

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

MINISTRY OF EDUCATION  
AND SCIENCE OF UKRAINE

LUTSK NATIONAL  
TECHNICAL UNIVERSITY

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
В МАШИНОБУДУВАННІ  
ТА ТРАНСПОРТІ**

**ADVANCES  
IN  
MECHANICAL ENGINEERING  
AND TRANSPORT**

*НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ*

*SCIENTIFIC JOURNAL*

ISSN 2313-5425

**№1 (22)**  

---

**2024**

ЛУЦЬК LUTSK

Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: ЛНТУ, 2024.– №1(22).– 390 с.

В матеріалах наукового журналу висвітлюються результати наукових досліджень та науково-дослідних розробок в галузі машинобудування, автомобільного транспорту, транспортних систем і транспортних технологій на автомобільному транспорті, а також, математичного та комп'ютерного моделювання технічних процесів та систем.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації – КВ №20504-10304Р від 30.12.2013р.

Науковий журнал включений до Переліку наукових фахових видань України згідно наказу Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020 р.

Ідентифікатор медіа R30-02530 (рішення Національної ради України з питань телебачення і радіомовлення №40 від 11.01.2024 р.)

#### РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

*Головний редактор:* **Пустюльга Сергій Іванович**, д.т.н., професор, Луцький національний технічний університет.

*Заступник головного редактора:* **Дударєв Ігор Миколайович**, д.т.н., професор, Луцький національний технічний університет;

*Видавничий редактор:* **Самостян Віктор Русланович**, к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет.

*Відповідальний секретар:* **Онищук Василь Петрович**, к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет.

*Члени редколегії:* **Бартломейчик Миколай**, доктор інженерії, Гданський технологічний університет (Республіка Польща); **Заболотний Олег Васильович**, к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет; **Захарчук Віктор Іванович**, д.т.н., професор, Луцький національний технічний університет; **Кравченко Олександр Петрович**, д.т.н., професор, University of Žilina, Slovenská Republika; **Луїс Фролен Рібейро**, професор, Політехнічний Інститут Браганси (Португалія), **Мурований Ігор Сергійович**, к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет; **Налобіна Олена Олександрівна** д.т.н., професор, Національний університет водного господарства та природокористування, **Поляк Мілош**, PhD, професор, декан факультету управління транспортом та телекомунікацій University of Žilina, Slovenská Republika, **Пуць Віталій Степанович**, к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет; **Сахно Володимир Прохорович**, д.т.н., професор, Національний транспортний університет; **Славінскас Стасіс**, д.т.н., професор, Університет Вітовта Магнуса (Каунас, Литва), **Таран Ігор Олександрович**, д.т.н., професор, Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Lukaszewicza, (Республіка Польща), **Цизь Ігор Євгенович**, к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет; **Шимчук Сергій Петрович**, к.т.н., доцент, Луцький національний технічний університет.

Друкується за рішенням вченої ради  
Луцького національного технічного університету  
(Протокол № 11 від 23.05.2024р.)

