті вулиць Іванова та Безіменної під час руху вулицею Іванова в напрямі від вулиці Карпенка-Карого (рис. 2).

За початковим варіантом режим роботи світлофора напряму регулювання 6 відрізнявся від режиму роботи основного та дублюючого світлофорів за напрямом регулювання 3. В умовах відсутності денного освітлення складалася ситуація, коли водії, що рухалися крайньою лівою смугою по вулиці Іванова сприймали основний світлофор, призначений для регулювання руху трамваїв за напрямом регулювання 6 за дублюючий напряму регулювання 3, ніби то розташований за перехрестям. Для уникнення ризиків було проведено синхронізацію режимів роботи світлофорів за напрямками регулювання номер 3 і 6, що, хоча і трохи збільшило затримки трамваїв, проте значно підвищило рівень безпеки руху для нерейкового транспорту та пішоходів, що переходять проїзну частину за напрямом регулювання 8.

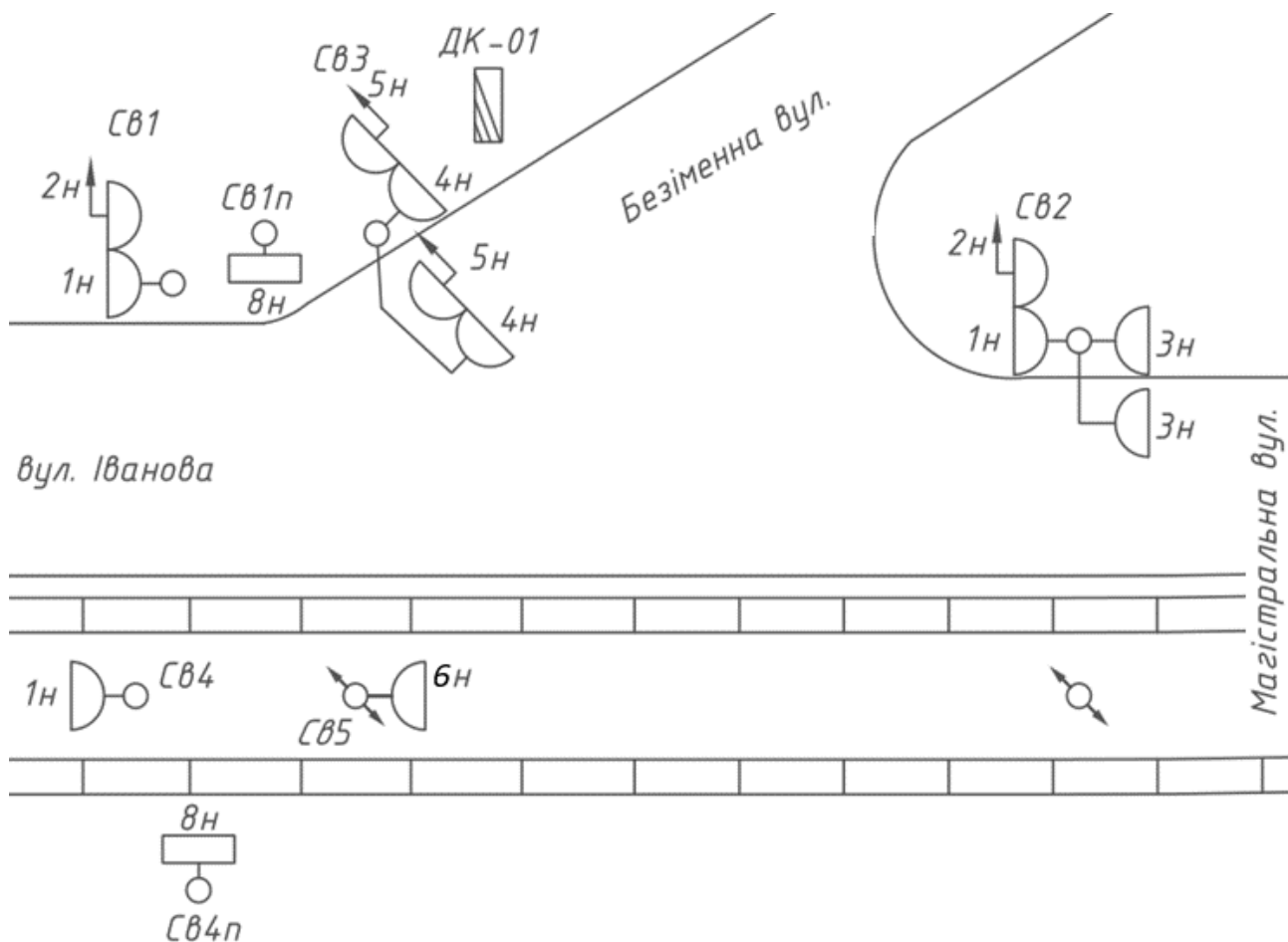


Рисунок 2 – Схема розташування засобів регулювання на перехресті вулиць Іванова та Безіменної
Figure 2 – Scheme of the traffic lights location at the intersection of Ivanova and Bezymennaya streets

Відповідно до [13], застосування зеленого миготливого сигналу перед завершенням зеленого сигналу є обов'язковим. Зелений миготливий сигнал працює протягом трьох секунд та інформує водіїв про те, що рух транспортних засобів за даним напрямом дозволяється, проте час дії дозволяючого сигналу спливає, і незабаром буде увімкнено сигнал, що забороняє рух. У світлофорах типу 5.1, призначених для регулювання руху маршрутних транспортних засобів за траєкторіями, які є безконфліктними, тим самим стандартом передбачається миготіння нижнього сигналу під час завершення інтервалу, призначеного для руху маршрутних транспортних засобів в певному напрямку. Однак, у випадку, якщо світлофором типу 5.1 регулюється рух маршрутних транспортних засобів загального користування в кількох напрямках руху, миготіння нижнього сигналу набуває неоднозначного сенсу. Якщо є декілька подальших напрямків руху маршрутних транспортних засобів, то водіям цих транспортних засобів буде незрозуміло, для якого з напрямків подальшого руху миготіння нижнього сигналу показує завершення дозволяючого сигналу.

Це призводить до неповного використання часу дозволяючого сигналу, бо, як правило водії в таких випадках у разі увімкнення миготливого сигналу вже не проїжджають стоп-лінію. Тому забезпечення повноти інформації про той напрям, за яким саме зараз завершується рух і завершується білий дозволяючий сигнал є дуже актуальною. Особливо це стосується великогабаритних транспортних засобів, рух яких й без непотрібних зупинок значно впливає на безпеку та пропускну спроможність регульованих перехресть.

Дуже актуальним постає інформування про напрямки руху, для яких дія дозволяючого місячно-білого сигналу завершується, при застосуванні детекторів транспорту, які в якості чутливих елементів використовують спеціальні частини контактної мережі, призначені для управління автоматичними стрілками. При певній конфігурації структури світлофорного циклу деякі напрями трамвайного руху є перехідними, тобто включені до кількох послідовних фаз регулювання. Тому, коли по деяких із напрямів відведений для руху час завершується, для інших напрямів цього ж під'їзду дозволені інтервали часу тривають і зупинка в такому випадку є необґрунтованою.

Зважаючи на зазначене, пропонується, щоб у транспортних світлофорах типу 5.1 останні 3 секунди дії дозволяючого сигналу відбувалося миготіння ще й того сигналу у секції верхньої частини світлофора, який відповідає за напрям руху, за яким завершується дозволяючий сигнал.

Відповідно до вимог [13], рух транспортних засобів громадського користування може регулюватися світлофором типу 5.1 лише в тому випадку, коли траєкторії руху маршрутних транспортних засобів, включені до напрямів регулювання, які керуються світлофором типу 5.1, не мають конфліктних точок злиття та перетину. Втім, така ситуація може проявлятися на регульованому перехресті не протягом усього часу, коли дозволено рух цим маршрутним транспортним засобам.

Мається на увазі, що частину циклу регулювання ці транспортні засоби можуть рухатися, маючи при цьому умовно безпечні конфлікти, тобто такі, де порядок роз'їзду транспортних засобів та пішоходів в конфліктних точках визначений пунктами Правил дорожнього руху для регульованих перехрестів. В інший час рух маршрутних транспортних засобів за цими траєкторіями або заборонений або дозволений безконфліктно.

В такому випадку пропонується частину світлофорного циклу утримувати світлофор типу 5.1 в погашеному стані. Відповідно до вимог Правил дорожнього руху, в цій частині циклу водії маршрутних транспортних засобів, що зазвичай керуються сигналами світлофорів типу 5.1, повинні керуватися сигналом світлофора для нереєкових транспортних засобів з цього ж під'їзду. Тобто вимкнення світлофора типу 5.1 відповідає поточній ситуації: або рух взагалі заборонено червоним сигналом світлофора для нереєкового транспорту, або рух дозволено з частковим конфліктом.

Таке застосування на практиці відкрило широкі можливості для збільшення пропускної здатності за лівоповоротною траєкторією на перехресті проспекту Соборного та бульвару Шевченка у м. Запоріжжі при русі по проспекту Соборному від Південноукраїнської вулиці з лівим поворотом в напрямку вулиці Жаботинського (рис. 3). Напрямок руху, що регулюється світлофором типу 5.1 - № 10.

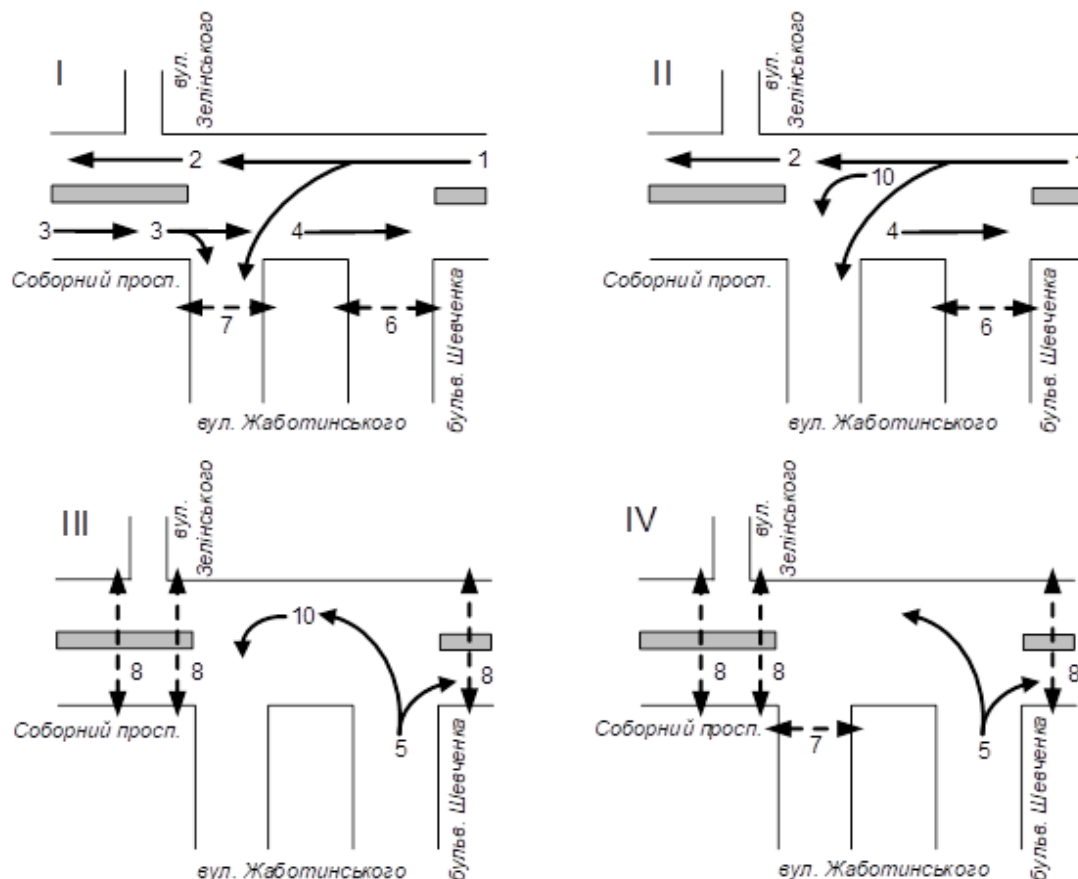


Рисунок 3 – Схема пофазового роз'їзду на перехресті просп. Соборного та бульв. Шевченка
Figure 3 – The scheme of the phase-by-phase junction at the intersection of Soborny Ave. and Blvd. Shevchenko

Як видно з наведеної циклограми (рис. 4), часткове ввімкнення протягом світлофорного циклу транспортного світлофора типу 5.1 дозволило застосувати фазоподібний інтервал для

безконфліктного звільнення перехрестя від транспортних засобів загального користування, що заїхали на його територію протягом попередньої фази. В даному випадку за своєю функцією світлофор типу 5.1 нагадує сигнал у вигляді зеленого чи червоного знаку «плюс», який широко застосовується у європейських країнах для позначення можливості здійснити безконфліктний поворот ліворуч (рис. 5).

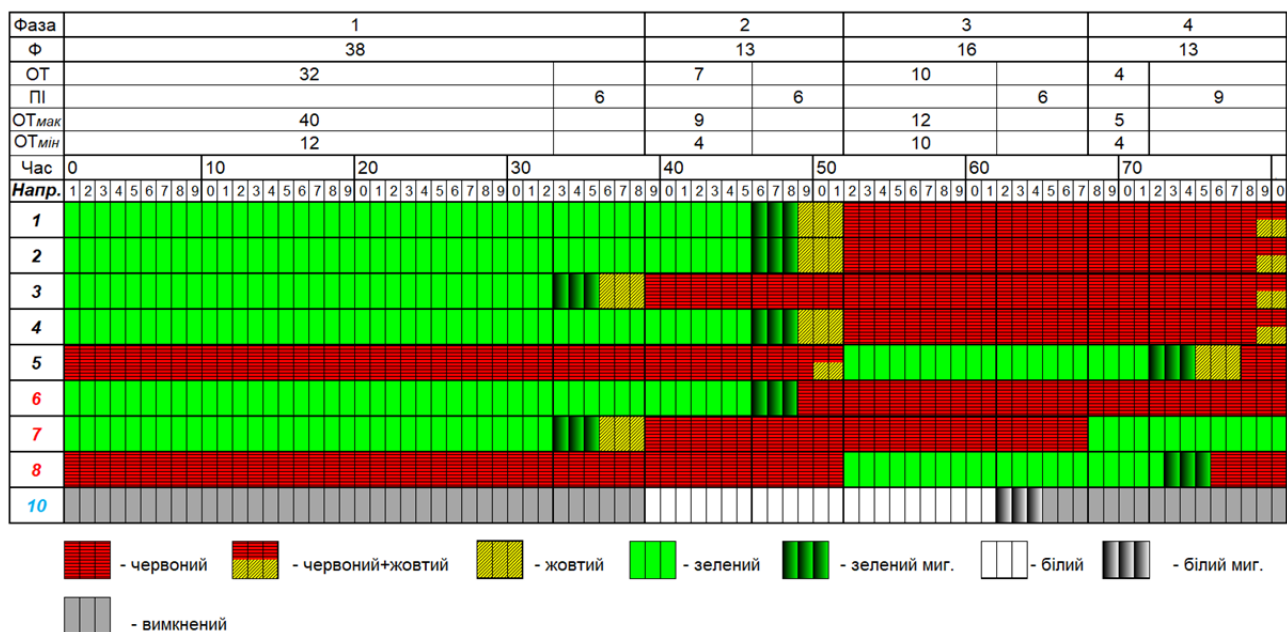


Рисунок 4 – Циклограма режиму світлофорного регулювання на перехресті просп. Соборного та бульв. Шевченка
 Figure 4 – Cyclogram of the traffic light control mode at the intersection of Ave. Soborny and Blvd. Shevchenko



Рисунок 5 – Сигнал транспортного світлофора, що інформує про зупинку зустрічного руху [14]
 Figure 5 – Traffic light signal informing about the stop of oncoming traffic [14]

Ускладнення структури світлофорного циклу, зумовлене таким застосуванням світлофора типу 5.1, тим не менш, дозволило знизити затримки транспортних засобів громадського користування при русі ліворуч на 23%, не змінюючи при цьому затримки інших учасників дорожнього руху. Завдяки ввімкненню сигналу білого кольору водії транспортних засобів маршрутного транспорту мають можливість отримати інформацію щодо завершення часу дії дозволяючого сигналу на зустрічному напрямі, що дозволить їм визначити алгоритм своїх подальших дій: або повертати без пріоритету, надаючи перевагу в русі зустрічним транспортним засобом та пішоходам які переходять

проїзну частину бульвару Шевченка, або повертати, маючи перевагу перед транспортними засобами зустрічного напрямку та пішоходами.

Позитивні аспекти такого застосування світлофори типу 5.1 особливо проявляються під час руху в загальному потоці з лівим поворотом зчленованих тролейбусів типу Van Hool AG300T довжиною 21 м, для яких, через відмінності геометричних характеристик кузова, час виконання маневру лівого повороту з пропуском зустрічного транспорту має більшу тривалість, ніж в інших транспортних засобів, що рухаються за цим напрямом. Тому при потраплянні на під'їзді тролейбуса в інтервал, протягом якого забезпечується безконфліктний поворот, значно знижується загальні транспортні затримки за цим напрямом регулювання як для маршрутних транспортних засобів, так і для легкових автомобілів, що повертають ліворуч з проспекту Соборного на бульвар Шевченка в напрямку вулиці Жаботинського.

Перспективи подальших досліджень.

Подальші перспективи розвитку технології активного пріоритету громадського транспорту пов'язані з розвитком світлофорного регулювання за окремими напрямками. Технологія полягає у можливості дорожнього контролера керувати перемиканням світлофорних сигналів основних та дублюючих світлофорів по кожному напрямку регулювання окремо. Такий підхід відкриває нові можливості у пошуку резервів для збільшення частки ефективного часу у світлофорному циклі за рахунок розв'язання задачі оптимального компонування інтервалів дозволяючих сигналів транспортних і пішохідних напрямів регулювання, що входять до структури світлофорного циклу.

Сучасний рівень розвитку центральних та периферійних технічних засобів автоматизованих систем керування дорожнім рухом та сервісного програмного забезпечення таких систем дозволяє в повному обсязі реалізувати всі алгоритми, спрямовані на оптимізацію параметрів та структури режимів світлофорного регулювання із застосуванням керування за окремими напрямками регулювання.

Для повної реалізації усіх можливостей автоматизованих систем керування дорожнім рухом щодо забезпечення пріоритетного пропуску маршрутних транспортних засобів загального користування, окрім синтезу нових оптимізаційних алгоритмів для параметрів та структури світлофорних циклів і планів координації, також важливим є питання підвищення інформаційного забезпечення водіїв транспортних засобів загального користування, які послуговуються системою з активним пріоритетом. Наприклад, видається перспективним безперервне інформування водіїв маршрутних транспортних засобів про рекомендовану швидкість руху та про часові інтервали відправлення від зупинок, що дозволять проїхати наступне перехрестя без зупинки перед стоп-лінією.

Фактично мається на увазі система інформаційного забезпечення дещо подібна до системи автоматичного регулювання швидкості (АЛС-АРШ), яка застосовується на метрополітені (рис. 6). У разі використання такого підходу частково вирішується проблема втрати часу маршрутними транспортними засобами перед стоп-лінією перехресть, розташованих близько до зупинок громадського транспорту, через що з моменту відправлення транспортного засобу від зупинки до моменту прибуття до наступного перехрестя проходить занадто мало часу, аби можна було викликати дозволяючий сигнал за відповідним напрямом регулювання.



Рисунок 6 – Пульт керування машиніста метрополітену з системою АЛС-АРШ [15]

Figure 6 – The subway driver's control panel with the ALS-ARS system [15]

У разі застосування системи з більшим рівнем інформаційного забезпечення водія, час, який транспортний засіб проводить в очікуванні дозволяючого сигналу перед стоп-лінією, він зможе

проводити з відкритими дверима на зупинці, що близько розташована до наступного регульованого перехрестя з пріоритетом. Інтервал, оптимальний для відправлення від зупинки, буде узгоджений з моментом ввімкнення дозволяючого сигналу відповідно напрямку регулювання на перехресті з активним пріоритетом.

Висновки

Дослідження довели, що при реалізації пріоритетного руху маршрутного пасажирського транспорту на вулично-дорожніх мережах міст із наданням активного пріоритету виникає ціла низка особливостей регулювання рухом на перехрестях, які потрібно врахувати в діючих нормативних документах. Більш широке використання транспортних світлофорів типу 5 замість звичайних транспортних світлофорів в змозі надати більш широкий інструментарій для регулювання дорожнього руху взагалі та в наданні пріоритету маршрутному транспорту зокрема. Також на практиці спостерігається спрощення орієнтування водіїв транспортних засобів, а відповідно, й підвищення загального рівня безпеки руху, та, в де-яких випадках, доволі значне підвищення пропускної здатності окремих напрямків руху на регульованих перехрестях.

Слід відмітити необхідність подальшого удосконалення інформаційного забезпечення водіїв маршрутних транспортних засобів про діючі режими регулювання. Якісна, завчасна інформація може стати ключем для усунення основних складностей реалізації заходів забезпечення активного пріоритету для руху маршрутного транспорту на регульованих перехрестях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Mishra S. Evaluating the Impacts of Existing Priority and Developing a Passenger Based Transit Signal Priority. Master's thesis, University of Calgary. 2016. DOI: 10.11575/PRISM/25975.
2. Трушевський В., Грицай С., Никифоровський Д. Мінімізація затримок учасників дорожнього руху на регульованих пішохідних переходах. Східно-Європейський журнал передових технологій. 2014. № 5(3). С. 25-29. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.28035.
3. Cheng G., Liu X., Pei Y. A review of research on public transport priority based on CiteSpace. Journal of Traffic and Transportation Engineering. 2023. Vol. 10. P. 1118-1147. DOI: 10.1016/j.jtte.2023.04.008.
4. Meng X., Yang Y. Public-Transport Priority Development Evaluated by the Dynamic Combination Weighting Method. Solid State Technology. Vol. 63, No 3 (2020): 2089-2098.
5. Ceder A. Urban mobility and public transport: Future perspectives and review. International Journal of Urban Sciences. 2020. Vol. 25(2). P. 1-25. DOI: 10.1080/12265934.2020.179984.
6. Зубачик Р. М. Вдосконалення методів забезпечення пріоритетного руху для маршрутних автобусів на вулично-дорожній мережі міста: дис...канд. техн. наук: 05.22.01. НУ «Львівська політехніка», Львів. 2015. 185 с.
7. Трушевський В. Е. Удосконалення світлофорного регулювання при організації руху за окремими напрямками. дис. канд. техн. наук: 05.22.01. Національний транспортний університет, Київ, 2016. 150 с.
8. Kim W. Rilett L. Improved transit signal priority system for networks with nearside bus stops. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2005. Vol. 1925, No 1. P. 205–214. DOI: 10.1177/0361198105192500121.
9. Mulay S., Dhekne C., Bapat R., Budukh T., Gadgil S. Intelligent city traffic management and public transportation system. International Journal of Computer Science Issues. 2021. Vol. 18, No 3.
10. D'Andrea E., Marcelloni F. Detection of traffic congestion and incidents from GPS trace analysis. Expert Systems with Applications. 2017. Vol. 73. P. 43-56. DOI: 10.1016/j.eswa.2016.12.018.
11. Трушевський В. Е. Застосування автоматичних стрілок тролейбусу як детекторів в системах світлофорного авторегулювання. Електротехніка та електроенергетика. 2014. №1. С. 29–32.
12. Пристрій автоматичного регулювання руху трамваїв: пат. 94668 Україна: МПК G08G1/042; заявл. 03.06.2014; опубл. 25.11.2014, Бюл. №22. 4 с.
13. ДСТУ 4092-2002 Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосовування та вимоги безпеки. [Чинний від 2003-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держстандарт України, 2002. 27 с.
14. What do these "+" traffic lights mean? URL: https://www.reddit.com/r/belgium/comments/a9uyjx/what_do_these_traffic_lights_mean/ (дата звернення: 24.01.2024).
15. Кабіна машиніста модернізованого вагона метро. URL: <https://photo.unian.net/photo/585119-kabina-mashinista-modernizirovannogo-vagona-metro> (дата звернення: 27.01.2024).