ЗМІСТ		CONTENT	
<b>L. Bugaian, R. Ciupercă, M. Bunea</b> the need for an interuniversity master's program in industry 4.0 in the Republic of Moldova.....	6	<b>L. Bugaian, R. Ciupercă, M. Bunea</b> the need for an interuniversity master's program in industry 4.0 in the Republic of Moldova.....	6
<b>V. Kotenko</b> data justification for forecasting fuel consumption by vehicles during the grain crops delivery.....	12	<b>V. Kotenko</b> data justification for forecasting fuel consumption by vehicles during the grain crops delivery.....	12
<b>S. Kryshchop, O. Mysiv, L. Ivanyuk, Y. Demyanchuk, F. Kozak, I. Solyarchuk.</b> The reduction of operating costs of oil and gas technological transportation converted into gas fuels.....	20	<b>S. Kryshchop, O. Mysiv, L. Ivanyuk, Y. Demyanchuk, F. Kozak, I. Solyarchuk.</b> The reduction of operating costs of oil and gas technological transportation converted into gas fuels...	20
<b>V. Kulynych, R. Arhat, S. Shlyk, A. Symonova, V. Drahobetskyi</b> Analysis of modern methods for optimizing technological processes in machine-building production using artificial intelligence .....	31	<b>V. Kulynych, R. Arhat, S. Shlyk, A. Symonova, V. Drahobetskyi</b> Analysis of modern methods for optimizing technological processes in machine-building production using artificial intelligence .....	31
<b>K. Ragulskis, A. Pauliukas, P. Paškevičius, B. Spruogis, A. Matuliauskas, V. Mištinis, L. Ragulskis</b> Investigation of dynamics of the manipulator with rotational excitation .....	38	<b>K. Ragulskis, A. Pauliukas, P. Paškevičius, B. Spruogis, A. Matuliauskas, V. Mištinis, L. Ragulskis</b> Investigation of dynamics of the manipulator with rotational excitation .....	38
<b>O. Sharko, A. Yanenko</b> Structuring of the main directions of research regarding the determination of the remaining resource of transport structures and buildings .....	47	<b>O. Sharko, A. Yanenko</b> Structuring of the main directions of research regarding the determination of the remaining resource of transport structures and buildings.....	47
<b>Sistuk V.O.</b> Approach for determination daily passenger traffic on public transport using site survey findings .....	55	<b>Sistuk V.O.</b> Approach for determination daily passenger traffic on public transport using site survey findings .....	55
<b>Zybtsev Y.V., Voroshylov P.A.</b> Analysis of passenger vehicle cruising by the modified method of closed speeds .....	61	<b>Zybtsev Y.V., Voroshylov P.A.</b> Analysis of passenger vehicle cruising by the modified method of closed speeds .....	61
<b>Андрощук В.Д., Макаров В.А.</b> Порівняння методів відбору зразків викидів твердих частинок із системи «шина-дорога» автомобілів у різних середовищах випробувань.....	70	<b>Androshchuk V.D., Makarov V.A.</b> Comparison of methods for sampling particulate matter emissions from the tire-road system of automobiles in different test environments.....	70
<b>Андрусенко С.І., Дембіцький В.М., Будниченко І.В., Дикий В.С.</b> Дослідження доцільності використання електробусів на автобусних та тролейбусних маршрутах у містах...	76	<b>Andrusenko S.I., Dembitskiy V.M., Budnychenko I.V., Dykiy V.S.</b> Research on the feasibility of using electric buses on bus and trolleybus routes in cities.....	76
<b>Барабаш Р.І., Шарибура А.О., Рус В.І., Левчук О.В.</b> Підвищення ефективності технологічного процесу технічного обслуговування автомобілів JAC N80.....	89	<b>R. Barabash, A. Sharibura, V. Rys, O. Levchuk.</b> Improving the efficiency of the technological process of maintenance of JAC N80 vehicles .....	89
<b>Будниченко І.В., Харламов С.А.</b> Методика оцінки споживання енергії електробусом та параметрів тягової акумуляторної батареї в умовах експлуатації .....	97	<b>Budnychenko I.V., Kharlamov S.A.</b> Method of assessment of energy consumption by electric bus and parameters of traction accumulatory battery under operational conditions.....	97
<b>Вакулєнко К. Є., Соколова Н. А., Шилле Н. В., Грекова А. В.</b> Удосконалення вантажних перевезень у містах через впровадження логістичної концепції "часове вікно"....	106	<b>K. Vakulenko, N. Sokolova, N. Schille, A. Hrekova</b> Improving freight operations in urban areas through the implementation of the "time window" logistics concept.....	106
<b>Волков В.П., Грицук І.В., Онищук В.П., Волкова Т.В., Стельмащук В.В., Збицький Д.Д.</b> Удосконалення інформаційно – програмного комплексу		<b>V. Volkov, I. Gritsuk, V. Onyshchuk, T. Volkova, V. Stelmashchuk, D. Zbytskyi</b> Enhancement of the information and software complex	

для контролю технічного стану автомобілів в підприємстві автомобільного транспорту.....	<b>116</b>	for the control of the technical condition of vehicles at the enterprise of motor transport.....	<b>116</b>
<b>Гандзюк М.О., Дубицький О.С., Мазилук П.В.</b> Розробка математичної моделі багатокритеріальної структури оцінки показників якості автомобіля.....	<b>130</b>	<b>M. Handziuk, O. Dubytskyi, P. Mazylyuk</b> Development of the mathematical model of the multi-criterion structure for the evaluation of vehicle quality indicators.....	<b>130</b>
<b>Дитятсьєв О.В.</b> Вплив нетестованого колеса осі на похибку визначення демпфування колеса, що тестується методом EuSAMA.....	<b>139</b>	<b>O. Dityatyev</b> The influence of an untested axle wheel on the error of determining the damping of a wheel tested by the EuSAMA method ...	<b>139</b>
<b>Захарчук В.І., Захарчук О.В., Скалига М.М., Ярошук В.В.</b> Структурна схема системи «водій–автомобіль–середовище».....	<b>147</b>	<b>V. Zakharchuk, O. Zakharchuk, M. Skalyga, V. Yaroschuk.</b> Structural diagram of the "driver-car-environment" system.....	<b>147</b>
<b>Карнасюк І.М.</b> Аналіз роботи залізниці та ціноутворення вартості перевезення зернових вантажів залізничним транспортом в умовах війни.....	<b>153</b>	<b>Karnasiuk I.</b> Analysis of railway work and pricing of the cost of transportation of grain loads by rail transport in the conditions of war.....	<b>153</b>
<b>Кашканов А. А., Буряк В. В.</b> Проблемні питання організаційно-технічного розвитку перевезень зернових культур автомобільним транспортом в Україні.....	<b>163</b>	<b>A. Kashkanov, V. Buriak</b> Problem issues of organizational and technical development of grain transportation by road transport in Ukraine .....	<b>163</b>
<b>Кашканова А. А., Біліченко В. В.</b> Аспекти забезпечення безпеки дорожнього руху в транспортних системах міст України.....	<b>170</b>	<b>A. Kashkanova, V. Bilichenko.</b> Aspects of ensuring road traffic safety in the transport systems of the cities of Ukraine.....	<b>170</b>
<b>Кишун В. А., Павлюк В.І., Зубенко В. А.</b> Хронологія формування українського ринку електромобілів .....	<b>182</b>	<b>V. Kyshchun, V. Pavliuk, V. Zubenko.</b> Chronology of the formation of the Ukrainian electric car market.....	<b>182</b>
<b>Козак С.В.</b> Ефективність транспорту, проектний аналіз та потенціал транспортних підприємств .....	<b>194</b>	<b>S.V. Kozak</b> Transport efficiency, project analysis and potential of transport enterprises .....	<b>194</b>
<b>Козак С.В.</b> Ефективність роботи транспорту України та ризики при використанні міжнародних транспортних коридорів.....	<b>199</b>	<b>S.V. Kozak</b> Efficiency of transport of Ukraine and risks when using international transport corridors.....	<b>199</b>
<b>Кочина А.А., Азімов К. Н.</b> Дослідження потоку разових замовлень на ринку автомобільних перевезень у міжміському сполучення з використанням автоматизованого парсингу.....	<b>206</b>	<b>A. Kochina., K. Asimov.</b> Study of the flow of one-time orders in the long-distance road transport market using automated parsing .....	<b>206</b>
<b>Крочук А.А.</b> Аналіз досліджень стосовно розвитку транспортних засобів з електричним приводом руху.....	<b>214</b>	<b>Krochuk A.A.</b> Analysis of research on the development of electrically driven vehicles .....	<b>214</b>
<b>Литвин В.В., Мельнікова Ю.І., Лазуткін М.І.</b> Кількісна оцінка ефективності зміни схеми руху на перехресті вул. Калинова – пр. П. Калнишевського (м. Дніпро).....	<b>222</b>	<b>V. Litvin, Yu. Melnikova, M. Lazutkin.</b> Quantitative assessment of the effectiveness of traffic pattern changes at the crossroad of Kalynova Street and P. Kalnyshevsky Avenue (Dnipro City).....	<b>222</b>
<b>Манзяк М.О., Хома В.В., Грубель М.Г., Крайник Т.Л.</b> Удосконалення методики оцінки плавності ходу для автомобіля підвищеної прохідності.....	<b>233</b>	<b>M. Manzyak, V. Khoma, M. Grubel, T. Krajnyk</b> Improvement of the method of assessing the smoothness of the ride for a vehicle with increased traffic.....	<b>233</b>
<b>Мармут І.А., Зуєв В.О.</b> Методика визначення опорів руху автомобіля по вибігу .....	<b>244</b>	<b>I. Marmut, V. Zuiiev.</b> The method of determining the resistance to the traffic of a vehicle on a run .....	<b>244</b>