REFERENCES

1. Mishra S. (2016) Evaluating the Impacts of Existing Priority and Developing a Passenger Based Transit Signal Priority. Master's thesis, University of Calgary. DOI: 10.11575/PRISM/25975 [in English].
2. Trushevs'kyj V., Ghrycaj S., Nykyforovs'kyj D. (2014) *Minimizacija zatrymok uchasnykiv dorozhnjogho rukhu na rehuljovanykh pishokhidnykh perekhodakh*. [Minimization of delays of road users on regulated crosswalks.] *Skhidno-Jevropejs'kyj zhurnal peredovykh tekhnologij*. [Eastern-European Journal of enterprise technologies.], vol. 5(3). pp. 25-29. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.28035 [in Ukrainian].
3. Cheng G., Liu X., Pei Y. (2023) A review of research on public transport priority based on CiteSpace. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, vol. 10, pp. 1118-1147. DOI: 10.1016/j.jtte.2023.04.008 [in English].
4. Meng X., Yang Y. (2020) Public-Transport Priority Development Evaluated by the Dynamic Combination Weighting Method. *Solid State Technology*. Vol. 63, No 3 (2020): 2089-2098 [in English].
5. Ceder A. (2020) Urban mobility and public transport: Future perspectives and review. *International Journal of Urban Sciences*, vol. 25(2), pp. 1-25. DOI: 10.1080/12265934.2020.179984 [in English].
6. Zubachyk R. M. (2015) *Vdoskonalennja metodiv zabezpechennja priorytetnogho rukhu dlja marshrutnykh avtobusiv na vulychno-dorozhniy merezhi mista* [In-depth methods for ensuring priority traffic for route buses on the street-road border of the place]. (PhD). Lviv: Lviv Polytechnic National University [in Ukrainian].
7. Trushevs'kyj V. E. (2016) *Udoskonalennja svitlofornogho rehuljuvannja pry orghanizaciji rukhu za okremymy naprjamkamy* [Improvement of light-light regulation during the organization of traffic along nearby routes]. (PhD). Kyiv: National Transport University [in Ukrainian].
8. Kim W. Rilett L. (2005) Improved transit signal priority system for networks with nearside bus stops. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1925, no 1, pp. 205–214. DOI: 10.1177/0361198105192500121 [in English].
9. Mulay S., Dhekne C., Bapat R., Budukh T., Gadgil S. (2021) Intelligent city traffic management and public transportation system. *International Journal of Computer Science Issues*, vol. 18, no 3 [in English].
10. D'Andrea E., Marcelloni F. (2017) Detection of traffic congestion and incidents from GPS trace analysis. *Expert Systems with Applications*, vol. 73, pp. 43-56. DOI: 10.1016/j.eswa.2016.12.018 [in English].
11. Trushevs'kyj V. E. (2014) *Zastosuvannja avtomatychnykh strilok trolejbusu jak detektoriv v systemakh svitlofornogho avtoreguljuvannja*. [Installation of automatic trolleybus switches as detectors in light-light automatic control systems]. *Elektrotekhnika ta elektroenerghetyka*. [Electrical engineering and electrical power engineering], no 1, pp. 29–32 [in Ukrainian].
12. (2014) *Prystrij avtomatychnogho rehuljuvannja rukhu tramvajiv* [Device for automatic regulation of tram traffic]: patent 94668 Ukraine [in Ukrainian].
13. State Standard of Ukraine (2002) *DSTU 4092-2002 Bezpeka dorozhnjogho rukhu. Svitlofory dorozhni. Zaghaljni tekhnichni vymoghy, pravyla zastosovuvannja ta vymoghy bezpeky* [Road safety. Road traffic lights. External technical equipment, storage rules and safety equipment] Kyiv [in Ukrainian].

РЕФЕРАТ

Трушевський В.Е. Особливості світлофорного регулювання руху маршрутних транспортних засобів загального користування / В.Е. Трушевський, І.М. Райда // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

У статті запропоновано внести ряд змін в існуючий стандарт використання засобів регулювання на перехрестях для поліпшення умов руху маршрутного пасажирського транспорту.

Об'єкт дослідження – регульовані перехрестя із наявним рухом маршрутних пасажирських транспортних засобів.

Мета роботи – підвищення якості надання активного пріоритету руху маршрутному пасажирському транспорту на регульованих перехрестях.

Методи дослідження – аналіз, синтез, узагальнення, формулювання висновків.

У роботі розглянуто використання транспортних світлофорів типу 5 разом з іншими транспортними світлофорами або замість них на кількох практичних прикладах з метою якісної реалізації активного пріоритету руху маршрутного пасажирського транспорту. Розглянуті приклади доводять доцільність внесення певних змін в діючі нормативні документи щодо використання світлофорного регулювання.

Проаналізовані шляхи усунення основних проблем надання активного пріоритету в русі для маршрутних пасажирських транспортних засобів. Приділено увагу інформаційному забезпеченню водіїв маршрутного пасажирського транспорту.

Результати статті можуть бути враховані при наступних редакціях нормативних документів, які регламентують використання світлофорного регулювання на перехрестях із рухом маршрутного пасажирського транспорту.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МАРШРУТНИЙ ПАСАЖИРСЬКИЙ ТРАНСПОРТ, ПРІОРИТЕТ РУХУ, РЕГУЛЮВАННЯ, СВІТЛОФОР, БЕЗПЕКА РУХУ, ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

ABSTRACT

Trushevsky V., Raida I. Features of designing traffic lights for public transport. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

The article proposes to make some of changes to the existing standard for the use of traffic lights at intersections to improve the traffic conditions for public transport.

The object of the study is signaled intersections with the existing traffic of scheduled passenger vehicles.

The aim of the article is to improve the quality of providing active traffic priority to public transport at regulated intersections.

Research methods - analysis, synthesis, generalization, formulation of conclusions.

The work considers the use of traffic lights of type 5 together with other traffic lights or instead of them on several practical examples in order to qualitatively implement the active priority of public transport. The considered examples prove the expediency of making some changes in the current regulatory documents regarding the use of traffic light regulation.

Ways to eliminate the main problems of providing active priority in traffic for public transport vehicles are analyzed. Attention is paid to the information provision of public transport drivers.

The results of the article can be taken into account in the next editions of regulatory documents that regulate the use of traffic lights at intersections with the public transport traffic.

KEY WORDS: ROUTE PASSENGER TRANSPORT, TRAFFIC PRIORITY, REGULATION, TRAFFIC LIGHT, TRAFFIC SAFETY, INFORMATION SUPPORT

АВТОРИ:

Трушевський Вячеслав, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет «Запорізька політехніка», доцент кафедри «Транспортні технології», e-mail: aspirerzp@gmail.com, тел. +380673796721, Україна, 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64, к. 247, orcid.org/0000-0002-5966-259X.

Райда Ігор, Національний університет «Запорізька політехніка», старший викладач кафедри «Транспортні технології», e-mail: raydaim.base@gmail.com, тел. +380679712959, Україна, 69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64, к. 247, orcid.org/0000-0003-3925-4692.

AUTHORS:

Trushevskiy Vyacheslav, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National University Zaporizhzhia Polytechnic, Associate Professor at the Department of Transport Technologies, e-mail: aspirerzp@gmail.com, tel. +380673796721, Ukraine, 69063, Zaporizhzhia, Zhukovskogo str., 64, of. 247, orcid.org/0000-0002-5966-259X.

Raida Ihor M., National University Zaporizhzhia Polytechnic, Senior Lecturer at the Department of Transport Technologies, e-mail: raydaim.base@gmail.com, tel. +380679712959, Ukraine, 69063, Zaporizhzhia, Zhukovskogo str., 64, of. 247, orcid.org/0000-0003-3925-4692.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Поліщук В.П., завідувач кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху Національного транспортного університету, доктор технічних наук, професор.

Турпак С.М., завідувач кафедри «Транспортні технології» Національного університету «Запорізька політехніка», доктор технічних наук, професор.

REVIEWERS:

Volodymyr Polishchuk, the head of the transport systems and road safety department at the National Transport University, doctor of technical sciences, professor.

Serhii Turpak, the head of the department "Transport Technology" at the National University "Zaporizka Polytechnic", doctor of technical sciences, professor.

ПРИНЦИПИ ТЕХНОЛОГІЧНО СТАЛОГО РОЗВИТКУ НА АВТОТРАНСПОРТІ ТА СИСТЕМНОЇ СИНЕРГІЇ

Хабутдінов Р.А., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, habutd1@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1329-5739

PRINCIPLES OF TECHNOLOGICALLY SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN MOTOR TRANSPORT AND SYSTEM SYNERGY

Khabutdinov RA, doctor of engineering sciences, National Transport University, Kyiv, Ukraine, habutd1@gmail.com, orcid.org/0000-0002-1329-5739

Постановка проблеми. Основним призначенням автотранспорту, як ринкової корпорації перевізників і автовласників, є матеріально-парадоксальне створення автотранспортних процесів і послуг (АПП) та їх технологічно-інноваційне відтворення згідно етапів реалізації науково-технічного і технологічного прогресу на автотранспорті. Згідно призначення такі створення і відтворення дозволяють конкурентне задовольняти поточний і майбутній транспортний попит у часі. В умовах ринкової економіки при формуванні наукових методів аналізу і синтезу АПП необхідно виходити із стратегічно конкурентної концепції їх високо-технологічного і інтенсивно-ресурсозберігаючого відтворення (ВТІРВАПП) на автомобільному транспорті [1]. При цьому, необхідно врахувати сім концептуальних вимог: 1) врахування експлуатаційно-технологічних та гносеологічних особливостей автотранспортних процесів [2]; 2) використання нової матеріально-виробничої, технологічно-інноваційної та системної парадигми, тобто МВТІС-парадигми знань про автотранспорт як сферу матеріально-парадоксального створення і відтворення АПП; 3) вибору високо-технічних ресурсів (автомобілів); 4) формування високої (енергозберігаючої і ресурсозберігаючої) автомобільно транспортної технології (ВАТТ), а також методу концептуально-композиційного синтезу АПП; 5) використання принципу транспортно-концептуальної та методологічної гармонізації фрагментарно-суперечливих знань про інноваційне відтворення автотранспортних процесів для мінімізації негативного впливу парадоксальності знань на автотранспорті (АТ); 6) врахування низькі принципів: інтегративної гармонізації парадоксально-суперечливих знань про інноваційний розвиток технологічних процесів автомобільних перевезень, техніко-технологічної каузальності цих процесів, їх інтенсифікації та енергоресурсного синергізму; 7) врахування принципів ресурсно-технологічної каузальності та ізоморфізму важливих математичних моделей АТ (автотранспортного процесу-(АП) і виробничої функції ФА1), а також механізмів енергоресурсного синергізму інтегративних функцій автотранспортної системи-(АВТС).

Слід підкреслити, що виконання цих вимог направлено на реалізацію принципу енергоресурсного синергізму на АТ і в автотранспортній системі (АВТС). Крім того, етапна (за етапами технологічних інновацій) реалізація концепції ВТІРВАПП, згідно вказаних вимог, забезпечує становлення на АТ економіко-технологічної синергії, тобто атрибутів сталої та конкурентної мікроекономіки АПП (МАПП): високо-технологічної, ресурсно-ефективної та інтенсивно-розширеної (ВТРЕІР МАПП). Реалізація цих атрибутів досягається шляхом технологічної інтенсифікації автотранспортних операцій і процесів за умовою проектного забезпечення додаткового продукту АТ завдяки методам технологічного енерго-і ресурсозбереження [2]. Існуюча методологія економічного і організаційного аналізу АП [3,4] базується на спрощеній, сервісно-комерційній, немодернізаційній та несистемній парадигмі знань (ССКНН- парадигма) про автотранспорт як сфери техно-емпіричного транспортного обслуговування. При цьому, згідно існуючій спрощеній ССКНН-парадигми знань методологія економічного і організаційного аналізу АП заснована на непрозорій (чорно-ящиковій) теоретичній схемі віртуального транспортування вантажів і пасажирів віртуально-мобільним рухомим складом у нематеріальному середовищі [3]. Прийняті ССКНН-парадигма знань і базова теоретична схема віртуального транспортування обумовили те, що методологія економічного і організаційного аналізу АПП [3,4] є неявно фрагментарною і суперечливою. Вона не дозволяє формувати науково-обґрунтовані стратегії технологічно-сталого розвитку на АТ з урахуванням вищевказаних концептуальних вимог.

В існуючій методології, по-перше, нехтуються як матеріально-технологічні сутність і каузальність автотранспортних процесів, так і закономірності їх технологічно-інноваційного розвитку. В методах теорії та практики організації автомобільних перевезень за замовченням використовуються методики фрагментарного, апостеріорного, модернізаційно-суперечливого та повзучого техніко-технологічного емпіризму. По-друге, використовується модель віртуального автотранспортного процесу – тобто спрощена «чорно-ящикова» модель сервісного процесу автомобільної доставки (СПАД) предметів; при цьому, модель автомобіля підмінена найпростішою моделлю рухомого складу, тобто- віртуально-мобільного кузову. По-третє, не враховано парадоксальні фрагментарності та суперечності знань, а також гносеологічно заперечуються принципово-важливі функції автотранспорту (ФА) : базисна і транспортно-виробнича-ФА1, технологічного капіталооберту-ФА3.1, ринкового ресурсо-забезпечення матеріальних автотранспортних процесів-ФА4.1 та їх високо-технологічного відтворення -ФА5) [1,2]. Вказані недоліки обумовили відсутність комплексного та системного підходів до управління технологічно-інноваційним розвитком на автотранспорті. Таким чином, існуюча методологія техно-емпіричного транспортного обслуговування, що базується на ССКНН-парадигмі знань про СПАД не дозволяє виконати вищезазначені сім концептуальних вимог, тому не забезпечує конкурентне необхідне концептуальне управління технологічно сталим розвитком на автотранспорті (КУТСР). Наслідком цих недоліків є те, що існуюча методологія заперечує концепції ВТРВАПП, а також не дозволяє направляти етапні інновації на встановлення високо-технологічної, ресурсно-ефективної та інтенсивно-розширеної мікроекономіки АПП (ВТРЕІР МАПП). Крім того, методики повзучого техніко-технологічного емпіризму консервують на автотранспорті неконкурентну доктрину оперативно-прибуткових та низько-технологічних автомобільних перевезень.

Аналіз аксіом і сутності автотранспортних процесів і послуг (АПП) [1,2] виявив, що важливими для формування методів концептуального управління їх сталим розвитком є три експлуатаційно-технологічні особливості: а) в натуральні автомобільні перевезення залучаються багатофункціональні автомобілі як ресурсно-технічні та технологічні засоби автотранспортного процесу та системи (АРТТЗ АПС); автомобільні перевезення характеризуються високими рівнями їх енерго-і ресурсоемності; б) на світовому ринку автомобілів пропонується надто широкий діапазон змінних розмірних (за показниками вантажності та пасажиромісткості) і конструктивно-технічних характеристик АТЗ при високої динаміки змін їх параметрів; в) різноманіття станів дорожньо-трафікових і термінальних факторів транспортно-технологічної експлуатації АТЗ.

Одноточасний вплив усіх цих особливостей і факторів ускладнює методи управління концептуальним і сталим розвитком матеріальної ресурсно-технічної та технологічної бази АПП. Далі, із-за існуючої спрощеної та нетехнологічної ССКНН-парадигми знань про автотранспорт як сфери техно-емпіричного транспортного обслуговування, у якого не враховується матеріальний продукт, відсутні можливості достовірного аналізу технологічних процесів автомобільних перевезень (ТПАП) і синтезу високої автомобільно транспортної технології [2] з урахуванням концепції ВТРВАПП, а також принципів транспортної та системної синергії.

При формуванні наукових методів аналізу концептуального управління технологічно сталим розвитком на автотранспорті необхідно усунути негативні впливи факторів парадоксальності останнього, а також виправити вищевказані недоліки методів економічного і організаційного аналізу автотранспортних процесів. Крім того, необхідно врахувати усі сім вищевказаних концептуальних вимог. Перші три вимоги враховано в роботах [5,6], у яких представлені моделі адаптивно-дискретного руху автомобіля модульно-узагальненого типу і енергоресурсної ефективності автотранспортних засобів і процесів.

Сформульовано наступні задачі даної роботи: 1) прийняти нову МВТІС-парадигму знань про АТ як сферу матеріального, але парадоксально-неправильного відтворення АПП; 2) встановити атрибути наукового поняття «автомобільно транспортна технологія» (наукове визначення, транспортне і системне значення, функціональна структура, критерії основної компоненти); 3) ідентифікувати ресурсно-технічну і технологічну модель нового автомобіля як АРТТЗ АОП у вигляді модульно-узагальненої та етапно-варіативної схеми структурно-параметричної будови (СПОБА), яка підлягає етапній модернізації [2,7]; 4) встановити структуру ресурсно-технічного і технологічного базису АТ (РТТБА) і закономірності адаптивно-дискретного руху АРТТЗ АОП з урахуванням СПОБА і впливу маршрутних елементів дорожньо-трафікової інфраструктури АВТС; 5) розробити логіку і процедурну схему узгодженого формування функцій АТ і АВТС згідно принципів техніко-технологічної каузальності, ізоморфізму, а також транспортно-операційного і міжпідсистемного синергізму.

Основна частина. Під автомобільно транспортною технологією (АТТ) розуміється продукто-сфокусована і науково-описана сукупність матеріально-креативних та процедурно-деталізованих **способів** адаптивно-енерговитратного **транспортуювання** предметів (вантажів і пасажирів), а також **модернізаційного відтворення** автотранспортних процесів і послуг (АПП) на маршрутах перевезень. При цьому необхідно врахувати ресурсно-технічні властивості АТЗ, а також закономірності його операційно-адаптивного функціонування як ресурсно-технічного і технологічного засобу (РТТЗ) АП і АВТС в умовах впливу маршрутних елементів інфраструктури останньої.

Згідно виробничо-технологічної парадигми автотранспорту (АТ) та його системного призначення виявлено комплекс факторів **значення** АТТ для АТ і АВТС: транспортно-операційного, транспортно-виробничого, транспортно-економічного (процедурне поєднання труда і капіталу), транспортно-інноваційного і системного [2,5,6]. Таке комплексне значення АТТ забезпечується на основі функціональної структури АТТ S(АТТ), яка представлена у вигляді наступної множини:

$$S(АТТ) \in (КТТ1, КТТ2, КТТ3.1, КТТ3.2, КТТ3.3), \quad (1)$$

де КТТ1 – організаційні форми з'єднання ланцюжків спрощених транспортних і термінальних операцій за критеріями експлуатаційних витрат рухомого складу та часу доставки вантажів або пасажирів; КТТ2 – матеріально-виробнича компонента, розвиток якої визначається комплексом показників (енергетичної, енерготехнологічної та енергоресурсної) ефективності компонент РТТБ-базису АТ; КТТ3.1 – математичні моделі для аналізу елементів КТТ1, які збудовані на основі принципу аналізу віртуального транспортування [3] і без врахування властивостей елементів РТТБ-базису АТ; КТТ3.2 – математичні моделі для аналізу новачійних елементів КТТ2 і елементів РТТБ-базису АТ; КТТ3.3 – інструкції і правила для виконання транспортних і термінальних операцій.

Експлуатаційна ідентифікації нових АТЗ як ресурсно-технічного і технологічного засобу реалізується на основі моделі модульної структурно-параметричної організації будови автомобіля (СПОБА) K_{jr} . Ця модель для аналізу конструктивно-технічних і товарно-технічних новачій має такий вигляд [7]:

$$K_{jr}^N(t) \in (x_{imp}^N, y_{iml}^N)_{jr}, \quad t=t_1, t_2, t_3 \dots t_n, \quad (2)$$

де x_{imp}^N – оновлена підмножина р-їх параметрів m-го конструктивно-функціонального модуля в i-му пристрої СПОБА; N – верхній індекс ознаки інноваційності СПОБА; y_{iml}^N – оновлена підмножина l-их характеристик структури m-го конструктивно-функціонального модуля i-го пристрою СПОБА, (i = 1, 2, 3, 4), (m = 1, 2, 3, 4), (l=1, 2, 3 ...); j – індекс класу рухомого складу (j = 1, n_k, де n_k – кількість класів автомобіля); r – індекс різновидів автомобіля в j-му класі (r = 1, n_b, де n_b – число варіантів автомобілів з реалізованими технічними новачіями).

Структура матеріально-виробничої компоненти АТТ- КТТ2, яка оновлюється, представлена в роботах [2,7]. Вона включає в себе необхідні для автотранспортного виробництва елементи: технічні

$R_T(K_{jr})$ і техніко-технологічні R_{TT} ресурси АТ, трудові Π_T і машинні Π_M процедури АТТ, процеси транспортного перетворення внутрішньої енергії АТЗ- ЕТ, а також процеси ЕТРР - енергетичного перетворення техніко-технологічних ресурсів R_{TL} у маршрутній фізичний продукт АТ- W_ϕ . Базисна функція АТ-ФА1 формується в автотранспортних операціях шляхом використання ресурсно-технічних властивостей АТЗ як РТТЗ АП і АВТС. Показники цих властивостей обумовлюються трьома факторами: характеристиками СПОБА K_{jr} , вищеназваними елементами компоненти АТТ-КТТ2, інтерактивним впливом маршрутних елементів інфраструктури АВТС.