<b>Монастирський Ю. А., Максименко І. С.</b> Перспективи декарбонізації автомобільного транспорту глибоких кар'єрів.....	252	<b>Y. Monastyrskiy, I. Maksymenko.</b> The future of decarbonization for cars used in quarries.....	252
<b>Мурований І.С., Крук А.С.</b> Дослідження маневру загальмованого транспортного засобу при аналізі об'їзду нерухокої перешкоди	258	<b>I. Murovani, A. Kruk.</b> The study of the maneuver of a braked vehicle in analyzing the bypassing of a stationary obstacle	258
<b>Павлова І.О., Самостян В.Р., Дембіцький В.М.</b> Факторний аналіз формування мережі підприємств мобільного автосервісу .....	269	<b>I. Pavlova, V. Samostian, V. Dembitskiy</b> Factor analysis of the formation of a network of enterprises mobile car service .....	269
<b>Павлюк В.І., Булік Ю.В., Сітовський О.П.</b> Проектування технологічного обладнання «низхідним» моделюванням із застосуванням скелетонів.....	279	<b>V. Pavliuk, Y. Bulik, O. Sitovsky.</b> Design of technological equipment by "top-down" modeling using skeletons.....	279
<b>Самостян В.Р., Павлова І.О., Придюк В.М.</b> Удосконалення логістичної стратегії підприємства на ринку транспортних послуг.....	285	<b>V. Samostian, I. Pavlova. V. Prydiuk.</b> Improvement of the logistics strategy of the enterprise in the market of transport services.....	285
<b>Сахно В.П., Мурований І.С., Онищук В.П., Стельмахук С.В., Вінциук М.Я.</b> До визначення стійкості руху автомобіля з причепом категорії О2 у гальмівному режимі.....	296	<b>V. Sakhno, I. Murovani, V. Onyshchuk, S. Stelmashchuk, V., M. Vintsjuk</b> Towards determining the stability of movement of a vehicle with a category O2 trailer in braking mode.....	296
<b>Слатов І.М.</b> Оптимізація паливної ефективності пасажирських автобусів категорії М3 за допомогою пневматичної підвіски.....	307	<b>Slatov I.M.</b> Fuel efficiency optimization of category M3 passenger buses using pneumatic suspension.....	307
<b>Стельмах О.У., Костюнік Р.Є., Шимчук С.П., Кущев О.В.</b> Реновація віброхарактеристик мініатюрних шарикопідшипників прецизійних механічних систем авіакосмічної і військової техніки.....	314	<b>Stelmakh O., Kostyunik R., Shymchuk S., Kushchev O.</b> Renovation of vibration characteristics of miniature ball bearings of precision mechanical systems of aerospace and military equipment.....	314
<b>Фалович В.А., Шевчук О.С., Фалович Н.М., Навольська Н.В., Захарчук В.Б.</b> Планування транспортної інфраструктури міст з урахуванням соціально-економічних та демографічних індикаторів розселення	320	<b>N. Falovych ,O. Shevchuk, V. Falovych, N. Navolska, V. Zakharchuk.</b> Planning of city transport infrastructure taking into account socio-economic and demographic settlement indicators	320
<b>Хітров І.О.</b> Застосування електричних транспортних засобів для вантажних перевезень.....	330	<b>I. Khitrov.</b> Application of electric vehicles for freight transportation.....	330
<b>Цизь І.Є., Голій В.О.</b> Обґрунтування конструкції та дослідження тягового опору робочого органу знаряддя для глибокого розпушення ґрунту.....	337	<b>I. Tsiz, V. Holii.</b> Justification of the design and research of the driving resistance of the working body of the tool for deep soil dissolution .....	337
<b>Чернега В.Ю.</b> Доцільне використання пневматичних і безповітряних шин	349	<b>Chernega V.</b> Appropriate use of pneumatic and airless tires.....	349
<b>Шевчук О.С., Березька К.М., Фалович Н.М., Захарчук О.П., Фалович В. А., Мамрош І.М.</b> Визначення рівня завантаження зупинок громадського транспорту на основі кластерного аналізу.....	357	<b>O. Shevchuk , K. Berezka, N. Falovych, O. Zakharchuk, V. Falovych, I. Mamrosh.</b> Klaster analysis of the level of congestion at public transport stops in Ternopil city.....	357
<b>Шевчук О.С., Захарчук О.П., Фалович Н.М., Березька К.М., Сіран Р. В.</b> Концептуальні основи модернізації транспортної інфраструктури середніх міст в Україні.....	369	<b>O. Shevchuk, O. Zakharchuk, N. Falovych, K. Berezka, R. Siran.</b> Conceptual basis of modernization of transport infrastructure of medium cities in Ukraine.....	369
<b>В.О. Шейченко, Д.О. Петраченко, В.В. Шевчук, Д.В. Шейченко</b> Насіння конопель: аналіз способів обривування	378	<b>V. Sheichenko, D. Petrachenko, V. Shevchuk, D. Sheichenko.</b> Hemp seeds: analysis of cropping methods.....	378
Перелік рецензентів .....	388	List reviewers .....	388

Larisa Bugaian<sup>1</sup>, Rodion Ciupercă<sup>1</sup>, Marina Bunea<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Technical University of Moldova, Chisinau, Republic of Moldova*

<sup>2</sup>*"Bogdan Petriceicu Hasdeu" State University of Cahul, Republic of Moldova*

## THE NEED FOR AN INTERUNIVERSITY MASTER'S PROGRAM IN INDUSTRY 4.0 IN THE REPUBLIC OF MOLDOVA

This article discusses the imperative for the creation of a new collaborative interuniversity master's program in Industry 4.0 across three Moldovan higher education institutions. Development of such a new master's program is the main goal of the ERASMUS+ project titled "Enhancing MEchanical Engineering EDUcation in Moldova for Industry 4.0/ NeedEDU4.0". The proposed master's program will be created and executed through partnerships between technical educational institutions and the industrial sector. Its primary focus is to equip future engineers in automotive construction with current knowledge and skills by integrating best practices from European Union university partners. The introduction of this modern joint interuniversity master's program in mechanical engineering is anticipated to facilitate collaboration between universities and enterprises, to enhance the employability of graduates from mechanical engineering programs, thus enhancing regional development, cultivating lifelong learning skills, encouraging social innovations, and promoting inclusivity.

**Keywords:** higher education, Industry 4.0, NeedEDU4.0 project, automotive industry, master's program

### INTRODUCTION

Industry 4.0 (I4.0) represents one of the most challenging themes for engineering design and for engineering education. Driven by I4.0, jobs are becoming more flexible and complex. Today's students will work and will deal with an increasingly globalized, automatized, virtualized and flexible world. They will compete for employment on a global market. As such, new competences and skills will become more important. In fact, the adoption of Industry 4.0 technologies will allow manufacturers to create new jobs, to meet the needs introduced by the growth of existing markets, and to introduce new products and services.

Therefore, students will increasingly have to master a combination of classic mechanical engineering and information technologies (IT). At present, there is an obvious gap between employers' expectations and the abilities that students tend to acquire during higher education, so matching education supply and occupation demand is a key issue of a high unemployment rate.

Currently, the employment situation in Moldova is very challenging. In particular, with the economic downturn following the outbreak of COVID-19, the employment rate of university graduates has dropped significantly. Thus, according to official information presented by the National Bureau of Statistics, the unemployment rate climbed from 11.9% in 2019 to 15.5% in March 2024 among young people with higher education (bachelor's and master's). This is a serious issue as the unemployment rate amongst such individuals is four times higher than the country-wide unemployment rate (3.1%) [1].