Інноваційний розвиток АТТ і АПП забезпечується на основі проектної ідентифікації та обґрунтування комплексу техніко-технологічних новачій NVTT на АТ:

$$NVTT \in (NVKT, NVGT, NVTS, NVTL, NVET) \rightarrow perfect, \quad (3)$$

де NVKT – конструктивно-технічні новачії в структурно-параметричній організації K_{jn} нового автомобіля; NVGT – характеристики автомобіля як науково-технічного товару; NVTS – новачії

транспортного обслуговування і КТТ1; NVTL – технологічні новації в структурі КТТ2; NVET – новації економіко-технологічні (ресурсозберігаючі АТТ і мікроекономіка АПП).

Функціонування автотранспорту (АТ) згідно свого призначення як сфери матеріального (але парадоксально-неправильного) відтворення автотранспортних процесів і послуг передбачає виконання їм множини ФА -виробничо-економічних функцій:

$$\Phi A \in (\Phi A1, \Phi A2, \Phi A3, \Phi A4, \Phi A5, \Phi A6), \quad (4)$$

де функції АТ: технологічного відтворення автотранспортних процесів і послуг -ФА1 (базисна і егзистинційна функція, на її основі реалізуються усі інші); транспортного обслуговування - ФА2 (сервісна і дохідна функція); транспортного капіталооберту-ФА3 (ця економічна функція можлива у двох варіантах: у сервісному ФА3.2 і технологічному ФА3.1); ринкового ресурсо-забезпечення –ФА4 (ресурсне забезпечення базисної функції ФА1); інноваційного відтворення транспортних послуг –ФА5 (інноваційного розвитку); технічного сервісу–ФА6 (підтримка технічного стану АТЗ, ця функція реалізується тільки в великих транспортних підприємствах); при цьому, в методах економіки та організації сервісних процесів автомобільної доставки вантажів і пасажирів нехтуються важливі функції АТ- ФА1, ФА3.1, ФА4, ФА5.

Математичні моделі аналізу двох перспективне важливих функцій АТ (ФА1 і ФА5), а також моделі аналізу технологічної якості автотранспортних операцій і процесів повинні базуватися на закономірностях Z_{RTT} операційно-адаптивного функціонування технічних $R_T(K_{jt})$ і техніко-технологічних $R_{TT}(K_{jt})$ ресурсів (тобто РТТЗ АП і АВТС) АТ [2]. Автотранспорт (АТ) є активною підсистемою АВТС, тому на основі операційно-адаптивного функціонування цих ресурсів $R_T(K_{jt})$ і $R_{TT}(K_{jt})$ формуються спочатку важливі функції АТ (ФА1 і ФА5), а потім згідно транспортно-технологічного механізму причинно-наслідкових зв'язків при взаємодії ресурсів різних підсистем АВТС формуються інтегративні функції АВТС [6]. Далі представлено наукове визначення і комплекс системних функцій АВТС.

Під **автотранспортною системою** (АВТС) розуміється транспортно-сфокусована, технологічно композиційна, інтерактивно-функціональна та цілісна сукупність матеріальних ресурсів АТ та його трьох інфраструктурних підсистем (термінальної (ТП), дорожньо-трафікової (ДТП) і сервісно-технічної (СТП)), що у вигляді цілісності забезпечує матеріальне функціонування системи більш високого рівня, тобто економіко-соціальної макросистеми (ЕСМС) країни згідно свого призначення і автотранспортного попиту [2]. З урахуванням [1,7] сформовано множину системних функцій (СФ) АВТС:

$$CF \in (CF1, CF2, CF3, CF4, CF5, CF6, CF7, CF8), \quad (5)$$

СФ1- функціонально диференційованого і економічно-необхідного розподілу матеріальних ресурсів АТ та трьох інфраструктурних підсистем (ТП, ДТП, СТП); СФ2- транспортно-операційної та технологічної композиції ресурсів підсистем; СФ3–транспортної емерджентності (масові процеси технологічного транспортування потенціальних ресурсів $R_{мп}$ ЕСМС (вантажів і пасажирів) з використанням механізмів взаємодії трьох підсистем (АТ, ТП, ДТП); СФ4–транспортно-енергетичної інтеграції термінальної інфраструктури та перетворення потенціальних ресурсів ЕСМС $R_{мп}$ в реальні $R_{мр}$ (після перевезень); СФ5–нейтралізації дисфункцій в підсистемах і в механізмах їх взаємодії; СФ6–концептуальної модернізації підсистем и системних функцій, СФ7– транспортного забезпечення функціонування макросистеми (ЕСМС); СФ8 – технологічно сталої та синергетичної еквіфінальності (функція сталого розвитку всієї цілісності за принципом забезпечення енергоресурсної синергії у всіх підсистемах і в механізмах їх взаємодії).

Важливими елементами моделі адаптивного та інтерактивного функціонування АРТТЗ в умовах дорожнього трафіку є матеріальні схеми транспортно-технологічної та енергоеквівалентної операцій. В них закладена теоретична схема енерго-дисипативного транспортування предметів перевезень в конфліктному середовищі з використанням властивостей АРТТЗ АП [2,7]. Згідно такої схеми в моделях матеріальної автотранспортної операції враховуються конструктивно-технічні та ресурсно- технічні властивості АТЗ. За допомогою останніх формуються: а) важливі компоненти автотранспортної технології (АТТ): трудо-машинні процедури Π_{tm} і продуктовірні процеси $ETRW$ -енергетичного перетворення технологічних ресурсів в фізичний продукт $AT-W_{\phi}$ [2]; б) технологічний спосіб інфраструктурно-інтерактивного залучення АРТТЗ в фізико-технічні механізми автотранспортної операції (взаємодія-мобільність-адаптивне транспортування) з урахуванням зміни

варіантів СПОБА; в) процеси якісно-операційного функціонування техніко-технологічних ресурсів - R_{TT} АТ (сукупність носіїв технічних, енергетичних і трудових ресурсів АТ в структурі навантаженого і рухового автомобіля). Енергоєквівалентна модель автотранспортної операції дозволяє, по-перше, інтегрувати знання про три розрахункові схеми, що є в різних дисциплінах: сталого руху АТЗ (в теорії автомобіля), транспозиційної операції (в теорії організації автомобільних перевезень) і транспортно-технологічної операції (в теорії АТТ); по-друге, забезпечує інтеграцію та гармонізацію парадоксально-фрагментарних знань про модернізаційні проекти технологічних процесів автомобільних перевезень (ТПАП) [1,5].

Для виявлення комплексу феноменологічних і онтологічних закономірностей Z_{RTT} керованого функціонування техніко-технологічних ресурсів (як АРТТЗ) у автотранспортної операції необхідна універсальна модель дорожньо-трафікового руху АТЗ. Така модель отримана на основі розв'язку системи рівнянь руху модульно-узагальненого АТЗ (як СПОБА) з урахуванням закономірностей взаємодії його багатоколісного рушія з поверхнею кочення в умовах адаптивно керованого руху [6,7]. Як основа прийнято рівняння зміни кінетичної енергії АТЗ модульно-узагальненого типу, що експлуатаційне ідентифікується як варіативна модель СПОБА. На основі рішення названої системи рівнянь отримано комплекс моделей Z_{RTT} керованого функціонування техніко-технологічних ресурсів (як АРТТЗ) у автотранспортної операції. Комплекс включає моделі сталого і несталого руху АТЗ.

Для режимів V_c сталого руху АТЗ отримано:

$$Z_{RTT}(l_v) = l_v = V_c * T_v, V_c = \text{const}, Z_{RT}(E_v) = E_v = l_v * (B_0 + B_1 * V_c + B_2 * V_c^2), \quad (6)$$

$$Z_{RT}(Q_v) = Q_v = T_v * (B_3 + B_4 * V_c + B_5 * V_c^2 + B_6 * V_c^3 + B_7 * V_c^4 + B_8 * V_c^5), \quad (11)$$

де l_v, E_v і Q_v – значення пробігу, енерговитрат і витрати палива АТЗ при його сталому русі; $B_0, B_1, \dots, B_8$ – параметри, що залежать від стану множин K_{jr} (СПОБА АТЗ), D (дорога), M_{te} (транспортно-експлуатаційних) параметрів управління двигуном u_1 , трансмісією u_2 і гальмами u_3 .

Для режимів несталого руху маємо:

$$Z_{RT}(T_n) = T_n = [\ln(A_1(u_v) + Vo(u_v) + \Delta V(u)) - \ln(A_1(u_v) + Vo(u_v))]/A_2(u), \quad (7)$$

$$Z_{RT}(l_n) = A_1(K, D, V_c, u) * T_n + \Delta V/A_2(K, D, V_c, u), \quad (8)$$

$$Z_{RT}(E_n) = E_n = B_9 * \Delta V + B_{10} * \Delta V^2 + B_{11} * \Delta V^3 + T_n(B_{12} + B_{13} * \Delta V + B_{14} * \Delta V^2), \quad (9)$$

$$Z_{RT}(Q_n) = Q_n = B_{16} * \Delta V + B_{17} * \Delta V^2 + B_{18} * \Delta V^3 + T_n(B_{15} + B_{19} * \Delta V + B_{20} * \Delta V^2 + B_{21} * \Delta V^3), \quad (10)$$

$$Z_{RTT} \in (Z_{RT}(l_v), Z_{RT}(E_v), Z_{RT}(Q_v), Z_{RT}(T_n), Z_{RT}(l_n), Z_{RT}(E_n), Z_{RT}(Q_n)), \quad (11)$$

де A_1 і A_2 – параметри рівняння швидкості руху АТЗ (4.8); $T_n(\Delta V, u)$ – час змінення керованої швидкості руху АТЗ в залежності від величини приросту (або зниження) ΔV ; $B_9 \dots B_{21}$ – параметри, що залежать від стану множин: K_{jr} (моделі АТЗ як МСПОТРА), D (дорога), M_{te} (транспортно-експлуатаційні характеристики), а також від параметрів управління двигуном u_1 , трансмісією u_2 і гальмами u_3 , початкової швидкості Vo ; $l_n, \Delta V, T_n, E_n$ і Q_n – характеристики дискретної кінематики та енергетики несталого керованого руху АТЗ: пробігу, приросту (або зменшення) швидкості АТЗ, часу зміни швидкості АТЗ, енерговитрат і витрати палива відповідно; Z_{RTT} – комплекс транспортно-операційних закономірностей керованого функціонування техніко-технологічних ресурсів R_{TT} – АТ у технологічних процесах автомобільних перевезень (ТПАП), які відбуваються під впливом властивостей елементів дорожньо-трафікової та термінальної підсистем АВТС; тобто комплекс Z_{RTT} впливає на механізми цілісності АВТС.

Рівняння (6)...(10) дозволяють суперпозиційно формувати тестову модель узагальненої автотранспортної операції (АО) з гнучкою режимно-фазовою структурою, що забезпечує врахування закономірностей функціонування модульно-модернізаційного АТЗ у рамках трьох фізико-технічних механізмів АО (ФТМ АО), а також можливість адаптувати цю модель до локально-наданих станів дорожньо-трафікової інфраструктури АВТС. Таки особливості моделей (6)...(11) дозволяють забезпечувати вимоги їх транспортно-технологічної достовірності стосовно чотирьох аспектів

пізнавального потенціалу запропонованої теорії автотранспортної технології: феноменологічного, онтологічного і системно-гносеологічного. Параметри тестової операції представлені в роботі [6].

Далі, прийнято, що фізичною і технологічною основою матеріальної реалізації виробничої функції АТ- ФА1 згідно (4) та важливих інтегративних функцій АВТС – [СФ2, СФ3 і СФ4] згідно (5) є комплекс моделей Z_{RTT} (6-11), що описують кероване функціонування модульно узагальнених за схемою СПОБА техніко-технологічних ресурсів (як АРТТЗ) у автотранспортній операції. На основі такої передумови, а також у зв'язку з алгебраїчною формою моделей Z_{RTT} (6-11) сформовано логіку і принцип забезпечення ізоморфізму моделей фізико-технологічних механізмів реалізації виробничої функції $\Phi A1(Z_{RTT})$ АТ та інтегративних функцій АВТС (транспортно-емерджентної -СФ3(Z_{RTT}) та транспортно-інтегративної- СФ4(Z_{RTT})). Далі сформовані дві логіко-каузальні (тобто причинно-наслідкові) схеми формування функції $\Phi A1(Z_{RTT})$ АТ і функцій СФ2(Z_{RTT}), СФ3(Z_{RTT}) і СФ4(Z_{RTT}) АВТС.

$$((R_{TT} \cap R_{IC}) \cap KTT2) \rightarrow Z_{RTT} \rightarrow MATO(Z_{RTT}) \rightarrow TPAП(Z_{RTT}) \rightarrow \Phi A1(Z_{RTT}) \rightarrow \text{real}, \quad (12)$$

$$CF1 \rightarrow CF2(Z_{RTT}) \rightarrow \Phi A1(Z_{RTT}) \rightarrow CF3(Z_{RTT}) \rightarrow CF4(Z_{RTT}) \rightarrow CF6(Z_{RTT}) \rightarrow CF8(Z_{RTT}) \rightarrow \text{ABTC}, \quad (13)$$

де R_{TT} і R_{IC} – техніко-технологічні ресурси АТ та ресурси інфраструктурних підсистем АВТС; MATO – моделі матеріальної автотранспортної операції (технологічної або енергоеквівалентної); ТПАП – модель технологічного процесу автомобільних перевезень.

Логіко-каузальні схеми (12) і (13) відображають наявність єдиної фізико-технологічної основи. В них основні елементи залежать від комплексу закономірностей Z_{RTT} , як для базової функції АТ $\Phi A1(Z_{RTT})$, так і для важливих інтегративних функцій АВТС. Тому ці схеми дозволяють формувати методологічну основу і вимоги для реалізації принципів ізоморфізму аналітичних моделей на АТ і в АВТС, а також –принципу системної синергії. Згідно положень загальної теорії систем [8] реалізація цих принципів дозволяє забезпечити можливість управління інноваційним розвитком активної підсистеми (АТ) і АВТС як цілісності [5,7].

Таким чином, виявлено факт, що закономірності інтерактивного-адаптивного функціонування АТЗ Z_{RTT} (як АРТТЗ) відображають єдині фізико-технічні основи реалізації трьох рівнів АВТС (операції-процеси-система), що дозволяє актуалізувати принцип **стратової** (на трьох рівнях ієрархії) **каузальності** функцій АТ і АВТС. Крім того, алгебраїчна форма закономірностей Z_{RTT} дозволяє забезпечити принцип **ізоморфності** математичних моделей названих функцій, що є необхідним для системного управління інноваційним розвитком на АТ. Використання двох вказаних принципів, забезпечення управліннями АТ двоєдиної концепції високо-технологічного відтворення автотранспортних процесів і сталого розвитку на АТ, а також забезпечення принципу **протиаварійного і енергоефективного ресурсозбереження** в механізмах взаємодії ресурсів підсистем АВТС дозволяє методологічно реалізувати принцип **системної синергії на АТ і АВТС**.

Висновки: 1. Представлено постановку проблеми системного управління технологічно сталим розвитком на автотранспорті виходячи з принципу системної синергії. **2.**Встановлено, що в автотранспортних процесах і в умовах конфліктного інфраструктурного середовища автомобіль (АТЗ) функціонує як системний, ресурсно-технічний та технологічний засіб автотранспортних операцій і процесів та системи (АРТТЗ АОПС), що необхідно врахувати в методах синтезу проєктів їх інноваційного відтворення. **3.** На основі алгебраїчних моделей для аналізу показників кінематики, динаміки та енергетики адаптивно-дискретного руху АТЗ як носія техніко-технологічних ресурсів АТ визначено комплекс закономірностей Z_{RTT} їх керованого та інтерактивного функціонування у процесах автомобільних перевезень, які відбуваються під впливом властивостей елементів дорожньо-трафікової та термінальної підсистем АВТС. **4.** Сформульовано концептуальні вимоги та встановлена актуальність методів концептуального управління технологічно сталим розвитком на автотранспорті з урахуванням принципів транспортно-технологічного енерго-і ресурсозбереження, ізоморфності моделей виробничої функції автотранспорту та інтегративних функцій автотранспортної системи, а також принципу системної енергоресурсної синергії. **5.** Сформовано логіку і принцип забезпечення ізоморфізму моделей фізико-технологічних механізмів реалізації виробничої функції $\Phi A1(Z_{RTT})$ АТ

та інтегративних функцій АВТС (транспортно-емерджентної -СФ3(Z_{RTT}) та транспортно-інтегративної- СФ4(Z_{RTT}). 6. Запропоновано логіко-каузальні (тобто причинно-наслідкові) схеми формування функції ФА1(Z_{RTT}) АТ і функцій СФ2(Z_{RTT}), СФ3(Z_{RTT}) і СФ4(Z_{RTT}) АВТС, що відповідають принципу системного енергоресурсного синергізму.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Хабутдінов Р.А. Системна концепція енергоресурсної синергії та методологія технологічно інноваційного управління на автотранспорті / Р.А. Хабутдінов. *Вісник НТУ. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник.* – К.: НТУ, 2020. – Вип. 1 (46).– С 365-374. DOI: 10.33744/2308-6645-2020-1-46-365-374.
2. Хабутдінов Р.А. Науково-практична проблема автотранспортної технології та системна концепція техно-інноваційного управління на автотранспорті/ Р.А. Хабутдінов. *Вісник НТУ. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник.* – К.: НТУ, 2021. – Вип. 1 (48). – С 345-357. DOI: 10.33744/2308-6645-2021-1-48-345-357.
3. Воркут А.И. Грузовые автомобильные перевозки /А.И. Воркут, К.: Віща школа, 1986, 447 с. (рус)
4. Савицька Г. В. Економічний аналіз діяльності підприємства: Навч. посіб. – 3-тє вид., випр. і доп. – К.: Знання, 2007. – 668 с.
5. 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.
6. 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. 51. – С.408-415. DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-408-415.
7. Хабутдінов Р.А. Енергоресурсна ефективність автомобіля/ Р.А.Хабутдінов, О.Я.Коцюк (посібник)// К.:UTU.–1997.– 197 с.
8. Кухтенко А.И. Об аксиоматическом построении математической теории систем/ А.И. Кухтенко//Кибернетика и вычислительная техника. Киев: Наукова Думка, 1976. – С. 3-25.

REFERENCES

- 1 Khabutdinov R. A. (2020) Systemna koncepcia energoresursnoi sinergii ta metodologiya tekhnologichnogo upravlynya na avtotransporti [The system concept of energy resource synergy and technological methodology of innovative motor transport management]. Bulletin of NTU. Series "Technical Sciences". Scientific and technical collection. - K.: NTU, 2020. - Issue 1 (46).– P. 365-374. DOI: 10.33744/2308-6645-2020-1-46-365-374]. [in Ukrainian].
2. Khabutdinov, R. A. (2021). Naukovo-praktichna problema avtotransportnoi tekhnologii ta systemna koncepcia tekno-innovaciinogo upravlynya na avtotransporti [The scientific and practical problem of motor transport technology and the system concept of techno-innovative management on motor vehicles] Bulletin of NTU. Series "Technical Sciences". Scientific and technical collection. - K.: NTU, 2021. - Issue 1 (48). - P 345-357. DOI: 10.33744/2308-6645-2021-1-48-345-357. [in Ukrainian].
- 3.Vorkut, A.I. (1986). Gruzovy avtomobylny perevozky [Road transportatation of goods]. Kyiv: High-school.– 1986. –447 p. [in Russian].
4. Savitska G.V. (2007). Ekonomichny analiz dialnosti pidpryemstva [Economic analysis of enterprise activity: Training. manual - 3rd ed., ed. and additional]. K.: Znannia, 2007. - 668 p. [in Ukrainian].
5. Khabutdinov, R. A. (2022). Principy i metody konceptualnogo pidvycennia energoresursnoi efektyvnosti avtotransportny zasobiv i poslug v ik zitevyk cyklak [Principles and methods of conceptual improvement of energy resource efficiency of motor vehicles and services in their life cycles] Bulletin of the National Transport University. Series "Technical Sciences". Scientific journal. - K.: NTU, 2022. - Issue 3 (53). - P.389-398.
6. Khabutdinov, R.A. (2022). Metodologiya konceptualnogo upravlynya tekhnologichno stalym rozvitkom na avtotransporty [Methodology of conceptual management of technologically sustainable development in motor transport]. Bulletin of the National Transport University. Series "Technical Sciences". Scientific journal. - K.: NTU, 2022. - Issue 51. – P.408-415. DOI: 10.33744/2308-6645-2022-1-51-408-415. [in Ukrainian].

7. Khabutdinov, R.A., Kotsyk A.I.(1997). Energoresursna efektyvnyst avtomobylya [Energy-resource efficiency of car/ K.:UTU.–1997.– 197 p. . [in Ukrainian].

8. Kukhtenko A.I. (1976). Ob aksiomatycnom postroeniy matematycnoi teorii system [On the axiomatic construction of the mathematical theory of systems] Cybernetics and computing technology. Kyiv: Naukova Dumka, 1976. – P. 3-25. [in Russian].

РЕФЕРАТ

Хабутдінов Р.А. Принципи технологічно сталого розвитку на автотранспорті та системної синергії / Р.А. Хабутдінов // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

У статті розглядаються принципи технологічно сталого розвитку на автотранспорті та системної синергії, які базуються наукової концепції високо-технологічного та ресурсобережливого відтворення автотранспортних процесів і послуг. Показано, що існуючі техно-емпіричні методи організації та економіки автотранспортного процесу не забезпечують концептуального управління технологічним розвитком на автотранспорті через використання в них теоретичної схеми віртуального транспортування вантажів та пасажирів, а також через аксіоми заперечення матеріальної каузальності та транспортно-продуктивної сутності ресурсів, автотранспортних технологій та процесів. Виходячи з нової матеріально-виробничої, технологічно-інноваційної та системної парадигми знань про автотранспорт, а також використовуючи закономірності інтерактивно-адаптивного руху автомобілів, як техніко-технологічних ресурсів, в умовах взаємодії з маршрутними елементами дорожньо-трафікової підсистеми отримано транспортно-операційні закономірності функціонування названих ресурсів. Показано, що ці закономірності відображають єдиний фізико-технічний механізм реалізації автотранспортних процесів, а також важливих для існування і розвитку функцій автотранспорту і автотранспортної системи (АВТС). Це дозволило сформувати важливі принципи інноваційного розвитку на автотранспорті та в АВТС: стратової каузальності, ізоморфізму моделей, системної синергії та міжпідсистемного ресурсозбереження.