The increase in the share of emigrants with higher education from 10.9% in 2013 to 17.5% in 2021 is another worrying factor. Only 26.5% of the national labour force is employed in knowledge-intensive activities, which remains at a modest level below the sub-regional average. This issue can be attributed to the significant mismatch between labour-market requirements and the skill level of labour market entrants. This can be seen in the most recent edition of the Global Competitiveness Report (2018) which assesses 140 economies. In 2018, the World Economic Forum introduced a new methodology emphasizing the role of human capital, innovation, resilience and agility, as not only drivers, but also defining features of economic success in the 4th Industrial Revolution. This has led to Moldova being ranked 3/140 on skills and 71/140 on labour market, with low ranks on the indicators concerning the hiring and firing practices (94) and cooperation in labour-employee relations (70) of talent [2].

Indisputably, to make optimal use of its human resources, counteract emigration trends and ensure the efficient use of public resources, the economy needs to attract and retain the young workforce, which represents an indispensable need, a source of new ideas and talents, in fact a strategic resource in achieving the 2030 Agenda on Sustainable development in Republic of Moldova.

Improving Moldova's Education System is central to the country's efforts to boost its economic growth and development. A better-educated workforce will help overcome one of the biggest constraints faced by businesses in Moldova – skilled labour – and will help foster a thriving business environment, attracting investments which, in turn, will raise people's standard of living and reduce labour migration.

Investing in people is key to preparing for the future and fostering societal and economic resilience.

**Being part of Eastern Partnership (EaP), Moldova's committees have to fulfil the following (EaP policy beyond 2020 Reinforcing Resilience - an EaP that delivers for all) [3]:**

- (i) To reduce the gap between the labour market and the education sector;**
- (ii) To increase the support for the employability of youth and for youth entrepreneurship;**
- (iii) To get going labour market measures, such as the Youth Guarantee, to be adapted to the partner countries' labour markets.**

Another historical commitment in the perspective to become a member of the European Union (EU) requires the implementation of the EU *acquis*. The subsequent Association Agendas agreed between the EU and Moldova establish clear priorities in order to implement the Association Agreement and its Deep and Comprehensive Free Trade Areas (DCFTA). Adoption of the Association Agenda (2021-27) is imminent [4].

**The Commission Opinion on the Republic of Moldova's application for membership of the European Union clearly states that significant efforts are needed in order to tackle the employability of youth** "The labour market features significant structural weaknesses, as reflected by the very low employment rate of around 49% in 2020. There is a mismatch between skills and job requirements ... some graduates continue to struggle with finding jobs matching their qualifications. Employment services and labour market programmes are hampered by limited funding, while the creation of good quality jobs is held back by insufficient private and foreign investment in higher value-added sectors" [5].

Thus, national priorities stipulated in EU strategies (Moldova: SD "Education 2030"; National Development Strategy "European Moldova 2030"; Moldova's **Digital Transformation Strategy 2023-2030; Employment Programme of Moldova for the period 2022-2026**) demonstrates awareness of the need for a drastic conceptual change in all areas, with a **focus on a sustainable development**.

Targets 4.4 and 4.7, which are part of SDGs 4: „Quality Education” ,aim to substantially increase the number of young people and adults with relevant skills for the labour market and to ensure that all students acquire the knowledge and skills needed to promote sustainable development and lifestyles. Target 4.4 aims to, by 2030, substantially increases the number of youth and adults, who have relevant skills, including technical and vocational skills, for employment, decent jobs and entrepreneurship. Target 4.7 aims to, by 2030, ensure that all learners acquire the knowledge and skills needed to promote sustainable development.

All these strategic documents highlight the emerging need to involve all key actors, i.e. higher education institutions, students, industry and government in order to increase employability through actions that would harmonize the content of study programs with the real needs of the labour market.

Thus, this article discusses the need for development of a new joint interuniversity master's program in Industry 4.0 within three Moldovan higher educational institutions, in order to increase the employment in automotive companies of the university graduates of mechanical engineering programs.