Об'єкт дослідження – єдиний фізико-технічний механізм для: технологічних процесів автомобільних перевезень, виробничої та інноваційної функції автотранспорту та інтегративних функцій АВТС.

Мета роботи – формування основних положень нової (матеріально-виробничої та системної) парадигми знань, а також принципів сталого розвитку на автотранспорті та системної синергії його функцій.

Метод дослідження – встановлення загальних закономірностей адаптивно-дискретного руху автомобілів як техніко-технологічних ресурсів автотранспорту в умовах міжпідсистемної взаємодії, а також виявлення логіки і принципів забезпечення ізоморфізму моделей фізико-технологічних механізмів функцій автотранспорту та АВТС.

Результати статті може бути використані технологічно компетентними управлінцями автотранспорту для реалізації стратегій концептуального управління його технологічно-сталім розвитком. Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – реалізація управлінцями концепції високо-технологічного відтворення автотранспортних процесів з використанням принципів системної енергоресурсної синергії.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПРИНЦИПИ, КОНЦЕПЦІЯ, РЕСУРСИ, ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ІННОВАЦІЇ, АВТОТРАНСПОРТ, ФУНКЦІЇ, АВТОТРАНСПОРТНА ТЕХНОЛОГІЯ, ПРОЦЕСИ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ, ЕНЕРГОРЕСУРСНА СИНЕРГІЯ, СТАЛИЙ РОЗВИТОК.

ABSTRACT

Khabutdinov R.A. Principles of technologically sustainable development in motor transport and system synergy. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

The article examines the principles of technological development in motor transport and system synergy, which are based on the scientific concept of high-tech and resource-efficient development of motor transport processes and services. It is shown that the existing techno-empirical methods of organizing and economics of the motor transport process do not provide conceptual management of technological development in motor transport through the incorporation in them of theoretical schemes of virtual transportation of cargoes and passengers, and so through the axioms of the interconnection of material causality and the transport-productive essence of resources, motor transport technologies and processes. Coming from the new material-viral, technological-innovative and systemic paradigm, knowledge about

motor transport, as well as using the laws of interactive and adaptive movement of cars as technical and technological resources, in the conditions of interaction with the route elements of the road and traffic subsystem, the transport and operational laws of the functioning of the named resources were obtained. It is shown that these regularities reflect a single physical and technical mechanism for the implementation of motor vehicle processes, as well as functions important for the existence and development of motor vehicles and the motor transport system (MTS). This made it possible to form important principles of innovative development in motor vehicles and automatic transmission systems: stratified causality, isomorphism of models, system synergy and inter-subsystem resource saving.

The object of the study is a single physical and technical mechanism for: technological processes of road transportation, production and innovation function of motor vehicles and integrative functions of the motor transport system.

The purpose of the work is the formation of the main provisions of the new (materially production and system) paradigm of knowledge, as well as the principles of sustainable development in the motor transport and the systemic synergy of its functions.

The results of the article can be used by technologically competent motor vehicle managers to implement conceptual management strategies for its technologically sustainable development. Prognostic assumptions regarding the development of the research object - implementation by managers of the concept of high-tech reproduction of motor vehicle processes using the principles of system energy resource synergy.

KEY WORDS: PRINCIPLES, CONCEPT, RESOURCES, TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL INNOVATIONS, MOTOR VEHICLES, FUNCTIONS, MOTOR TRANSPORT TECHNOLOGY, PROCESSES OF MOTOR TRANSPORTATION, ENERGY RESOURCE SYNERGY, SUSTAINABLE DEVELOPMENT.

АВТОР:

Хабутдінов Рамазан Абдуллайович, доктор техн. наук, професор, Національний транспортний університет, зав. кафедри транспортних технологій, e-mail: habutd1@gmail.com, тел. +380962290869, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка,1, orsid.org/ 0000-0002-1329-5739.

AUTHOR:

Khabutdinov Ramazan A., Doctor of Technical Sciences, Professor, National Transport University, Head. Department of Transport Technologies, e-mail: habutd1@gmail.com, tel. +380962290869, Ukraine, 01010, Kyiv, str. Omelyanovich-Pavlenko, 1, orsid.org/ 0000-0002-1329-5739

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мнацаканов Р.Г., доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет, кафедра підтримання льотної придатності повітряних суден, e-mail: mnatsakanov@ukr.net, тел. +38-0679714862, Київ, Україна.

Петрашевський О.Л., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, кафедра аеропортів, вул. Омеляновича-Павленка,1, e-mail: olp47@ukr.net, тел. +380996092476, Київ, Україна.

REVIEWER:

Mnatcakanov R., Doctor of Technical Sciences Engineering (Dr.), professor, National Aviation University, department of maintaining the airworthiness of aircraft, Kyiv, Ukraine .

Petrashovski O., Doctor of Technical Sciences, professor, National Transport University, Department of Airports, Kyiv, str. Omelyanovich-Pavlenko, 1, Ukraine.

АРХІТЕКТУРНІ ШАБЛони І СТИЛІ. ПОЄДНАННЯ АРХІТЕКТУРНИХ СТИЛІВ

Ходаков Д.В., кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, daniil.khodakov@npp.nau.edu.ua, orcid.org/0009-0000-7970-151X

ARCHITECTURAL TEMPLATES AND STYLES. COMBINATION OF ARCHITECTURAL STYLES

Khodakov D.V., Ph.D. in Technical Science, National aviation university, Kyiv, Ukraine, daniil.khodakov@npp.nau.edu.ua, orcid.org/0009-0000-7970-151X

Постановка проблеми.

Дослідження архітектури програмного забезпечення намагається визначити як найкраще розбити систему на частини, як ці частини визначають та взаємодіють одна з одною, як між ними передається інформація, як ці частини розвиваються поодиночці і як все вищеописане найкраще записати використовуючи формальну чи неформальну нотацію.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Область комп'ютерних наук з моменту свого утворення зіткнулася з проблемами, пов'язаними зі складністю програмних систем. Розглядаючи дослідження, методи та засоби в області проектування, раніше проблеми складності вирішувалися розробниками шляхом правильного вибору структур даних, розробки алгоритмів і розмежуванню повноважень [3]. Хоча термін «архітектура програмного забезпечення» є відносно новим для індустрії розробки ПЗ, фундаментальні принципи цієї області невпорядковано застосовувалися піонерами розробки ПЗ починаючи з середини 1980-х. Перші спроби зрозуміти і пояснити програмну архітектуру системи були повні неточностей і страждали від нестачі організованості, часто це була просто діаграма з блоків, з'єднаних лініями. В 1990-ті роки спостерігається спроба визначити і систематизувати основні аспекти даної дисципліни [1]. Початковий набір шаблонів проектування, архітектурних стилів, найкращих практик та мов опису були розроблені протягом цього часу [1,2]. Основною ідеєю дисципліни архітектури ПЗ є ідея зниження складності системи шляхом абстракції і розмежування повноважень. Досі немає згоди щодо чіткого визначення терміну «архітектура програмного забезпечення».

Будучи, наразі, дисципліною без чітких правил про «правильний» шлях створення системи, проектування архітектури ПЗ є поєднанням науки і мистецтва. Аспект мистецтва полягає в тому, що будь-яка комерційна система передбачає наявність застосування або місії. Ключові цілі, які має система, описуються з допомогою сценаріїв як нефункціональні вимоги до системи, також відомі як атрибути якості, які визначають, як буде поводитись система. Атрибути якості системи включають в себе відмовостійкість, збереження зворотної сумісності, розширюваність, надійність, супроводжуваність, доступність, безпеку, зручність використання, а також інші якості [3]. З точки зору користувача програмної архітектури, програмна архітектура дає напрям руху і вирішення завдань, пов'язаних зі спеціальністю кожного такого користувача, наприклад, зацікавленої особи, розробника ПЗ, Служба технічної підтримки, спеціаліста по супроводу, спеціаліста по розгортанню ПЗ, тестера, а також кінцевих користувачів. У цьому сенсі архітектура програмного забезпечення насправді об'єднує різні точки зору на систему. Можливість системно об'єднати кілька різних точок зору при проектуванні системи є аргументом на захист необхідності і доцільності створення архітектури ще до етапу розробки ПЗ.

Головна ідея архітектури полягає у тому, щоб знизити складність сприйняття системи внаслідок розмежування повноважень та створення чіткої структури [2]. Архітектура та дизайн програмного забезпечення дозволяють створити чітку структуру, за якою зручно працювати програмістам. Від її якості залежить, наскільки просто проходитиме обслуговування ПЗ, його зміни, доповнення та підтримка.

Для безлічі завдань розробки архітектури застосовуються патерни чи, як їх ще називають, шаблони. Вони дозволяють вирішувати однотипні завдання швидшим способом, що позитивно впливає на час розробки та спрощує багато процесів. Паттерн описує певне завдання, і коли воно знову виникає у певному контексті, його застосування дозволяє "не винаходити велосипед", а скористатися готовим рішенням.

Виклад основного матеріалу.

Головне завдання та роль архітектури полягає в тому, щоб запобігти негативним наслідкам після розробки програми.

На основі наявного досвіду дослідниками і практиками розробки ПЗ вироблено деяку множину типових архітектур [2, 4]. Подібні типові рішення на рівні архітектури називаються архітектурними стилями. Точніше, архітектурний стиль визначає набір типів компонентів системи і набір шаблонів їхнього взаємодій з передачі даних або управління. Різні архітектурні стилі підходять для вирішення різних завдань в плані забезпечення нефункціональних вимог, хоча одну і ту ж функціональність можна реалізувати, використовуючи різні стилі.

Архітектура та проектування може мати атрибут, іменований стилем. Стиль дозволяє надати певну однаковість, визначається за допомогою вищеписаних шаблонів, а також конкретних з'єднувачів та компонентів. Ключова роль стилю – створити зрозумілу та цілісну архітектуру.

Стиль – це певний набір принципів, який дозволяє використовувати шаблони та зводити структуру до єдиного та простого для сприйняття виду. Це шлях до спільного розуміння та мови. Зокрема, якщо архітектуру розробляє одна команда розробників, а надалі зміни до функціоналу вносить інша команда фахівців, стиль – це зв'язуюча ланка, яка дозволяє зрозуміти структуру. Архітектурні стилі поділяються на п'ять груп (рис. 1).

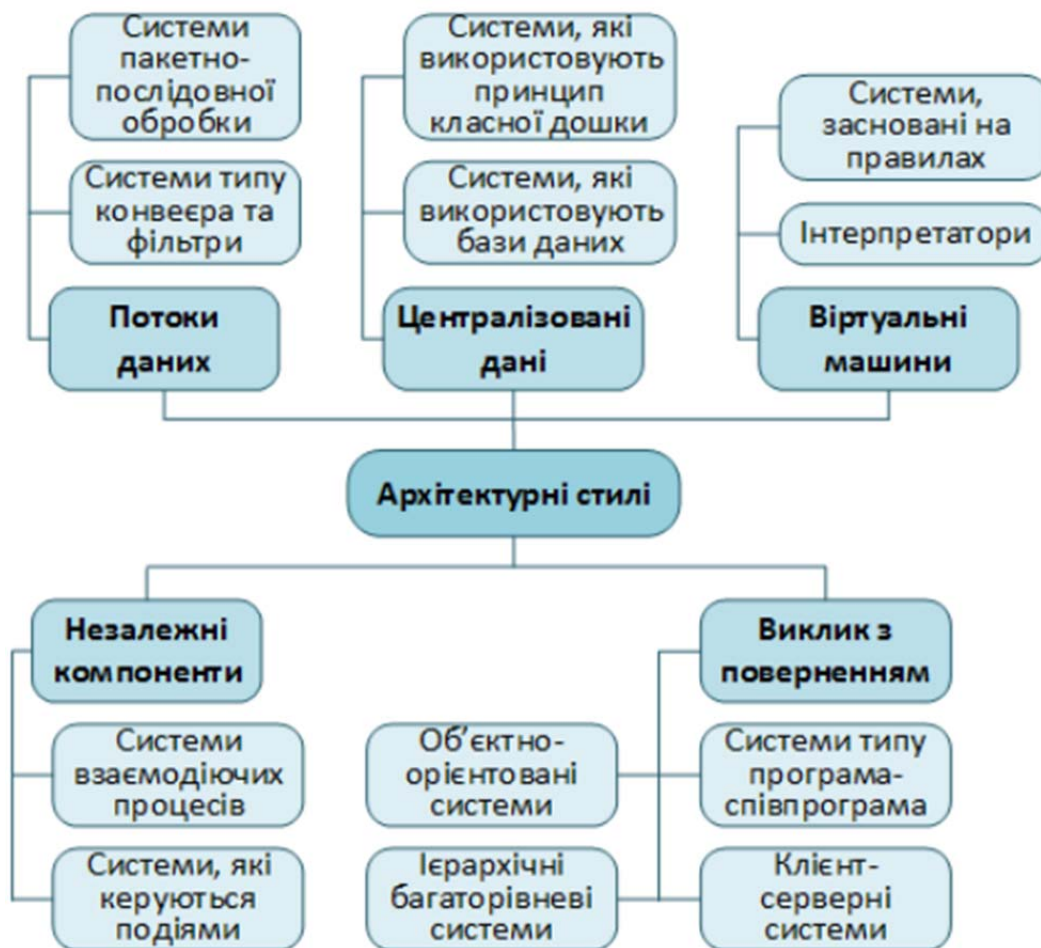


Рисунок 1 – Класифікація архітектурних стилів

Figure 1 – Classification of architectural styles

Архітектура та дизайн програмного забезпечення рідко обмежуються одним стилем. Як правило, використовується поєднання, яке створює повноцінну систему. Кожен стиль описується у технічній документації, щоб команда розробників змогла передати дані. Крім того, вимоги до системи безпеки зобов'язують використовувати різні стилі, зокрема із застосуванням багаторівневої архітектури.

На вибір архітектурного стилю впливає безліч факторів, включно із обмеженням інфраструктури середовища розробки, стеком технологій, досвідченістю розробників. Насамперед стиль визнача-

ється шляхом опрацювання виконуваних процесів. Враховується можливість подальшого масштабування програми та особливості впровадження її на підприємство клієнта.

Існують чотири основні типові інтеграційні підходи:

- 1) інтеграція на рівні даних;
- 2) інтеграція на рівні бізнес-функцій і бізнес-об'єктів;
- 3) інтеграція на рівні бізнес-процесів;
- 4) портали.

Інтеграція на рівні даних (Information- Oriented Integration), наявність в системах баз даних, для роботи з якими необхідно розробити єдиний програмний інтерфейс.

До основних технологічних рішень даного підходу відносяться [4]:

- системи реплікації даних;
- федеративні бази даних;
- використання API для доступу до ERP- системам.

Реплікація є процесом синхронізації даних між різними джерелами. Необхідність у цьому виникає в момент зміни блоку інформації в розподілених системах зберігання для гарантії коректності і несуперечності даних, які використовуються в усіх модулях або додатках інформаційної системи. Зазвичай функції реплікації покладають на проміжне програмне забезпечення.

Федеративні бази даних (Federated Database Systems) надають єдиний інтерфейс до розподілених даних. Це забезпечує інтеграцію множини автономних даних, які можуть бути фізично розташовані на різних пристроях в мережі [1]. Такі бази даних прийнято називати віртуальними.

Використання API для доступу до ERP-систем покликане спростити механізми обміну інформацією між одними додатками і програмним забезпеченням, призначеним для управління функціонуванням виробничих інформаційних систем (ERP).

Інтеграція на рівні бізнес-функцій і бізнес об'єктів передбачає реалізацію спільно використовуваних служб (сервісів). Служба може бути набором функцій, використовуваному в декількох додатках. Набір служб і буде бізнес-функціями.

При використанні сервіс-орієнтованої архітектури, бізнес-функції можна розглядати як бізнес-сервіси, а при компонентному підході – бізнес-об'єктами (бізнес-компонентами).

Інтеграція на рівні бізнес-процесів розрізняється залежно від рівня інтеграції. При внутрішній інтеграції взаємодіє велика кількість сервісів, а при зовнішній інтеграції, в основному, два. Самі бізнес-процеси функціонують над виділеними службами, для управління якими існує спеціальний інтерпретована мова.

Портали можна вважати графічними інтерфейсами бізнес-процесів, оскільки вони призначені для персоналізованого доступу до інформації та консолідації даних з декількох джерел.

Головне призначення процесу інтеграції – об'єднання функцій додатків або модулів для надання нової функціональності.

При інтеграції додатків можна виділити два основних типи завдань:

- завдання інтеграції корпоративних додатків;
- завдання інтеграції додатків з різних інформаційних систем.

Для вирішення завдань першого типу застосовуються системи EAI (*Enterprise Application Integration*) (рис.2), які іноді називаються A2A (*Application-to-Application Integration*), а для вирішення завдань другого типу застосовуються системи B2B (*Business-to-Business Integration*). У деяких ситуаціях дуже складно визначити різницю між інтеграцією A2A і B2B, оскільки складність деяких рішень всередині інформаційних систем може перевищувати складність рішень для їх спільного функціонування.

Основні цілі інтеграції додатків можуть бути визначені таким чином:

- скоротити вартість використання сукупності додатків підприємства;
- підвищити швидкість виконання типових завдань чи забезпечити терміни виконання;
- поліпшити якість виконання завдань за допомогою формалізації процесів та мінімізації людського фактора як головного фактора помилок.

Забезпечення автоматизованого контролю проходження базових бізнес-процесів на підприємстві, інформаційна безпека при реалізації бізнес-процесів досягається засобами благополучної інтеграції корпоративних систем.

B2B-система поєднує в собі рішення для постачальників і для покупців, інтегруючи їх у єдину систему на базі центрального порталу. Залежно від типу торгового майданчика слід враховувати низку важливих аспектів, необхідних для успішної роботи:

- доступність нових учасників;

- масштабована і надійна платформа (поява нових учасників чи інші причини не повинні впливати на функціонування майданчика);
- управління інформацією (використання якісної інформації, а також своєчасне її оновлення є ключовим моментом у досягненні успіху);
- можливості інтеграції (для зручності користувачів майданчик повинен містити всі види електронної комерції);
- забезпечення безпеки;
- аналітика;
- додаткові послуги (наприклад, аукціони або інші фінансові послуги).

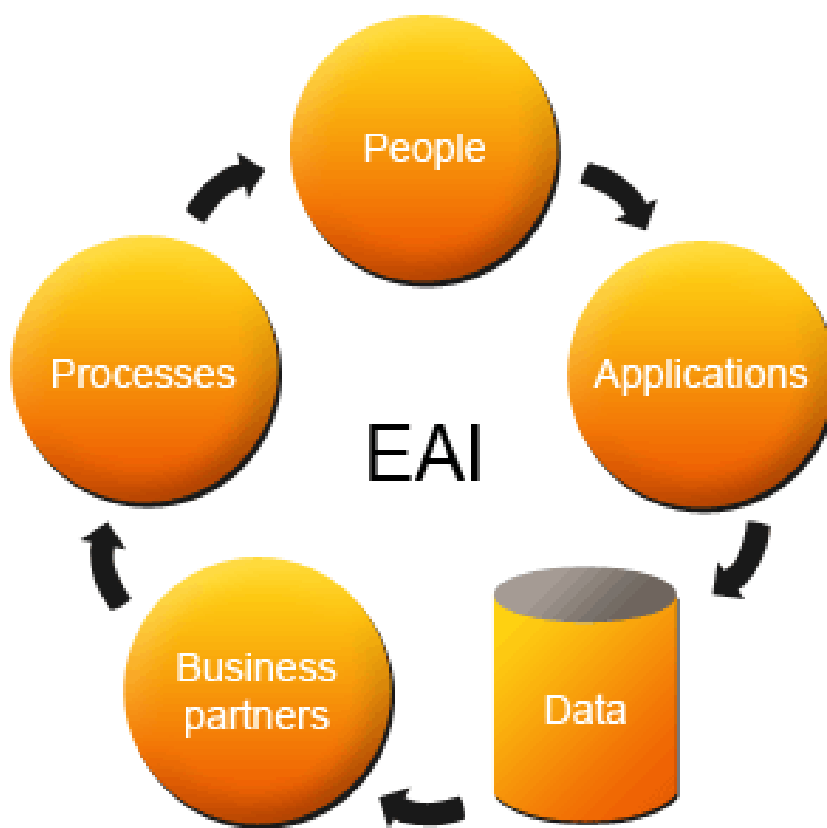


Рисунок 2 – Система Enterprise Application Integration
Figure 2 – Enterprise Application Integration system

Основним недоліком у даній системі ведення бізнесу все ж таки буде висока ціна за створення та підтримку B2B-майданчика.

Частина програмного забезпечення інфраструктури, що забезпечує конструкцію архітектури програмного забезпечення для надання базових послуг складних архітектур, називається технологія ESB (*Enterprise Service Bus*). EAI (*Enterprise Application Integration*) – це інтеграційна система, яка може бути використана для інтеграції набору комп'ютерних систем. EAI – це широке поняття, яке описує схеми інтеграції, а ESB – це технологія, яка забезпечує EAI.

Є деякі ключові відмінності між ESB і EAI. ESB – це частина інфраструктурного програмного забезпечення, яка допомагає розробникам розробляти служби та спілкуватися між службами через відповідні API, тоді як EAI – це інтеграційна структура для комп'ютерних програм у масштабах підприємства. Іншими словами, ESB діє як посередник між службами, тоді як EAI є моделлю концентратора для інтеграції. EAI – це концепція, яка описує всі типи шаблонів інтеграції, але ESB – це лише приклад технології, яка дає змогу EAI. Простіше кажучи, EAI – це концепція за кордоном, а ESB – це реалізація.

Визначається набір принципів інтеграції та забезпечується проміжне програмне забезпечення, що може складатися з поєднання технологій та послуг, які забезпечують інтеграцію декількох систем (рис.3). EAI займається зв'язком корпоративних програм, таких як управління ланцюгами поставок,

управління взаємовідносинами з клієнтами, інструменти BI (*Business Intelligence*), управління людськими ресурсами та охорона здоров'я, які зазвичай не подрібнюються між собою.

Таким чином, EAI може вирішити неефективність, спричинену відсутністю зв'язку між цими програмами. EAI може використовуватися в основному для трьох різних цілей. Вони являють собою інтеграцію даних для забезпечення узгодженості (також відомої як *Enterprise Information Integration* або EII), забезпечення незалежності постачальника та як загальний фасад для кластера програм.

Безпосередня короткострокова перевага підходу ESB полягає в тому, що він досягає такого ж загального ефекту, як підхід EAI (хаб-спиця), але при значно нижчій загальній вартості володіння. Ця економія реалізується не лише за рахунок зменшення витрат на апаратне та програмне забезпечення, але й за рахунок економії праці, яка реалізується завдяки використанню розподіленої та гнучкої структури.

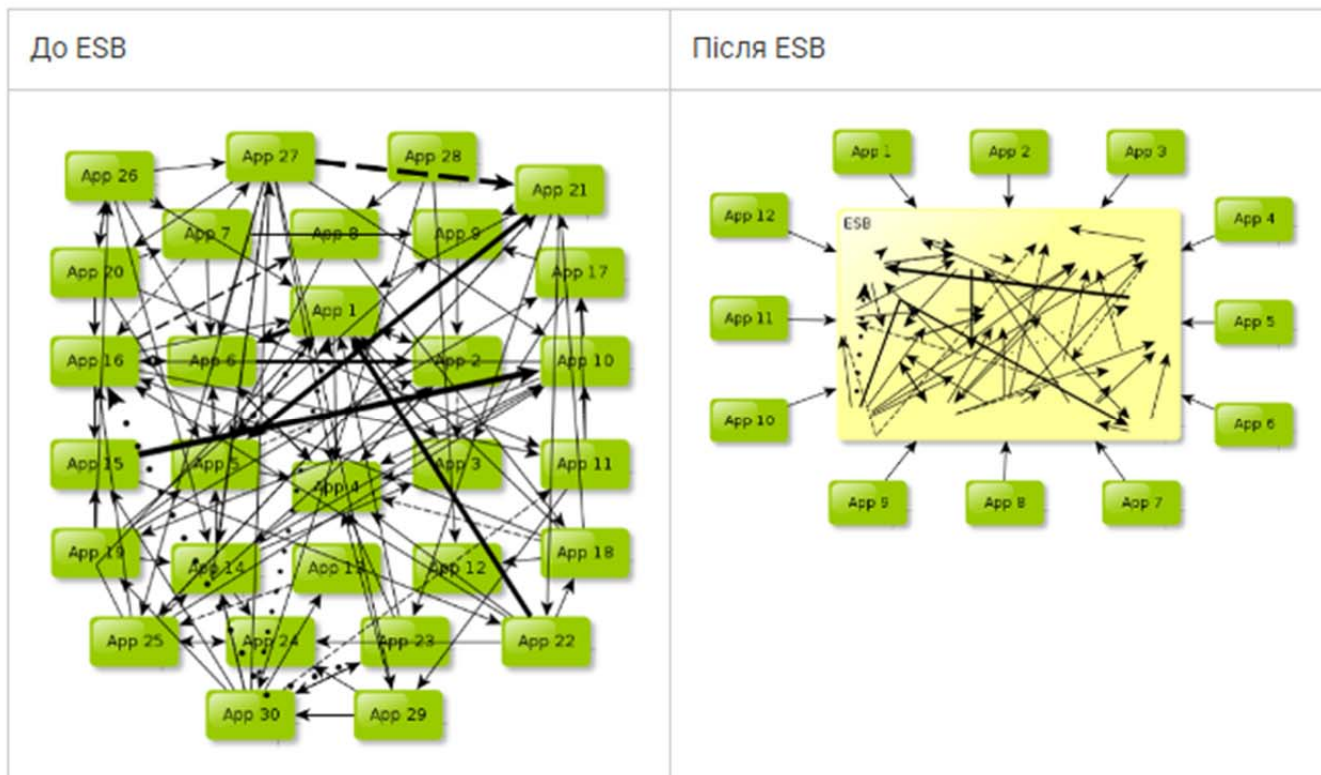


Рисунок 3 – Приклад використання технології ESB
Figure 3 – Example of using ESB technology

Висновки.

Головне завдання та роль архітектури полягає в тому, щоб запобігти негативним наслідкам після розробки програми. Якщо необхідно вносити редагування до функціоналу або інтерфейсу, зробити це без чіткої та зрозумілої архітектури вкрай важко. Імовірність зачепити пов'язані функції – вкрай висока.

Попри те, що архітектура та дизайн програмного забезпечення коштують компанії недешево, набагато дорожче коштуватиме подальше обслуговування програми та забезпечення працездатності функцій. Розробка архітектури ПЗ надає наступні переваги:

- повністю описує організацію програмного забезпечення та дозволяє бачити структуру кожного процесу;
- є єдиним та загальним базисом у разі розробки серії продуктів;
- знижує ризики та ймовірність помилок під час розробки;
- є формою першорядного виду готового робочого програмного забезпечення, яке можна відчувати як єдиний цілісний організм, тобто, ще на етапі розробки архітектури стає зрозуміло, чи працюватимуть ті чи інші функції;
- дозволяє повторно використовувати модулі, що значно прискорює процес розробки, знижує навантаження на код й робить застосунок швидшим;

- є єдиною системою для роботи в команді, ведення документації, містить термінологію, дозволяє команді розробників розуміти один одного й набагато швидше та ефективніше розробляти програмне забезпечення;
- дозволяє бачити можливості програми, оцінювати рівень масштабованості та методи подальшого розвитку системи.

Архітектура розробки програмного забезпечення виконує одну з ключових ролей під час розробки.

Для того, щоб побудувати правильну і надійну архітектуру і грамотно спроектувати інтеграцію програмних систем необхідно чітко слідувати сучасним стандартам в цих областях. Без цього велика ймовірність створити архітектуру, яка нездатна розвиватися і задовольняти зростаючим потребам користувачів ІТ. В якості законодавців стандартів у цій галузі виступають такі міжнародні організації як SEI (*Software Engineering Institute*), WWW (консорціум *World Wide Web*), OMG (*Object Management Group*), організація розробників Java - JCP (*Java Community Process*), IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) та інші.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Роберт Мартін, Чиста архітектура, Фабула, – К., 2019, – 368 с.
2. Neal Ford, Mark Richards, *Fundamentals of Software Architecture: An Engineering Approach. A Comprehensive Guide to Patterns, Characteristics, and Best Practices*, O'Reilly Media, – USA., 2020, – 400 p.
3. Лаврищева К. М., Підручник "Програмна інженерія". Режим доступу: <https://web.archive.org/web/20120628103421/http://www.programsfactory.univ.kiev.ua/content/books/2>
4. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures [Електронний ресурс] // UCI: [сайт]. [2000]. URL: <https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm>

REFERENCES

1. Robert Martin, *Clean Architecture*, Fabyula, – K., 2019, – 368 p.
2. Neal Ford, Mark Richards, *Fundamentals of Software Architecture: An Engineering Approach. A Comprehensive Guide to Patterns, Characteristics, and Best Practices*, O'Reilly Media, – USA., 2020, – 400 p.
3. Лаврищева К. М., Підручник "Програмна інженерія". Режим доступу: <https://web.archive.org/web/20120628103421/http://www.programsfactory.univ.kiev.ua/content/books/2>
4. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures [Електронний ресурс] // UCI: [сайт]. [2000]. URL: <https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm>

РЕФЕРАТ

Ходаков Д.В. Архітектурні шаблони і стилі. Поєднання архітектурних стилів / Д.В. Ходаков // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

Розглянуто дослідження в області проектування, раніше проблеми складності вирішувалися розробниками шляхом правильного вибору структур даних та розробки алгоритмів, частково розмежуванню повноважень. Проаналізовано архітектурні стилі, визначено набір типів компонентів системи і набір шаблонів взаємодій з передачі даних або управління. Для вирішення завдань першого типу застосовуються системи EAI (*Enterprise Application Integration*), які іноді називаються A2A (*Application-to-Application Integration*), а для вирішення завдань другого типу застосовуються системи B2B (*Business-to-Business Integration*). У деяких ситуаціях дуже складно визначити різницю між інтеграцією A2A і B2B, оскільки складність деяких рішень всередині інформаційних систем може перевищувати складність рішень для їх спільного функціонування. Проведено порівняння використання різних архітектурних стилів, які підходять для вирішення різних завдань в плані забезпечення нефункціональних вимог, хоча одну і ту ж функціональність можна реалізувати, використовуючи різні стилі. Запропоновано практичну модель поєднання, яка створює повноцінну систему. Безпосередня короткострокова перевага підходу ESB полягає в тому, що він досягає такого ж загального ефекту, як підхід EAI (хаб-спиця), але при значно нижчій загальній вартості володіння. Ця економія реалізується не лише за рахунок зменшення витрат на апаратне та програмне забезпечення, але й за рахунок економії праці, яка реалізується завдяки використанню розподіленої та гнучкої структури. Визначається набір принципів інтеграції та забезпечується проміжне програмне забезпечення, що може складатися з поєднання технологій та послуг, які забезпечують інтеграцію декількох систем. Архітектура розробки програмного забезпечення виконує одну з ключових ролей під час розробки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АРХІТЕКТУРА ПЗ, ІНТЕГРАЦІЯ ПЗ, ПРОЕКТУВАННЯ ПЗ.

ABSTRACT

Khodakov D.V. Architectural templates and styles. Combination of architectural styles. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

Research in the field of design is considered, previously the problems of complexity were solved by developers through the correct choice of data structures and the development of algorithms, partly by separation of powers. Architectural styles are analyzed, a set of types of system components and a set of patterns of data transfer or control interactions are defined. EAI (Enterprise Application Integration) systems, sometimes called A2A (Application-to-Application Integration), are used to solve the first type of tasks, and B2B (Business-to-Business Integration) systems are used to solve the second type of tasks. In some situations, it is very difficult to determine the difference between A2A and B2B integration, since the complexity of some solutions within information systems may exceed the complexity of solutions for their joint functioning. A comparison is made of the use of different architectural styles, which are suitable for solving different tasks in terms of ensuring non-functional requirements, although the same functionality can be implemented using different styles. A practical model of combination, which creates a full-fledged system, is proposed. The immediate short-term advantage of the ESB approach is that it achieves the same overall effect as the EAI (hub-and-spoke) approach, but at a significantly lower total cost of ownership. These savings are realized not only through reduced hardware and software costs, but also through labor savings realized through the use of a distributed and flexible structure. A set of integration principles is defined and middleware is provided, which can consist of a combination of technologies and services that enable the integration of multiple systems. Software development architecture plays one of the key roles during development.

KEYWORDS: SOFTWARE ARCHITECTURE, SOFTWARE INTEGRATION, SOFTWARE DESIGN.

АВТОР:

Ходаков Даниїл Вікторович, кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, e-mail: daniil.khodakov@npp.nau.edu.ua, <https://orcid.org/0009-0000-7970-151X>, тел. +380444067098, Україна, 03058, м. Київ, проспект Любомира Гузара 1.

AUTHOR:

Khodakov Daniil Viktorovich, Ph.D. in Technical Science, National aviation university, e-mail: daniil.khodakov@npp.nau.edu.ua, <https://orcid.org/0009-0000-7970-151X>, ph. num.+380444067098, Ukraine, 03058, Kyiv, Lybomira Gyzara avenue 1.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Радішевський М.Ф., кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, Національний авіаційний університет.

Куклінський М.В., кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення, Національний авіаційний університет.

REVIEWER:

Radishevskyi M.F., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Software Engineering, National Aviation University.

Kuklinsky M.V., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Software Engineering, National Aviation University.

ПРО НЕГАТИВНІ ТЕРМОМЕХАНІЧНІ ЕФЕКТИ В ЗЕРНИСНИХ КОМПОЗИТАХ

Шевчук Л.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, ludmilashevchuk25@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5748-9527

Заєць Ю.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, yzaets@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1836-2010

ON NEGATIVE THERMOMECHANICAL EFFECTS IN GRAIN COMPOSITES

Shevchuk L. V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, ludmilashevchuk25@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5748-9527

Zaiets Yu. O., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, yzaets@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1836-2010

Постановка проблеми.

У композитах із зернистим наповнювачем несучим елементом є матриця, а міцніші зерна відіграють роль перешкод на шляху поширення тріщини, що виникла під дією сил. Армують зерна можуть мати різні форми та розміри, а відстані між ними можуть становити від 0,1 до 3 і більше розмірів самого зерна.

Оскільки сконструйовані таким чином матеріали мають підвищені показники механічних та термофізичних властивостей, то дослідники приділяють велику увагу питанням теоретичного передбачення значень ефективних модулів термомеханічних параметрів (модулів пружності, коефіцієнтів Пуассона, коефіцієнта теплопровідності та коефіцієнта лінійного температурного розширення) комбінованої системи. При цьому для матеріалів, що використовуються у великих діапазонах зміни температури, широке обговорення та практичне застосування на прикладах сферичних моделей включень знаходить ідея інтегрування в матрицю композиту включень з низьким (і навіть від'ємним) коефіцієнтом лінійного температурного розширення для зниження ефективного коефіцієнта лінійного температурного розширення всього композиту [1-7].

Очевидно, що матеріали з низькими значеннями таких коефіцієнтів можуть працювати в широких діапазонах зміни температур в умовах значних конструктивних обмежень на їхнє вільне деформування, не відчуває додаткових термічних напружень. Проте, тут виникають серйозні побоювання: якою ціною досягаються ці структурні зміни? Чи не знижується в цьому випадку загальна силова та термічна міцність матеріалу через те, що при цьому реалізується термічна несумісність матриці (високий позитивний коефіцієнт температурного лінійного розширення) і включень (низький або від'ємний коефіцієнт температурного лінійного розширення) і ми заганяємо всередину матеріалу додаткові (візуально непомітні) концентратори термонапружень які можуть викликати локалізовані мікроефекти та деструкції на поверхнях контакту матеріалів матриці та включень?

Для перевірки даної гіпотези на прикладі сферичної моделі зерна наповнювача поставлена і розв'язана задача про термонапружений стан ізольованого пружного включення з різними термомеханічними властивостями в умовах стаціонарної зміни їх температури.

Виклад основного матеріалу.

Розглянемо задачу про термонапружений стан пружної кулі радіусу r_1 (тіло 1 на рис. 1 а), включеного в пружне середовище 2 (рис. 1 б), при зміні в цій системі температури на величину T . Вважатимемо, що розміри середовища 2 не обмежені. Термодеформований стан системи з включенням має центральну симетрію та визначається сферичними координатами r , φ , θ (рис. 2) з початком у центрі тіла 1.

Для даного випадку рівняння термопружної рівноваги має вигляд [8, 9]

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{2\sigma_r - \sigma_\varphi - \sigma_\theta}{r} = 0. \quad (1)$$

Вирази для нормальних напружень на площинах $r = \text{const}$, $\varphi = \text{const}$, $\theta = \text{const}$ набувають види:

$$\begin{aligned}\sigma_r &= (\lambda + 2\mu)\varepsilon_r + \lambda(\varepsilon_\varphi + \varepsilon_\theta) - (3\lambda + 2\mu)\alpha T, \\ \sigma_\varphi &= \sigma_\theta = \lambda\varepsilon_r + 2(\lambda + \mu)\varepsilon_\varphi - (3\lambda + 2\mu)\alpha T.\end{aligned}\quad (2)$$

Деформації ε_r і ε_φ вздовж відповідних координатних ліній

$$\varepsilon_r = \frac{du}{dr}, \quad \varepsilon_\varphi = \frac{u}{r}, \quad (3)$$

де u – радіальне переміщення.

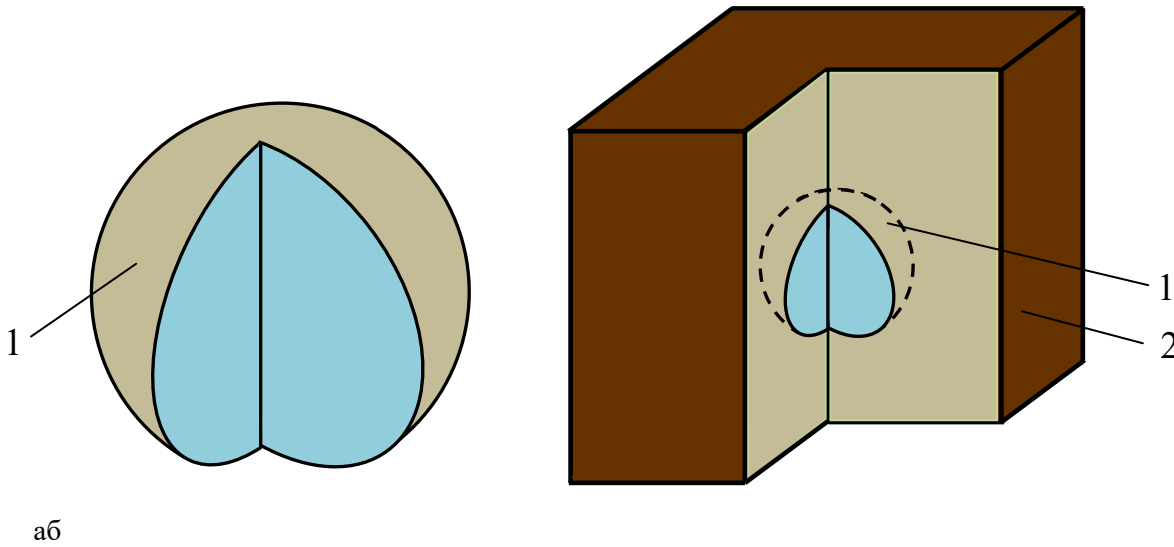


Рисунок 1 - Схеми пружного сферичного тіла 1 (а) та пружного середовища 2 зі сферичним включенням (б)
Figure 1 – Diagrams of an elastic spherical body 1 (a) and an elastic medium 2 with a spherical inclusion (b)

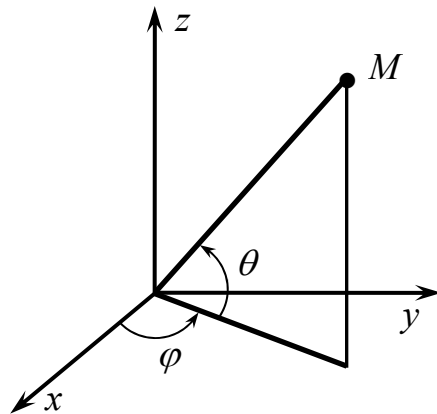


Рисунок 2 – Схема сферичної системи координат
Figure 2 – Diagram of a spherical coordinate system

У виразах (2) λ і μ – ізотермічні параметри Ламе, α – коефіцієнт лінійного температурного розширення.

Після відповідних підстановок систему (1)-(3) можна записати у вигляді одного рівняння:

$$\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{du}{dr} - \frac{2}{r^2} u = 0. \quad (4)$$

В межах тіла 1 и середовища 2 дане рівняння можна записати

$$\begin{aligned} \frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} (r^2 u_{(1)}) \right] &= 0 & (r < r_1), \\ \frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} (r^2 u_{(2)}) \right] &= 0 & (r > r_1). \end{aligned} \quad (5)$$

Розв'язок системи (5) має вигляд

$$\begin{aligned} u_{(1)}(r) &= r C_1 + \frac{1}{r^2} C_2 & (r < r_1), \\ u_{(2)}(r) &= r C_3 + \frac{1}{r^2} C_4 & (r > r_1). \end{aligned} \quad (6)$$

Сталі C_1, C_2, C_3, C_4 в рівняннях знаходяться з граничних рівнянь та умов контакту

$$u_{(1)}(0) = 0, \quad (7)$$

$$u_{(1)}(r_1) = u_{(2)}(r_1), \quad (8)$$

$$\sigma_r^{(1)}(r_1) = \sigma_r^{(2)}(r_1), \quad (9)$$

$$\sigma_r^{(2)}(r) \rightarrow 0 \text{ при } r \rightarrow \infty. \quad (10)$$

З рівності (7) і першого рівняння системи(6) маємо

$$C_2 = 0. \quad (11)$$

Щоб скористатися умовами (9), (10), запишемо формули

$$\begin{aligned} \sigma_r^{(1)}(r) &= (\lambda_1 + 2\mu_1) \frac{\partial u_{(1)}}{\partial r} + \frac{2\lambda_1}{r} u_{(1)} - (3\lambda_1 + 2\mu_1) \alpha_T T = \\ &= (3\lambda_1 + 2\mu_1) C_1 - (3\lambda_1 + 2\mu_1) \alpha_1 T, \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \sigma_r^{(2)}(r) &= (\lambda_2 + 2\mu_2) \frac{\partial u_{(2)}}{\partial r} + \frac{2\lambda_2}{r} u_{(2)} - (3\lambda_2 + 2\mu_2) \alpha_2 T = \\ &= (3\lambda_2 + 2\mu_2) C_3 - \frac{4\mu_2}{r^3} C_4 - (3\lambda_2 + 2\mu_2) \alpha_2 T. \end{aligned} \quad (13)$$

За допомогою умови (10) и рівності (13) одержимо

$$C_3 = \alpha_2 T. \quad (14)$$

Рівності (11), (14) дозволяють переписати систему (8), (9) у вигляді

$$r_1 C_1 - \frac{1}{r_1^2} C_4 = r_1 \alpha_2 T, \quad (15)$$

$$(3\lambda_1 + 2\mu_1) C_1 - \frac{4\mu_2}{r_1^3} C_4 = (3\lambda_1 + 2\mu_1) \alpha_1 T.$$

Вона має розв'язання

$$C_1 = \alpha_2 T + \frac{(3\lambda_1 + 2\mu_1)(\alpha_1 - \alpha_2)T}{3\lambda_1 + 2\mu_1 + 4\mu_2}, \quad (16)$$

$$C_4 = \frac{r_1^3 (3\lambda_1 + 2\mu_1)(\alpha_1 - \alpha_2)T}{3\lambda_1 + 2\mu_1 + 4\mu_2}.$$

Використовуючи знайдені сталі, знайдемо напруження в тілі 1

$$\sigma_r^{(1)} = \sigma_\varphi^{(1)} = \sigma_\theta^{(1)} = -\frac{4\mu_2(3\lambda_1 + 2\mu_1)(\alpha_1 - \alpha_2)T}{3\lambda_1 + 2\mu_1 + 4\mu_2} \quad (17)$$

и в середовищі 2

$$\sigma_r^{(2)} = -\frac{4r_1^3 \mu_2 (3\lambda_1 + 2\mu_1)(\alpha_1 - \alpha_2)T}{r^3 (3\lambda_1 + 2\mu_1 + 4\mu_2)}, \quad (18)$$

$$\sigma_\varphi^{(2)} = \sigma_\theta^{(2)} = \frac{2r_1^3 \mu_2 (3\lambda_1 + 2\mu_1)(\alpha_1 - \alpha_2)T}{r^3 (\lambda_1 + 2\mu_1 + 4\mu_2)}.$$

Для зручності запишемо співвідношення (17), (18), через модуль пружності E та коефіцієнт Пуассона ν за допомогою формул переходу

$$\lambda = \frac{E\nu}{(1+\nu)(1-2\nu)}, \quad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)}. \quad (19)$$

Тоді для включення 1 формула (17) має вигляд:

$$\sigma_r^{(1)} = \sigma_\varphi^{(1)} = \sigma_\theta^{(1)} = -\frac{2E_1 E_2 (1+\nu_1)(\alpha_1 - \alpha_2)T}{E_1(1+\nu_1)(1+\nu_2) + 2E_2(1-2\nu_2)} \quad (20)$$

и для середовища 2 рівність (18) запишеться у формі:

$$\sigma_r^{(2)}(r) = -\frac{2r_1^3}{r^3} \cdot \frac{E_1 E_2 (1+\nu_1)(\alpha_1 - \alpha_2)T}{E_1(1+\nu_1)(1+\nu_2) + 2E_2(1-2\nu_2)}, \quad (21)$$

$$\sigma_\varphi^{(2)}(r) = \sigma_\theta^{(2)}(r) = \frac{r_1^3}{r^3} \cdot \frac{E_1 E_2 (1+\nu_1)(\alpha_1 - \alpha_2)T}{E_1(1+\nu_1)(1+\nu_2) + 2E_2(1-2\nu_2)}.$$

Аналіз формул (17), (18) або (20), (21) дозволяє зробити висновок, що в тілі 1 все термонапруження $\sigma_r^{(1)}$, $\sigma_\varphi^{(1)}$, $\sigma_\theta^{(1)}$ від r не залежать, рівні між собою та дорівнюють напруженню $\sigma_r^{(2)}(r_1)$ в середовищі 2 на контактній поверхні $r = r_1$ и пропорційні рівності $(\alpha_1 - \alpha_2)$.

Крім того вони збільшуються з зростанням E_1 и E_2 .

В середовищі 2 термонапруження $\sigma_r^{(2)}(r)$ в два рази більше за термонапруження $\sigma_\varphi^{(2)}(r)$ и $\sigma_\theta^{(2)}(r)$, дані термонапруження відрізняються знаком и зменшуються обернено пропорційно кубу відстані r від центра системи до точки, що розглядається.

Для випадку $\alpha_1 < \alpha_2$, $T > 0$ графіки даних функцій подані на рис. 3.

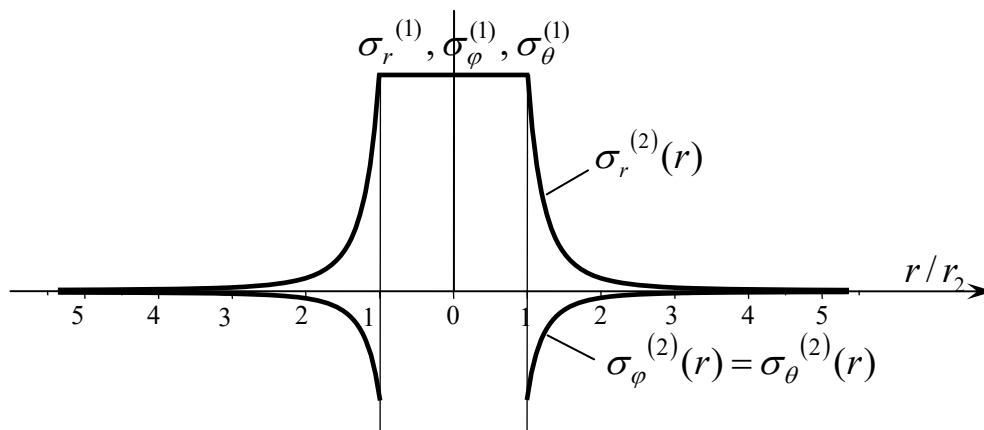


Рисунок 3 – Графіки розподілу функцій $\sigma_r(r)$, $\sigma_\varphi(r)$, $\sigma_\theta(r)$ в тілі 1 і середовищі 2

Figure 3 – Graphs of the distribution of functions $\sigma_r(r)$, $\sigma_\varphi(r)$, $\sigma_\theta(r)$ in body 1 and medium 2

Наведені діаграми свідчать про те, що додаткові термонапруження $\sigma_r^{(2)}(r)$, $\sigma_\varphi^{(2)}(r)$, $\sigma_\theta^{(2)}(r)$ в середовищі 2, викликані різницею коефіцієнтів лінійного температурного розширення і мають вигляд сингулярностей третього порядку, причому вони залежать від знаків різниці $(\alpha_1 - \alpha_2)$ і температури T , і обов'язково одне з цих напружень додатне, а інше – від'ємне. Цю обставину необхідно враховувати для середовищ, що слабо чинять опір напруженням розтягу.

Розглянемо випадки, коли матеріалами матриць є алюміній та титан, а частинки включень складаються з алмазу або вольфраму. Значення їх термомеханічних параметрів наведені у табл.1.

Таблиця 1 – Значення термомеханічних властивостей компонентів композитів

Table 1 – Values of thermomechanical parameters of composite components

Термомеханічні параметри	Al	Ti	C	W
λ , ГПа	55,5	74,1	306	208
μ , ГПа	25,5	41,4	478	151
α , 10^{-6} , K^{-1}	22,6	8,6	1,2	4,3

Для таких поєднань матеріалів у рамках прийнятої моделі сферичних включень підраховані значення термонапружень $\sigma_r^{(1)}$, $\sigma_\varphi^{(1)}$ у включенні і максимальні значення $\sigma_{r,\max}^{(2)}$, $\sigma_{\varphi,\max}^{(2)}$ в тілі матриці (на поверхні $r = r_1$) при зміні температури системи на величину $\Delta T = 100^\circ K$. Значення цих напружень подані в табл.2.

Таблиця 2 – Розрахункові значення термонапружень

Table 2 – Calculated values of thermal stresses

Комбінація матеріалів	$\sigma_r^{(1)} = \sigma_\varphi^{(1)}$, ГПа	$\sigma_{r,\max}^{(2)}$, ГПа	$\sigma_{\varphi,\max}^{(2)}$, ГПа
C-Al	0,2070	0,2070	-0,1035
W-Al	0,1681	0,1681	-0,0840
C-Ti	0,1125	0,1125	-0,0563
W-Ti	0,0604	0,0604	-0,0302

Як впливає з наведених вище даних, навіть при порівняно невисокій зміні температури додаткові внутрішні локалізовані термонапруження алюмінієвої матриці, які викликані несумісністю її термомеханічних параметрів з параметрами включень, мають високі значення. Вони співмірні зі

значеннями границь міцності для алюмінієвих сплавів, що знаходяться в діапазоні 0,16-0,5 ГПа. Ця особливість обумовлена великим значенням коефіцієнта $\alpha_2 = 22,6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Для титанової матриці ситуація краща, оскільки в неї $\alpha_2 = 8,6 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, проте і в цьому випадку ситуація близька до критичної, тому що для сплавів титану границі міцності знаходяться у діапазоні 0,7-1,05 ГПа.

При цьому необхідно враховувати, щорозглянуті зерна ідеальної сферичної форми, в той час як реальні армуючі частинки мають грановані форми з ребрами та вершинами, на яких інтенсивність термонапружень значно зростає. Крім того тут має місце ще одна особливість, пов'язана з тим, що ці напруження зменшуються пропорційно кубу радіуса і мають локальний характер. Тому велика ймовірність, що в матеріалі металеві матриці в околі зерен виникають пластичні деформації та дефекти, а в матрицях з крихких керамічних або полімерних матеріалів відбувається локальне розтріскування. У загальному випадку вони можуть мати прихований характер і не піддаватися спостереженню. Тут слід відзначити ще одну особливість. Справа в тому, що в процесі пружнопластичних і крихких деформацій рівні термонапружень падають (релаксують), проте локальні дефекти і тріщини, які понижують загальну міцність всього композиту, залишаються.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гуляєв В.І., Гайдайчук В.В., Густелєв О.О., Шевчук Л.В. Термонапружений стан шарувато-неднорідних дорожніх покриттів. Прикладна механіка 2021. – 57, №1 –С. 100-114.
2. Baumeister E., Klaeger S., Kaldos A. Characterization and application of hollow-sphere-composite lightweight materials // JMDASZ, Proc. IMechE Part L: J. Materials. Design and Applications, IMechE. – 2005, 219. – Pp. 207–216.
3. Beleicheva T.G. and Ziling K.K. «Thermoelastic axisymmetric problem for a two-layer cylinder» // J. Appl. Mech. Technical Physics. –1978. – V. 19. – Pp. 108–113.
4. Carlson D.E. Thermoelasticity, Encyclopedia of Physics, Vol. Via/2 (ed. Trusdell C.), Springer, Berlin, 1972, pp. 297–345.
5. Christian Karch. Micromechanical Analysis of thermal expansion coefficients // Modeling and Numerical Simulation of Material Science. – 2014, V. 4, № 3. – Pp. 1–15.
6. Christiansen R.M. Mechanics of Composite Materials; Wiley: New York, NY, USA, 1979, 348 p.
7. Christensen R.M., Lo K.H. Solutions for effective shear properties in three-phase sphere and cylinder models // J. Mech. Phys. Solids. – 1979. – V. 27. –Pp.315–330.
8. Kovalenko A.D. Thermoelasticity: Basic Theory and Applications, Wolters-Noordhoff, Groningen: The Netherlands, 1972.
9. Nowacki W. Thermoelasticity, 2 nded. Oxford: PWN – Polish Scientific Publishers, Warsaw and Pergamon Press, 1986.

REFERENCES

1. Huliaiev V.I., Haidachuk V.V., Hustieliev O.O., Shevchuk L.V Termonapruzhenyistan sharuvato-nednoridnykh dorozhnikhpokryttiv. Prykladnamekhanika 2021. – 57, №1 – 100-114 s.
2. Baumeister E., Klaeger S., Kaldos A. Characterization and application of hollow-sphere-composite lightweight materials // JMDASZ, Proc. IMechE Part L: J. Materials. Design and Applications, IMechE. – 2005, 219. – Pp. 207–216.
3. Beleicheva T.G. and Ziling K.K. «Thermoelastic axisymmetric problem for a two-layer cylinder» // J. Appl. Mech. Technical Physics. –1978. – V. 19. – Pp. 108–113.
4. Carlson D.E. Thermoelasticity, Encyclopedia of Physics, Vol. Via/2 (ed. Trusdell C.), Springer, Berlin, 1972, pp. 297–345.
5. Christian Karch. Micromechanical Analysis of thermal expansion coefficients // Modeling and Numerical Simulation of Material Science. – 2014, V. 4, № 3. – Pp. 1–15.
6. Christiansen R.M. Mechanics of Composite Materials; Wiley: New York, NY, USA, 1979, 348 p.
7. Christensen R.M., Lo K.H. Solutions for effective shear properties in three-phase sphere and cylinder models // J. Mech. Phys. Solids. – 1979. – V. 27. –Pp.315–330.
8. Kovalenko A.D. Thermoelasticity: Basic Theory and Applications, Wolters-Noordhoff, Groningen: The Netherlands, 1972.
9. Nowacki W. Thermoelasticity, 2 nded. Oxford: PWN – Polish Scientific Publishers, Warsaw and Pergamon Press, 1986.

РЕФЕРАТ

Шевчук Л.В. Про негативні термомеханічні ефекти в зернистих композитах/ Л.В. Шевчук, Ю.О. Заєць // Вісник Національного транспортного університету.Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

Поставлена задача про зародження додаткових внутрішніх термонапруження в композитному матеріалі із зернистим наповнювачем при дії температури. Використовуючи модель сферичного включення, що використовується в теорії композитів, сформульовані розв'язувальні рівняння, в замкнутій формі побудовано їх аналітичні розв'язання. Показано, що внутрішні термонапруження, що виникають у системі, мають локалізований характер, пропорційні значенням модулів пружності матеріалів кожної фази і різниці їх коефіцієнтів лінійного температурного розширення та зменшуються обернено пропорційно кубу радіальної координати. За допомогою конкретних прикладних прикладів встановлено, що навіть при досить малій зміні температури ці напруження можуть досягати граничних значень, що сприяють зародженню в системі внутрішніх прихованих локалізованих дефектів та тріщин.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗЕРНИСТИЙ КОМПОЗИТ, СФЕРИЧНИЙ НАПОВНЮВАЧ, СФЕРА З ПОКРИТТЯМ, ТЕРМОМЕХАНІЧНА НЕСУМІСНІСТЬ, ДЕФЕКТОУТВОРЕННЯ, ПОЛА СФЕРА.

ABSTRACT

Shevchuk L.V., Zaiets Yu.O. On negative thermomechanical effects in grain composites. Visnyk National Transport University. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

The problem of the initiation of additional internal thermal stresses in a composite material with a granular filler under the influence of temperature has been posed. Using the spherical inclusion model used in the theory of composites, resolving equations are formulated, and their analytical solutions are constructed in a closed form. It is shown that the internal thermal stresses arising in the system are of a localized nature, proportional to the value of the elastic module of the materials of each phase and the difference between their coefficients of linear thermal expansion, and decrease in inverse proportion to the cube of the radial coordinate. With the help of specific applied examples, it has been established that even with a sufficiently small change in temperature, these stresses can reach limit values that contribute to the initiation of hidden internal localized defects and cracks in the system.

KEYWORDS: GRANULAR COMPOSITE, SPHERICAL FILLER, COATED SPHERE, THERMOMECHANICAL MISMATCH, DEFECT FORMATION, HOLLOW SPHERE.

АВТОРИ:

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, orcid.org/0000-0002-5748-9527.

Заєць Юлія Олександрівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри вищої математики, e-mail: yzaets@gmail.com, тел. +380979712351, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, orcid.org/0000-0002-5748-9527

AUTHORS:

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.

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.

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, професор кафедри вищої математики, Київ, Україна.

REVIEWER:

Gaidaichuk V.V., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, Kyiv National University of Structures and Architecture, Head of Department of Theoretical Mechanics, Kyiv, Ukraine.

Gulyayev V.I., Ph.D., Engineering (Dr.), professor, National Transport University, professor Department of Mathematics, Kyiv, Ukraine.

АНАЛІЗ ВЗАЄМОДІЇ УЧАСНИКІВ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИТОРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПРИ АВТОМОБІЛЬНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ

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

ANALYSIS OF INTERACTION AMONG PARTICIPANTS IN FREIGHT FORWARDING ACTIVITIES IN ROAD TRANSPORTATION

Shiryaeva 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. Транспортно-експедиторські послуги, які надаються експедиторами, складаються з комплексу послуг, пов'язаних з підготовкою та відправленням вантажів, проведенням взаєморозрахунків, контролем за транспортуванням і одержанням вантажів тощо. У розвинутих країнах експедитор є основною сполучною ланкою між клієнтом та перевізником. Отже, часто проблема полягає в неефективності взаємодії між учасниками транспортно-експедиторської діяльності (ТЕД). Недостатня координація та співпраця між ними може призводити до затримок, втрат вантажу, недоліків у виконанні послуг, а також збільшення витрат і ускладнення логістичних процесів.

Аналіз останніх публікацій по проблемі. Дослідженню питання взаємодії учасників транспортно-експедиторського обслуговування присвячені роботи вітчизняних і зарубіжних вчених: Колот А. М., Шеметов П.В., Джон Гатер, Джеймс Р. Сток, Джон Ментзер та інші. Недостатньо приділено уваги саме підвищенню ефективності взаємодії учасників транспортно-експедиторської діяльності.

Формулювання цілей дослідження (постановка завдання). Метою є дослідження теоретичних відомостей щодо взаємодії учасників транспортно-експедиторської діяльності. Підвищення ефективності взаємодії учасників ТЕД та зниження транспортних витрат з впровадженням принципів логістики.

Виклад основних результатів та їх обґрунтування. Згідно Закону України «Про транспортно-експедиторську діяльність» від 1 липня 2004 року № 1955-IV, транспортно-експедиторська діяльність визначається як підприємницька діяльність із надання транспортно-експедиторських послуг з організації та забезпечення перевезень експортних, імпорتنних, транзитних або інших вантажів; транспортно-експедиторська послуга визначається як робота, що безпосередньо пов'язана з організацією та забезпеченням перевезень експортного, імпортного, транзитного або іншого вантажу за договором транспортного експедирування.

Суб'єктами експедиторської діяльності є її учасники – клієнти, перевізники, експедитори та інші особи, які виконують роботи (надають послуги) при перевезенні вантажів. У табл. 1 представлені визначення основних учасників транспортно-експедиторської діяльності. [1]

Для дослідження взаємодії учасників ТЕД потрібно проаналізувати взаємовідносини учасників ТЕД, а саме види договорів, що укладаються між ними.

Організація послуг, пов'язаних із перевезенням, або саме перевезення вантажу врегульовується сторонами за допомогою договору перевезення або транспортного експедирування: за договором перевезення вантажу одна сторона (перевізник) зобов'язується доставити ввірений їй другою стороною (відправником) вантаж до пункту призначення і видати його особі, яка має право на одержання вантажу (одержувачеві), а відправник зобов'язується сплатити за перевезення вантажу встановлену плату (ст. 909 Цивільного кодексу України).

За договором транспортного експедирування одна сторона (експедитор) зобов'язується за плату і за рахунок другої сторони (клієнта) виконати або організувати виконання визначених договором послуг, пов'язаних із перевезенням вантажу. Договором транспортного експедирування

може бути встановлено обов'язок експедитора організувати перевезення вантажу транспортом і за маршрутом, вибраним експедитором або клієнтом, зобов'язання експедитора укласти від свого імені або від імені клієнта договір перевезення вантажу, забезпечити відправку і одержання вантажу, а також інші зобов'язання, пов'язані з перевезенням (ст. 308 Господарського кодексу України) [2-3]

Таблиця 1 – Основні учасники транспортно-експедиторської діяльності
Table 1 – The main participants in transport and forwarding activities

Учасник	Визначення
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
Клієнт	споживач послуг експедитора (юридична або фізична особа), який за договором транспортного експедирування самостійно або через представника, що діє від його імені, доручає експедитору виконати чи організувати або забезпечити виконання визначених договором транспортного експедирування послуг та оплачує їх, включаючи плату експедитору
Перевізник	юридична або фізична особа, яка взяла на себе зобов'язання і відповідальність за договором перевезення вантажу за доставку до місця призначення довіреного їй вантажу, перевезення вантажів та їх видачу (передачу) вантажоодержувачу або іншій особі, зазначеній у документі, що регулює відносини між експедитором та перевізником
Учасники транспортно-експедиторської діяльності	клієнти, перевізники, експедитори, транспортні агенти, порти, залізничні станції, об'єднання та спеціалізовані підприємства залізничного, авіаційного, автомобільного, внутрішнього водного та морського транспорту, митні брокери та інші особи, що виконують роботи (надають послуги) при перевезенні вантажів

Договори перевезення вантажів та транспортного експедирування можна поділити на види за такими ознаками: вид транспортного сполучення, тривалість співпраці, система оподаткування перевізника та місцезнаходження сторін договору (рис 1).



Рисунок 1 – Види договорів відповідно перевезення вантажів і транспортного експедирування
Figure 1 – Types of contracts related to transportation of goods and freight forwarding

Договором транспортного експедирування може бути передбачено надання додаткових послуг, необхідних для доставки вантажу (перевірка кількості та стану вантажу, його завантаження та вивантаження, сплата мита, зборів і витрат, покладених на клієнта, зберігання вантажу до його одержання у пункті призначення, одержання необхідних для експорту та імпорту документів, виконання митних формальностей тощо).

Робота експедитора не обмежується лише підписанням договору-заявки. Експедитор повинен завжди володіти інформацією щодо місцезнаходження вантажу та транспортного засобу (відстеження транспортного засобу в дорозі) задля своєчасного вирішення можливих проблем. Певною мірою експедитор може виступати в ролі посередника між вантажовласником та постачальниками послуг (транспортування, митного оформлення вантажу, консолідації на транзитних складах, оформлення супутніх документів тощо). Водночас транспортний експедитор може бути і безпосереднім виконавцем усього комплексу послуг з експедирування вантажів (відповідно до технологій роботи мати склади, різні види транспортних засобів, виробничі приміщення, контейнери тощо). Отже, проаналізуємо послідовність надання транспортно-експедиторської послуги (ТЕП), яка складається із п'яти основних етапів:

- обслуговування під час прийому заявки від клієнтів на ТЕП;
- розробка транспортно-технологічної схеми доставки вантажу;
- обслуговування під час відправлення вантажу;
- виконання транспортно-експедиторських операцій при транспортуванні вантажів ;
- обслуговування під час одержання вантажу.

Технологічна схема надання транспортно-експедиторської послуги наведена на рис.2.



Рисунок 2 – Технологічна схема надання транспортно-експедиторської послуги

Figure 2 – Technological scheme of providing transport and forwarding services

При дослідженні практичного досвіду роботи транспортно-експедиторських підприємств, потрібно виділити кілька потенційних проблем з якими стикаються сторони при виконанні договорів внутрішніх та міжнародних автомобільних перевезень вантажів:

1. Затримки доставки вантажу. Непередбачувані обставини, такі як погодні умови, дорожні аварії або затримки на кордонах можуть призвести до доставки вантажу пізніше зазначеного строку в заявці.

2. Пошкодження/втрата вантажу. Під час перевезення можуть виникнути ситуації, що призводять до пошкодження або втрати вантажу. Це може бути спричинено недбалістю/необережністю під час завантаження/розвантаження або неправильним упакуванням вантажу.

3. Проблеми з документацією. Невідповідна чи неповна документація може призвести до затримок на кордоні або в інших контрольних пунктах.

4. Фінансові спірні ситуації. Розбіжності у вартості перевезення, платіжні затримки або спірні питання щодо оплати можуть виникнути між учасниками транспортно-експедиторської діяльності.

5. Відповідальність за збитки. В разі втрати або пошкодження, або затримки доставки вантажу сторони можуть не узгодити питання щодо відшкодування збитків, особливо якщо умови щодо відповідальності не були чітко визначені у договорі.

6. Зміни у вимогах та законодавстві. Зміни у митних правилах, тарифах на паливо чи інших законодавчих актах можуть вплинути на вартість та умови перевезень.

7. Проблеми з транспортною логістикою. Неправильне планування маршрутів, нестача транспортних засобів або недоцільне використання ресурсів може спричинити складнощі з доставкою вантажу.

Для усунення потенційних проблем у взаємодії учасників ТЕД запропонована систематизація процесів і узагальнення видів взаємодії, таких як : організаційна, технологічна, технічна, інформаційна та фінансова. Більш детальний опис наведено в табл. 2. [4]

Таблиця 2 – Основні види взаємодії учасників ТЕД

Table 2 – The main types of interaction between participants in transport and forwarding activities

№	Вид взаємодії	Опис
1	Організаційна взаємодія	О Актуальна та ефективна система прийняття рішень щодо організації та управління транспортно-експедиторським процесом не тільки в довгостроковій перспективі, але і в реальному часі.
2	Технологічна взаємодія	- О Використання систем GPS та інших технологій для відстеження руху транспортних засобів у реальному часі, оптимізації маршрутів та планування доставки вантажів. - О Впровадження новітніх технологій для відстеження вантажу та оптимізації ТЕП. - О Розробка раціональної транспортно-технологічної схеми доставки вантажу.
3	Технічна взаємодія	- О Забезпечення належного технічного стану транспортних засобів для здійснення перевезень. - О Підтримання та обслуговування транспортних засобів для забезпечення безперервності процесу перевезення вантажів. - О Відповідність комплексу технічних засобів, що використовується, транспортним характеристикам вантажу. Типи технічних засобів, що застосовуються: засоби укрупнення вантажних місць (піддони, контейнери, тощо), автотранспортні засоби, навантажувально-розвантажувальні механізми і складські приміщення, повинні забезпечити ефективну обробку даного вантажу. - О Відповідність техніко-експлуатаційних параметрів технічних засобів на місцях стику.
4	Інформаційна взаємодія	- О Обмін необхідною інформацією щодо характеристик вантажу, маршрутів перевезення, умов доставки та інших параметрів. - О Оперативність, актуальність та доступність передачі всієї необхідної інформації між усіма учасниками ТЕД.
5	Фінансова взаємодія	- О Розрахунки та внесення платежів за надані послуги з урахуванням умов договору. - О Збалансоване використання фінансових, трудових, технічних ресурсів для оптимізації собівартості товарів, і зокрема собівартості перевезень вантажів. - О Вирішення фінансових питань, пов'язаних з оплатою перевезень, страхуванням вантажів та іншими фінансовими аспектами.

При аналізі виявлено, що для ефективної взаємодії учасників ТЕД доцільно використовувати правила логістики, які отримали назву «Сім правил логістики»:

- 1) потрібний товар (right product);
- 2) відповідної якості (right quality);
- 3) у необхідній кількості (right quantity);
- 4) має бути доставлено в потрібний час (right time);
- 5) в потрібне місце (right place);
- 6) потрібному споживачеві (right customer);
- 7) з мінімальними витратами (right cost).

Недотримання хоча б однієї з умов правил може призвести до втрати клієнтів і, відповідно, певної частки ринку.

Для підвищення ефективності взаємодії запропоновано розподіл повноважень між учасниками ТЕД в таких напрямках, як:

- розподіл обов’язків між клієнтом, експедитором та перевізником;
- відповідальність учасників ТЕД за дотримання обов’язків за договором перевезення вантажів/ транспортного експедирування;
- зниження ймовірності виникнення непередбачуваних обставин або оперативна нейтралізація наслідків цих подій.

Висновки. Здійснення транспортно-експедиторської діяльності регулюється Цивільним кодексом України (ст. 929-935), Господарським кодексом (ст. 316), а також Законом «Про транспортно-експедиторську діяльність» від 01.07.2004 та іншими.

Договори перевезення вантажів та транспортного експедирування є ключовими інструментами для регулювання взаємовідносин учасників ТЕД, вони поділяються на види за такими ознаками: вид транспортного сполучення, тривалість співпраці, система оподаткування перевізника та місцезнаходження сторін договору. Також узагальнено види взаємодії учасників ТЕД, а саме: організаційна, технологічна, технічна, інформаційна та фінансова.

Запропоновано використати «Сім правил логістики» та розподіл повноважень між учасниками ТЕД. Такий підхід дозволяє ефективно керувати всіма етапами транспортно-експедиторського процесу, що сприяють підвищенню ефективності взаємодії, зниженню загальних витрат та мінімізують можливі ризики виникнення затримок чи проблем під час доставки вантажів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ЗАКОН УКРАЇНИ «Про транспортно-експедиторську діяльність» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2004, № 52, ст.562) *{Абзац сьомий статті 1 із змінами, внесеними згідно із Законом № 1054-IX від 03.12.2020}* <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1955-15#Text>
2. Цивільний кодекс України від 21.10.2019 р. // Відомості Верховної Ради України 2003, №№ 40-44, ст. 356.
3. Господарський кодекс України від 17.10.2019 р. // Відомості Верховної Ради України, 2003, № 18, № 19-20, № 21-22, ст. 144.
4. Дослідження взаємодії учасників транспортно-експедиторської діяльності [Електронний ресурс] / С. В. Ширяєва, Н. Ю. Селіванова // Управління проектами, системний аналіз і логістика. – 2015. – Вип. 16(1). – С. 152-157. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Upsal_2015_16\(1\)_22](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Upsal_2015_16(1)_22)

REFERENCES

1. THE LAW OF UKRAINE "On Transport and Forwarding Activities" (Vidomosti Verkhovna Rada of Ukraine (VVR), 2004, No. 52, Article 562) *{Seventh paragraph of Article 1 as amended in accordance with Law No. 1054-IX dated 03.12.2020}* <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1955-15#Text>
2. Civil Code of Ukraine dated October 21, 2019 // Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine 2003, No. 40-44, Art. 356.
3. The Economic Code of Ukraine dated October 17, 2019 // Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine, 2003, No. 18, No. 19-20, No. 21-22, Art. 144.
4. Research on the interaction of participants in transport and forwarding activities [Electronic resource] / S. V. Shiryayeva, N. Yu. Selivanova // Project management, system analysis and logistics. – 2015. – Issue 16(1). – P. 152-157. – Access mode: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Upsal_2015_16\(1\)_22](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Upsal_2015_16(1)_22)

РЕФЕРАТ

Ширяєва С.В. Аналіз взаємодії учасників транспортно-експедиторської діяльності при автомобільних вантажних перевезеннях / С.В. Ширяєва, І.О. Дяченко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

В статті проаналізовано учасників транспортно-експедиторської діяльності згідно чинного законодавства України. Наведено види взаємодії учасників транспортно-експедиторської діяльності. Запропоновано такі заходи, як використання «Сім правил логістики» та розподіл повноважень між учасниками ТЕД, що підвищить ефективність оперативності взаємодії та знизить витрати.

Об’єкт дослідження – процес транспортно-експедиторської діяльності.

Мета роботи – аналіз взаємодії учасників транспортно-експедиторської діяльності та розробка заходів підвищення ефективності комунікації усіх учасників.

Метод дослідження – аналітичний.

Для підвищення ефективності взаємодії учасників транспортно-експедиторської діяльності, було запропоновано заходи, які впливатимуть на зниження витрат та мінімізують можливі ризики при доставці вантажів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИТОРСЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ, ЕКСПЕДИТОР, КЛІЄНТ, ПЕРЕВІЗНИК.

ABSTRACT

Shyriaieva S.V., Diachenko I.O. Analysis of interaction among participants in freight forwarding activities in road transportation. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

The article analyzes participants in freight forwarding activities in accordance with the current legislation of Ukraine. It provides various types of interaction among participants in freight forwarding activities. Measures such as the utilization of the seven logistics rules and the allocation of responsibilities among participants in Freight Forwarding Activities (FFA) are proposed. These measures are aimed at enhancing the efficiency of interaction and reducing costs.

The object of the research is the process of freight forwarding activity.

The aim of the work is to analyze the interaction among participants in freight forwarding activities and to develop measures to enhance the efficiency of communication among all participants.

The research method is analytical.

To enhance the efficiency of interaction among participants in freight forwarding activities, measures have been proposed that will reduce costs and minimize risks in cargo delivery.

KEYWORDS: FREIGHT FORWARDING ACTIVITY, FORWARDER, CLIENT, CARRIER.

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, асистент кафедри транспортних технологій, 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, 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, Assistant of the Department of Transport Technologies, e-mail: makievskairina77@gmail.com, +38(096)9571646, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelianovycha-Pavlenka Str., 1, of. 432, orcid.org/0000-0002-5404-3423.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гульчак Оксана Дмитрівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, професор кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, Київ, Україна.

Гордієнко О.М., кандидат технічних наук, старший викладач, Національний авіаційний університет, старший викладач кафедри авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів Факультету аеронавігації, електроніки та телекомунікації, Київ, Україна.

REVIEWER:

Gulchak O.D., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Transport University, Professor of the Department of Transport Systems and Road Safety, Kyiv, Ukraine.

Gordienko O.M., candidate of technical sciences, senior lecturer, National Aviation University, senior lecturer of the Department of Aviation Computer-Integrated Complexes, Faculty of Aeronautics, Electronics and Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

ПЛОСКІ ТА ПРОСТОРОВІ ПЕРІОДИЧНІ ЗГИННІ КОЛИВАННЯ ПОДОВЖЕНИХ КАРБОНОВИХ НАНОТРУБОК

Шлюнь Н.В., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, nataliyashlyun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1040-8870

PLANE AND SPATIAL PERIODIC BENDING VIBRATIONS OF ELONGATED CARBON NANOTUBES

Shlyun N.V., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine, nataliyashlyun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1040-8870

Вступ. В останні десятиліття проблеми дослідження хімічних, фізичних та механічних особливостей карбонових нанотрубок (рис.1) набувають все більшу актуальність у зв'язку зі зростаючими перспективами їх прикладного використання.

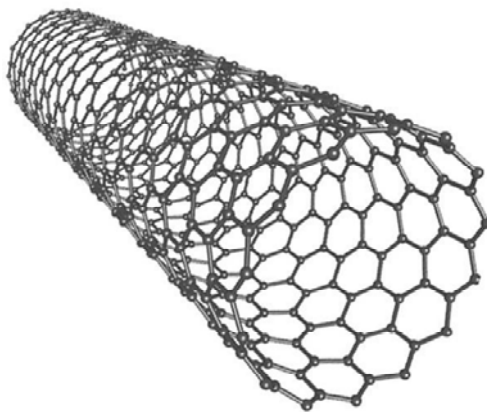


Рисунок 1 – Геометрична схема решітчастої нанотрубки з атомами вуглецю у вузлах
Figure 1 – Geometric scheme of a latticed nanotube with carbon atoms at its nodes

Завдяки тому, що нанотрубки являють собою конструктивні елементи з рекордно високими показниками модуля пружності та міцності, вони привертають до себе все більш високий інтерес з точки зору створення нових матеріалів. До них можна віднести надміцні волокна пряжі та тканини, а також нові армовані ними композити. У зв'язку з цим, теоретичними та експериментальними методами вивчаються особливості механічної поведінки як індивідуальних нанотрубок, так і їх робота в складі композитних структур. При цьому на базі стрижневих моделей зі зведеними параметрами товщини стінки нанотрубки, а також її діаметра, модуля пружності і коефіцієнту Пуассона аналізуються явища їх поздовжнього деформування, вигинання, стійкості та коливань. Поряд з цим, однак, залишаються майже не вивченими питання динаміки подовжених нанотрубок, попередньо напружених поздовжніми силами та крутними моментами. Враховуючи, що у вихідному стані геометрія осевої лінії нанотрубки не завжди визначена й її геометрія, що вимагається, може бути забезпечена за рахунок спеціального попереднього її напруження, можна відмітити, що задачі аналізу динаміки нанотрубок за таких умов являються актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В силу відмічених унікальних фізико-механічних властивостей та завдяки значному прикладному використанню, вуглецеві нанотрубки є об'єктом дослідження багатьох наукових колективів. За результатами таких досліджень щорічно публікуються сотні наукових статей, загальна кількість яких складає десятки тисяч.

Серед монографій, які присвячені питанням технологій та механіки нанотрубок, можна відзначити книги [3,5,8,10,12,13,15-17,22,23]. Деяке коло проблем вібрацій, випинання і перехідних динамічних процесів порушені у монографії [6].

Вільні коливання одно-, дво- та тристінних нанотрубок також вивчалися в публікаціях [1,2,4,25]. Результати експериментальних досліджень вільних коливань наведено у роботі [1].

У роботі [18] для аналізу їх коливань використовується теорія оболонок.

Випинання нанотрубок вивчається в статтях [7]. Вібрації та стійкість нанотрубок, що обертаються, аналізувалися у статті [24].

У публікаціях [9,19] досліджувалися коливання композитних структур, що містять нанотрубки.

Як правило, при аналізі динаміки нанотрубок вибираються їх прямолинійні моделі, хоча нерідко при виготовленні вони виявляються викривленими і для надання їм прямолинійної форми потрібно їх попередньо напружити поздовжньою силою розтягу. Крім того, нанотрубки можуть бути переднапружені крутним моментом. Як показано у роботі [11], моди коливань стрижнів, попередньо напружених таким чином, не можуть бути плоскими і містити нерухомі вузлові точки.

Крім того, відзначимо, що відношення довжини нанотрубки до її діаметра може мати значення близько 132000000, а сама довжина доходить до значення 550 мм. У пружних системах, геометрично подібних до таких структур, періодичні згинальні вільні коливання можуть бути реалізовані тільки у формах біжучих кругових циліндричних спіралей, швидкості поширення яких залежать від напрямку руху. Мета нашої роботи полягає в демонстрації цього ефекту на прикладі довгої одностінної карбонової нанотрубки.

Виведення рівнянь термдеформування згинних коливань нанотрубок.

Розглянемо прямолинійну подовжену одношарову нанотрубку кругового перерізу з внутрішнім R_1 і зовнішнім R_2 радіусами її стінки. Введемо систему координат таким чином, щоб початок координат $Oxyz$ збігався з лівим кінцем трубки, а вісь Oz направимо вздовж її осі. На кінцях трубки прикладена поздовжня сила T і крутний момент M_z . Силу T вважаємо додатною, якщо вона є розтягуючою, момент M_z вважаємо додатним, якщо він діє проти ходу годинникової стрілки, дивлячись з кінця осі Oz .

Прийmemo, що кут кіральності атомної решітки стінки нанотрубки рівний нулю або $\pi/2$ й її жорсткості при вигинанні та крученні не залежать від напрямів їх дії. Припускаючи, що момент інерції трубки

$$I = \pi(R_2^4 - R_1^4)/4, \quad (1)$$

модуль пружності E матеріалу, сила T і крутний момент M_z задані, обчислимо коливальні процеси, що в ній протікають.

Досліджуємо вільні періодичні коливання нескінченно довгої одностінної карбонової нанотрубки (SWCNT), переднапруженої поздовжньою силою $T = \text{const}$ і крутним моментом $M_z = \text{const}$. Аналіз проводиться з урахуванням теорії стрижнів Бернуллі-Ейлера.

Коливання розглянемо у нерухомій декартовій системі координат $Oxyz$, вісь Oz спрямована вздовж осі SWCNT. Нехай у деформованому стані переміщення осової лінії SWCNT паралельні осям Ox і Oy , складають $u(z)$ і $v(z)$, відповідно. Для побудови рівнянь руху виділимо елемент SWCNT завдовжки dz і запишемо рівняння динамічної рівноваги приростів згинальних моментів dM_x , dM_y , елементарних моментів $Q_x dz$, $Q_y dz$, перерізуючих сил Q_x , Q_y з плечем dz , моментів $-Tdu$, $-Tdv$, створюваних поздовжньою силою T на приростах du , dv приростів u , v і компонент згинальних моментів $-M_z d(dv/dz)$, $M_z d(du/dz)$, викликаних зміною орієнтації крутного моменту M_z при зміні кутів повороту $d(dv/dz)$, $d(du/dz)$.

Прирівнюючи до нуля суми цих моментів щодо відповідних осей, отримуємо вирази для перерізуючих сил.

$$\begin{aligned} Q_x &= \frac{dM_x}{dz} - T \frac{du}{dz} - M_z \frac{d^2 v}{dz^2}, \\ Q_y &= \frac{dM_y}{dz} - T \frac{dv}{dz} + M_z \frac{d^2 u}{dz^2}. \end{aligned} \quad (2)$$

Моменти M_x , M_y визначаються формулами

$$M_x = EI \frac{d^2 u}{dz^2}, \quad M_y = EI \frac{d^2 v}{dz^2}, \quad (3)$$

де E – модуль пружності матеріалу нанотрубки, I – момент інерції її перерізу.

Сили інерції, що діють на одиничний елемент трубки вздовж осей Ox і Oy , рівні

$$q_x = -\rho F \frac{d^2 u}{dt^2}, \quad q_y = -\rho F \frac{d^2 v}{dt^2}. \quad (4)$$

Тут ρ – густина матеріалу, F – площа поперечного перерізу трубки, t – час.

Рівняння коливань SWCNT формулюються за допомогою додавання відповідних компонентів приростів сил (2) і сил інерції (4)

$$\begin{aligned} EI \frac{d^4 u}{dz^4} - T \frac{d^2 u}{dz^2} - M_z \frac{d^3 v}{dz^3} + \rho F \frac{d^2 u}{dt^2} &= 0, \\ EI \frac{d^4 v}{dz^4} - T \frac{d^2 v}{dz^2} + M_z \frac{d^3 u}{dz^3} + \rho F \frac{d^2 v}{dt^2} &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Зазначимо, що у зв'язку з переднапруженням SWCNT крутним моментом M_z , рівняння (4) (і переміщення u і v) виявилися пов'язаними.

Плоскі згинні хвилі в нанотрубках, що попередньо напружені поздовжньою силою.

Розглянемо спочатку більш простий випадок, коли нанотрубка переднапружена тільки поздовжньою силою T . Тоді $M_z = 0$ і система (5) розпадається на два непов'язаних рівняння

$$\begin{aligned} EI \frac{d^4 u}{dz^4} - T \frac{d^2 u}{dz^2} + \rho F \frac{d^2 u}{dt^2} &= 0, \\ EI \frac{d^4 v}{dz^4} - T \frac{d^2 v}{dz^2} + \rho F \frac{d^2 v}{dt^2} &= 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Вони допускають розв'язки у вигляді непов'язаних плоских стоячих хвиль (рис.2)

$$\begin{aligned} 1) \quad u(z, t) &= A \cos kz \cos ct, \quad v(z, t) = 0, \\ 2) \quad u(z, t) &= 0 \quad v(z, t) = B \cos kz \cos ct \end{aligned} \quad (7)$$

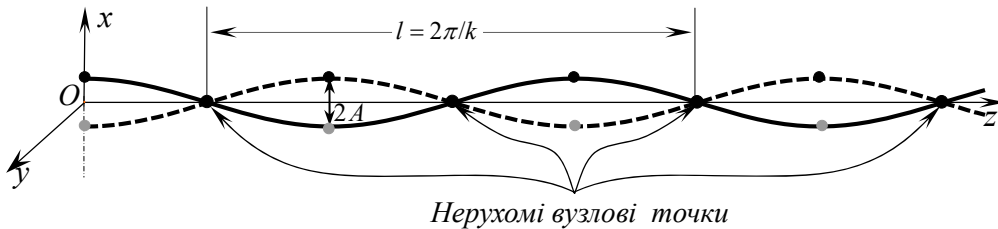


Рисунок 2 – Стояча плоскополяризована згинна хвиля
Figure 2 – Standing plane-polarized bending wave

з нерухомими вузловими точками, де A і B – амплітуди хвиль, k – хвильове число, c – циклічна частота коливань.

Підставляючи (7) у (6), отримаємо значення частот при заданих числах k

$$c_{1,2} = \pm \frac{k}{\sqrt{\rho F}} \sqrt{EI k^2 + T}. \quad (8)$$

Поряд з розв'язками (7) система (6) має також розв'язок у вигляді біжучих згинних хвиль

$$\begin{aligned} 1) \quad u(z, t) &= A \cos(kz - ct) \cos ct, \quad v(z, t) = 0, \\ 2) \quad u(z, t) &= 0 \quad v(z, t) = B \cos(kz - ct) \end{aligned} \quad (9)$$

з рухомими вузловими точками і з тими ж значеннями частот (8). Схема такої хвилі показана на рис. 3.

Залежно від знаку частоти c хвиля переміщується в додатному або від'ємному напрямі осі Oz з однаковою швидкістю

$$\alpha = \pm c/k. \quad (10)$$

Відмітимо, що наведені перетворення мають сенс тільки при додатних T , коли стрижень розтягнений і його рівновага стійка.

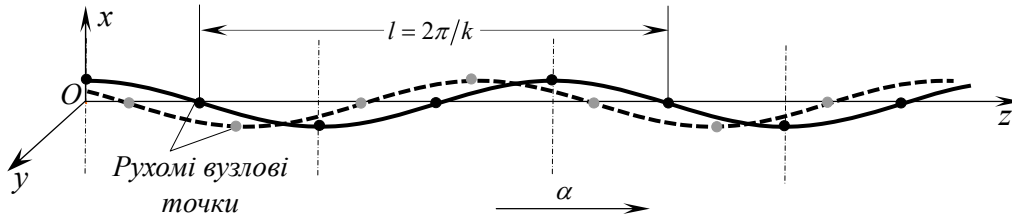


Рисунок 3 – Біжуча плоскополяризована згинна хвиля
Figure 3 – Running plane-polarized bending wave

Спіральні згинні хвилі в нанотрубках, що попередньо напружені поздовжньою силою та крутним моментом.

Якщо нанотрубка переднапружена також і крутним моментом M_z , то форма її коливань, що описується рівняннями (5), суттєво ускладнюється, оскільки вона не допускає розв'язків у вигляді плоских хвиль (7) або (9) з нерухомими чи рухомими вузловими точками як для трубок скінченної, так і необмеженої довжини.

Дійсно, навіть для трубки обмеженої довжини L на двох опорах за допомогою безпосередньої найпростішої підстановки

$$\begin{aligned} u(z, t) &= A \sin\left(\frac{m\pi z}{L}\right) \sin \omega t, \\ v(z, t) &= B \cos\left(\frac{m\pi z}{L}\right) \sin \omega t, \end{aligned} \quad (11)$$

(тут m - ціле, ω - частота), можна переконатися, що точки її осової лінії не можуть коливатися з однією фазою й у одній площині.

Крім того, вони не можуть коливатися і за просторовими модами

$$\begin{aligned} u(z, t) &= A \sin\left(\frac{m\pi z}{L}\right) \sin \omega t, \\ v(z, t) &= B \sin\left(\frac{m\pi z}{L}\right) \sin \omega t, \end{aligned} \quad (12)$$

з утворенням нерухомих точок на осі Oz .

Аналогічні міркування справедливі і для нескінченних трубок, переднапружених крутним моментом M_z . Тому для таких трубок періодичні гармонічні розв'язки рівнянь (5) формуватимуться у вигляді циліндричних спіральних біжучих хвиль

$$\begin{aligned} u(x, t) &= A \cos(kz - \omega t), \\ v(z, t) &= B \sin(kz - \omega t), \end{aligned} \quad (13)$$

що взагалі не мають вузлових точок.

Тут A і B – амплітуди хвиль, k – хвильове число, що визначає довжину хвилі

$$\lambda = 2\pi/k. \quad (14)$$

При цьому швидкість поширення хвилі у позитивному напрямку осі Oz рівна

$$\alpha = \omega/k. \quad (15)$$

Підставляючи (13) у рівняння (5), отримаємо однорідну систему алгебраїчних рівнянь

$$\begin{aligned} (Elk^4 + Tk^2 - \rho F \omega^2) A + M_z k^3 B &= 0, \\ M_z k^3 A + (Elk^4 + Tk^2 - \rho F \omega^2) B &= 0. \end{aligned} \quad (16)$$

Вона має нетривіальний розв'язок, коли визначник матриці коефіцієнтів при A і B дорівнює нулю. З цієї умови випливає характеристичне (дисперсійне рівняння)

$$(Elk^4 + Tk^2 - \rho F \omega^2)^2 - (M_z k^3)^2 = 0. \quad (17)$$

Це рівняння розпадається на два біквадратні рівняння нижчого степеня

$$\begin{aligned} EIk^4 + Tk^2 - \rho F\omega^2 + M_z k^3 &= 0, \\ EIk^4 + Tk^2 - \rho F\omega^2 - M_z k^3 &= 0, \end{aligned} \quad (18)$$

які пов'язують хвильове число k та кругову частоту ω . Ця система має два корені для кругових частот $\omega_{1,2}$, що визначаються дисперсійною рівністю

$$\omega_{1,2} = \pm \frac{k}{\sqrt{\rho F}} \sqrt{EIk^2 + M_z k + T}, \quad (19)$$

і два корені рівняння

$$\omega_{3,4} = \pm \frac{k}{\sqrt{\rho F}} \sqrt{EIk^2 - M_z k + T}. \quad (20)$$

Щоб визначити форми спіралей (13), підставимо корені (19), (20) у рівняння (16) та обчислимо відношення A/B .

Для кореня ω_1 має місце рівність

$$\frac{A_1}{B_1} = \frac{M_z k^3}{M_z k^3} = 1. \quad (21)$$

З рівностей (13) випливає, що оскільки $A_1 = B_1$, при коливаннях з цією частотою всі елементи стрижня рухаються круговими траєкторіями в напрямку проти ходу годинникової стрілки, якщо дивитися з кінця осі Oz , з фазами, зміщеними на величину $k\Delta z$. Хвиля, сформована в результаті такого руху, являє собою кругову циліндричну правогвинтову спіраль, яка зміщується в позитивному напрямку осі Oz (рис. 4) зі швидкістю

$$\alpha_1 = \omega_1/k. \quad (22)$$

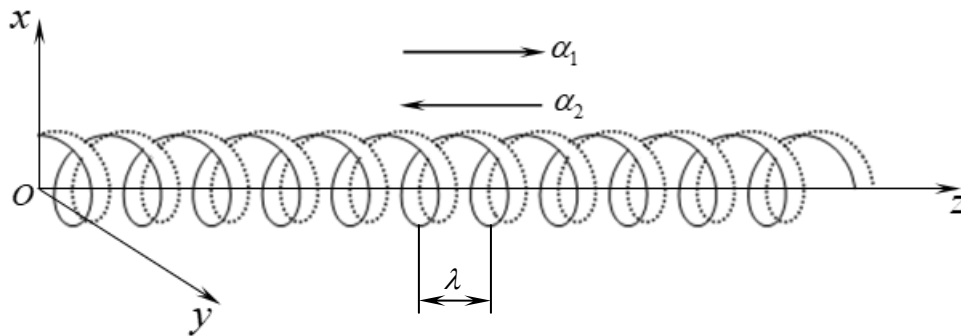


Рисунок 4 – Згинна біжуча хвиля у формі правої спіралі
Figure 4 – Bending traveling wave in the form of a right spiral

Аналогічне значення має відношення

$$\frac{A_2}{B_2} = 1 \quad (23)$$

для негативного кореня ω_2 . Тому для нього хвиля теж правогвинтова, але рухається в негативному напрямку з тією самою швидкістю.

Для коренів ω_3 і ω_4

$$\frac{A_3}{B_3} = \frac{A_4}{B_4} = -1, \quad (24)$$

тому спіралі (13) виявляються лівогвинтовими (рис.5), які переміщуються зі швидкістю

$$\alpha_3 = |\alpha_4| = \omega_3/k, \quad (25)$$

відповідно, у позитивному та негативному напрямках.

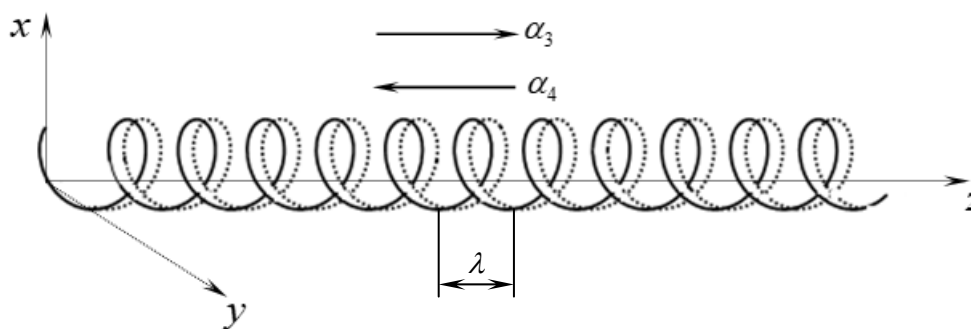


Рисунок 5 – Згинна біжуча хвиля у формі лівої спіралі
Figure 5 – Bending traveling wave in the form of a left spiral

Знаючи кругові частоти ω_i ($i = \overline{1,4}$), можна обчислити значення фазових швидкостей

$$\begin{aligned}\alpha_{1,2} &= \pm \frac{1}{\sqrt{\rho F}} \sqrt{EI k^2 + M_z k + T}, \\ \alpha_{3,4} &= \pm \frac{1}{\sqrt{\rho F}} \sqrt{EI k^2 - M_z k + T}.\end{aligned}\quad (26)$$

Характер поширення спіральних хвиль суттєво залежить від параметрів EI і T . При позитивному M_z , фазова швидкість поширення правогвинтової спіралі у позитивному напрямі зростає зі збільшенням цих параметрів. Надання величині T негативного значення призводить до вигинання трубки. Якщо $M_z \geq (EI k^2 + T)/k$, то, відповідно до рівності (26) для $\alpha_{3,4}$, ця область зміни M_z є зоною непропускання згинальних хвиль даного виду.

У результаті можна зробити висновок, що при одному і тому ж кроці λ та обраному напрямку моменту M_z , згинні гармонічні хвилі можуть поширюватися у формах правої та лівої циліндричної спіралей у позитивному та негативному напрямках з двома різними за модулем фазовими швидкостями $\alpha_1(\lambda)$ і $\alpha_3(\lambda)$. Для кожної з цих хвиль характер дисперсійних кривих залежить від значень згинальної жорсткості EI , крутного моменту M_z та розтягуючої сили T .

Відмітимо, що рівняння (5) допускають також розв'язки у формі стоячих спіральних хвиль з тими ж хвильовими числами k та круговими частотами ω . Завдяки цьому, можливі також і суперпозиції біжучих та стоячих хвиль, які являють собою біжучі пульсуючі спіральні хвилі.

Важливою особливістю розглянутих динамічних процесів є те, що, на відміну від гармонійних хвиль у нескінченному пружному середовищі та поздовжніх хвиль кручення в SWCNTs, швидкості яких не залежать від їх довжини і тому вони є недиспергуючими, згинальні хвилі даного типу є диспергуючими. Це пов'язано з тим, що хвильове число k та кругова частота ω пов'язані нелінійними залежностями (19) та (21). Тому хвилі з різними довжинами λ поширюються з різними швидкостями (26). Це призводить до того, що в розглянутих умовах вільними стаціонарними згинними хвилями в SWCNTs можуть бути тільки циліндричні спіральні хвилі. У нескінченному пружному середовищі будь-яка поздовжня або зсувна хвиля довільного профілю може бути стаціонарною. Такі властивості мають довільні поздовжні хвилі і хвилі кручення в нескінченних SWCNTs.

Висновки

1. На базі математичних моделей в теорії пружних стрижнів Бернуллі-Ейлера проведене математичне моделювання періодичних згинних рухів необмежених карбонових нанотрубок, попередньо напружених поздовжніми силами та крутними моментами. Сформульовані розв'язувальні диференціальні рівняння з частинними похідними, виконаний їх дисперсійний аналіз, в замкненій формі побудовані періодичні розв'язки.

2. Проілюстровано, що якщо нанотрубка попередньо напружена тільки поздовжньою силою, то її вільні коливання можуть відбуватися у формі періодичних за довжиною плоских стоячих або біжучих хвиль з нерухомими чи рухомими вузловими точками. Побудовані вирази для значень циклічних частот цих хвиль та фазових швидкостей їх поширення.

3. У випадках, коли нанотрубка переднапружена тільки крутним моментом або моментом та поздовжньою силою, загальний порядок системи розв'язувальних рівнянь подвоюється й їх розв'язок ускладнюється. Встановлено, що періодичні рухи у формі стоячих і біжучих хвиль припиняють бути плоскими та набувають вигляд лівих або правих спіралей. Оскільки дисперсійне рівняння, що пов'язує частоту коливань та хвильове число, має одні і ті ж розв'язки для стоячих та біжучих хвиль, виявилось можливим будувати комбіновані періодичні рухи нанотрубок у формі лівих та правих біжучих пульсуючих спіралей, що поширюються в прямому та зворотному напрямках з різними швидкостями.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Arthur W. Barnard, Mian Zhang, Gustavo S. Wiederhecker et al. Real time vibrations of a carbon nanotube. *Nature*, 2019, 566, 89-93.
2. Besley N.A. Vibrational analysis of carbon nanotube based nanomechanical resonators. *The Journal of Physical Chemistry C*. 124, 30, 2020, 16714-16721. Doi.org/10.1021/acs.jpcc.0c04998.
3. Bhushan B. (ed). *Handbook of Nanotechnology*. Springer, Berlin, 2004.
4. Dmitriev S.V., Sunagatova I.R., Ilgamov M.A., Pavlov I.S., Natural frequencies of bending vibrations of carbon nanotubes. *Technical Physics*. 2022, 67, 7-13.
5. Dresselhaus M.S., Avouris P. *Carbon Nanotubes: Synthesis, Structures, Properties and Application*. Springer, Berlin, 2001.
6. Elishakoff I., Dujat K., Muscolino G. et al. *Carbon Nanotubes and Nanosensors: Vibration, Buckling and Ballistic Impact*. John Wiley & Sons. 2013. Doi.org/10.1002/9781118562000.
7. Elishakoff I., Pentaras D. Buckling of a double-walled carbon nanotube. *Advanced Science Letters*, 2009, 2(3). Doi.org/10.1166/asl.2009.1061.
8. Gdoutos E.E. (ed). *Fracture of Nano and Engineering Materials and Structures*. Springer, Berlin, 2007.
9. Giovanni Formica, Walter Lacarbonara, Roberto Alessi. Vibrations of carbon nanotube-reinforced composites. *Journal of Sound and Vibration* 329, 2010, 1875-1889.
10. Goddard W.A. et al. *Handbook of Nanoscience, Engineering, and Technology*. CRC, Boca Raton, 2003.
11. Gulyayev V., Glazunov S., Glushakova O., Vashchilina E., Shevchuk L., Shlyun N., Andrusenko E. *Modelling Emergency Situations in the Drilling of Deep Boreholes*. Cambridge Scholars Publishing. 2019.
12. Gutkin M.Yu., Ovid'ko V.A. *Physical Mechanics of Deformable Nanostructures*. Yanus Publishers, St. Petersburg, 2003.
13. Guz A.N., Rushchitsky J.J., Guz I.A. *Introduction to Mechanics of Nanocomposites*. S.P. Timoshenko Institute of Mechanics. Kiev, 2010.
14. Hiroyuki Shima. Buckling of carbon nanotubes: A state of the art review. *Materials (Basel)*, Jan. 2012, 5(1), 47-84. Doi.org/10.3390/ma5010049.
15. Jiji Abraham, Sabu Tomas, Handakumar Kalarrical (editors). *Handbook of Carbon Nanotubes*. Springer Link. 2020.
16. Lixing Dai and Jun Sun. Mechanical properties of carbon nanotubes-polymer composites. *Current progress of their Polymer Composites*. Edited by Mohamed Reda Berber and Inas Hazzaa Hafez. 2016. DOI: 10.5772/62635.
17. Mohamed Berber, Inas Hazzaa Hafer. *Carbon Nanotubes: Current Progress of their Polymer Composites*. BoD-Books on Demand, 2016.
18. Muzamal Hussain, M. Nawaz Naeem, Aamir Shahzad et al. Vibrational behavior of single-walled carbon nanotubes based on cylindrical shell model using wave propagation approach. *AIP Advances* 7, 045114, 2017. Doi.org/10.1063/1.4979112.
19. Omer Civalek, Shahriar Dastjerdi, Seref D. Akbas, Bekir Akgoz. Vibration analysis of carbon nanotube-reinforced composite microbeams. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*. First published: 05 January 2021. Doi.org/10.1002/mma.7069.
20. Pentaras D., Elishakoff I. Free vibration of triple-walled carbon nanotubes. *Acta Mechanica*. 2011, 221, 239-249. Doi.org/10.1007/s00707-011-0496-9.
21. Ru C.Q. Axially compressed buckling of a doublewalled carbon nanotube embedded in an elastic medium. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. June 2001, V.49, Issue 6, 1265-1279. Doi.org/10.1016/S0022-5096(00)00079-X.
22. Sacedeh Rafiei. *Foundations of Nanotechnology, Volume Three: Mechanics of Carbon Nanotubes*. Apple Academic Press Inc. Canada. 2021.

23. Torkaman – Asadi M.A., Rahmanian M., Firouz – Abadi R.D. Free vibrations and stability of high-speed rotating carbon nanotubes partially resting on Winkler foundations. *Composite Structures*. 2015, 126, 52-61. Doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.02.037

REFERENCES

1. Arthur W. Barnard, Mian Zhang, Gustavo S. Wiederhecker et al. Real time vibrations of a carbon nanotube. *Nature*, 2019, 566, 89-93.
2. Besley N.A. Vibrational analysis of carbon nanotube based nanomechanical resonators. *The Journal of Physical Chemistry C*. 124, 30, 2020, 16714-16721. Doi.org/10.1021/acs.jpcc.0c04998.
3. Bhushan B. (ed). *Handbook of Nanotechnology*. Springer, Berlin, 2004.
4. Dmitriev S.V., Sunagatova I.R., Ilgamov M.A., Pavlov I.S., Natural frequencies of bending vibrations of carbon nanotubes. *Technical Physics*. 2022, 67, 7-13.
5. Dresselhaus M.S., Avouris P. *Carbon Nanotubes: Synthesis, Structures, Properties and Application*. Springer, Berlin, 2001.
6. Elishakoff I., Dujat K., Muscolino G. et al. *Carbon Nanotubes and Nanosensors: Vibration, Buckling and Ballistic Impact*. John Wiley & Sons. 2013. Doi.org/10.1002/9781118562000.
7. Elishakoff I., Pentaras D. Buckling of a double-walled carbon nanotube. *Advanced Science Letters*, 2009, 2(3). Doi.org/10.1166/asl.2009.1061.
8. Gdoutos E.E. (ed). *Fracture of Nano and Engineering Materials and Structures*. Springer, Berlin, 2007.
9. Giovanni Formica, Walter Lacarbonara, Roberto Alessi. Vibrations of carbon nanotube-reinforced composites. *Journal of Sound and Vibration* 329, 2010, 1875-1889.
10. Goddard W.A. et al. *Handbook of Nanoscience, Engineering, and Technology*. CRC, Boca Raton, 2003.
11. Gulyayev V., Glazunov S., Glushakova O., Vashchilina E., Shevchuk L., Shlyun N., Andrusenko E. *Modelling Emergency Situations in the Drilling of Deep Boreholes*. Cambridge Scholars Publishing. 2019.
12. Gutkin M.Yu., Ovid'ko V.A. *Physical Mechanics of Deformable Nanostructures*. Yanus Publishers, St. Petersburg, 2003.
13. Guz A.N., Rushchitsky J.J., Guz I.A. *Introduction to Mechanics of Nanocomposites*. S.P. Timoshenko Institute of Mechanics. Kiev, 2010.
14. Hiroyuki Shima. Buckling of carbon nanotubes: A state of the art review. *Materials (Basel)*, Jan. 2012, 5(1), 47-84. Doi.org/10.3390/ma5010049.
15. Jiji Abraham, Sabu Tomas, Handakumar Kalarrical (editors). *Handbook of Carbon Nanotubes*. Springer Link. 2020.
16. Lixing Dai and Jun Sun. Mechanical properties of carbon nanotubes-polymer composites. *Current progress of their Polymer Composites*. Edited by Mohamed Reda Berber and Inas Hazzaa Hafez. 2016. DOI: 10.5772/62635.
17. Mohamed Berber, Inas Hazzaa Hafer. *Carbon Nanotubes: Current Progress of their Polymer Composites*. BoD-Books on Demand, 2016.
18. Muzamal Hussain, M. Nawaz Naeem, Aamir Shahzad et al. Vibrational behavior of single-walled carbon nanotubes based on cylindrical shell model using wave propagation approach. *AIP Advances* 7, 045114, 2017. Doi.org/10.1063/1.4979112.
19. Omer Civatek, Shahriar Dastjerdi, Seref D. Akbas, Bekir Akgoz. Vibration analysis of carbon nanotube-reinforced composite microbeams. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*. First published: 05 January 2021. Doi.org/10.1002/mma.7069.
20. Pentaras D., Elishakoff I. Free vibration of triple-walled carbon nanotubes. *Acta Mechanica*. 2011, 221, 239-249. Doi.org/10.1007/s00707-011-0496-9.
21. Ru C.Q. Axially compressed buckling of a doublewalled carbon nanotube embedded in an elastic medium. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*. June 2001, V.49, Issue 6, 1265-1279. Doi.org/10.1016/S0022-5096(00)00079-X.
22. Sacedeh Rafiei. *Foundations of Nanotechnology, Volume Three: Mechanics of Carbon Nanotubes*. Apple Academic Press Inc. Canada. 2021.
23. Torkaman – Asadi M.A., Rahmanian M., Firouz – Abadi R.D. Free vibrations and stability of high-speed rotating carbon nanotubes partially resting on Winkler foundations. *Composite Structures*. 2015, 126, 52-61. Doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.02.037

РЕФЕРАТ

Шлюнь Н.В. Плоскі та просторові періодичні згинні коливання подовжених карбонових нанотрубок / Н.В. Шлюнь // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий, науково-виробничий журнал. – К.: НТУ, 2024. – Вип. 1 (58).

Досліджені процеси поширення плоских та просторових періодичних згинних хвиль у подовжених карбонових нанотрубках, переднапружених поздовжніми силами та крутними моментами. Використовуючи зведені параметри геометрії та механіки нанотрубок, сформульовані диференціальні рівняння з частинними похідними їх вільних поперечних коливань для випадків переднапружень, що розглядались. Показано, що у першому випадку вільні коливання нанотрубки описуються одним рівнянням четвертого порядку, у другому – системою двох зв'язаних рівнянь загального восьмого порядку. Побудовані розв'язки цих рівнянь у замкнених формах. Встановлено, що якщо нанотрубка переднапружена тільки поздовжньою силою, то її вільні періодичні рухи реалізуються у формах стоячих або біжучих плоских гармонічних хвиль. При її переднапруженні крутним моментом форми її коливань мають вигляд стоячих або біжучих, лівих або правих кругових циліндричних спіралей.

Актуальність теми виконаних досліджень пов'язана з надзвичайно високими показниками фізико-механічних властивостей нанотрубок та недостатнім рівнем їх вивчення. В науковій літературі практично відсутні результати аналізу їх хвильових коливань.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КАРБОНОВІ НАНОТРУБКИ, ПЕРЕДНАПРУЖЕНИЙ СТАН, ДИФЕРЕНЦІАЛЬНІ РІВНЯННЯ, ПРУЖНІ КОЛИВАННЯ, ПЛОСКІ ХВИЛІ, СПІРАЛЬНІ ХВИЛІ.

ABSTRACT

Shlyun N.V. Plane and spatial periodic bending vibrations of elongated carbon nanotubes. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific, scientific and industrial journal. – K.: NTU, 2024. – Issue 1 (58).

The processes of planar and spatial periodic bending vibration in elongated carbon nanotubes prestressed by axial forces and torques have been investigated. With the use of effective parameters of geometry and mechanics, differential equations of their elastic transverse dynamics for the considered prestresses are constructed. It is shown, that in the first case, the free vibrations of the nanotube are described by a fourth order differential equation, in the second case – the order of the equation order enlarges to eight. The solutions of these equations are built in closed form. It is established that if the nanotube is prestressed only by a longitudinal force, then its free periodic motions can be realized only in the form of planar standing and running harmonic waves. When it is prestressed by a torque, the modes of its vibrations are standing or running, left and right circular cylindrical helixes.

Topicality of the performed investigation is associated with very high mechanical properties of the carbon nanotubes and low level of their investigation.

KEY WORDS: CARBON NANOTUBES, PRESTRESSED STATES, DIFFERENTIAL EQUATIONS, ELASTIC OSCILLATIONS, PLANAR WAVES, HELIX WAVES.

АВТОР:

Шлюнь Наталія Володимирівна, кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, доцент, e-mail: nataliyashlyun@gmail.com, тел. +38(044) 280-71-09, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, orcid.org/0000-0003-1040-8870.

AUTHOR:

Shlyun N.V., Ph.D., National Transport University, tel. +38(044) 280-71-09, Ukraine, 01103, Kyiv, Boichuk str., 42, e-mail: nataliyashlyun@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1040-8870

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мейш Ю.А., доктор технічних наук, професор, Національний університету біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна., В.о.завідувача кафедри вищої і прикладної математики, Київ, Україна.

Аль-Амморі А.Н., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри інформаційно-аналітичної діяльності та інформаційної безпеки, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Meish Yu.A., Dr. Sc. (Engineering), Professor, The National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Head of Department of Higher and Applied Mathematics, Kyiv, Ukraine.

Al-Ammori A.N., Dr. Sci., (Engineering), Professor, National Transport University, Head of Department of Information Analysis and Information Security, Kyiv, Ukraine.