#### **AUTOMOTIVE INDUSTRY IN REPUBLIC OF MOLDOVA**

Although the Republic of Moldova is not yet a car manufacturing country, but it **plays an important role in the world automotive industry**. The industry is well integrated within global supply chains, as **the main investors** are well known international companies: Lear Corporation, Dräxlmaier Moldova, Gebauer & Griller, Sammy Cablaggi / Kablem, Elektromanufacturing / SUMIDA, Confezioni Andrea Carcover, SEBN Sumitomo Electric Bordnetze, Fujikura Automotive, Coroplast Fritz Mueller, APM Automotive, Blacksea EMS, Arobs Software, Whetec / MG2C, Hub Multico / Quality and Equip-Test, that deliver various components, including hi-tech for the latest types of cars, including hybrid cars, hybrid plug-ins and even electric cars to the largest manufacturers of cars and trucks including the giants Ford, Renault, BMW, Mercedes, Volvo etc.

Despite facing a series of socio-economic challenges over the past two decades, the Republic of Moldova has made significant progress towards improving its business environment, integrating into the international community and attracting foreign investment.

Until now, large direct investors prefer to locate themselves in Moldova's Free Economic Zones (FEZ), which represents an excellent location for industrial development and production relocation oriented for exports. It is a key growing sector for the Moldovan economy. This is due to an increased focus on the unused industrial potential of Moldova and the maintained industrial orientation in the education system (Technical University, technical colleges and vocational schools). The higher education system in Moldova plays a crucial role to train qualified students. The country has strong technical faculties and specific colleges, which trains students in sector-specific areas.

In recent years, the automotive industry in the Republic of Moldova has one of the highest growth rates. According to the National Statistics Office of Moldova from 2015 to 2020, the export from this sector increased 1.75 times. Moreover, **as of 2022, the automotive industry** of Moldova has more than 300 million

euros in investments and more than 20 thousand people with an average monthly salary of 10 thousand lei. It **provides 33% of export of industrial goods from Moldova and 15% of total export of the country.**

According to the Chief Administrator of the Balti FEZ, one of **the major problems, which only intensified during the military crisis** in the region, is **the availability of qualified Moldovan workers for this sector.** In view of these changes, mechanical engineers need to be well trained and highly skilled. Innovation is an extremely important issue for success in mechanical engineering. It often supports clear market position and differentiation among competitors.

The adoption of Industry 4.0 technologies allows automotive companies to create new jobs, to meet the needs introduced by the growth of the existing markets, and to introduce new products and services [6].

It is evident the interest of the industrial sector is to find professionals who are trained for the new challenges that arise. Hence, the university is working towards this. After all, university is one of the main environments in which future professionals of the sector are formed. The key lies in the close relationship that must exist between the competences that the students acquire at university and the professional profile necessary to exercise the different professions.

Consequently, Industry 4.0 should be implemented in an interdisciplinary manner and in close cooperation with the other key areas and using different technological drivers. These are formerly known as the nine pillars of technological advancement, and they comprise the following technologies: Big Data; Autonomous Robots; Simulation; Universal System Integration; Industrial IoT; Cybersecurity; Cloud Computing; Additive Manufacturing and Augmented Reality [7, 8].

The biggest constraint in the development of Industry 4.0 is the lack of skilled labour, familiar with new developments in AI and IoT technologies [9]. The existing workforce needs to be trained to manage the latest equipment and software systems equipped with IoT and AI-related technologies. Although industries are dynamic in adopting new technologies, they are facing an **acute shortage of highly skilled engineers** and a workforce familiar with new technologies. **The same needs and constraints are signalled by the labour market in the Republic of Moldova.**

In this regard, Industry 4.0 obliges the establishment of lasting partnerships between technical educational institutions and the industrial sector. Both parties have come to realize the importance of dialogue and mutual support for the preparation of future engineers in the field of machine building.

#### **ERASMUS+ NEEDEDU4.0 PROJECT**

The development, accreditation and implementation of a new joint interuniversity master program (NIMP) in the field of mechanical engineering within three Moldovan higher educational institutions is the major objective of the ERASMUS+ project “EnhaNcing MEchanical Engineering EDUcation in Moldova for Industry 4.0/ NeededU4.0”.

The project objectives and activities overlap with CBHE specific conditions/objectives set out in the Programme Guide, and will:

- Improve the quality of higher education of Higher Education in Moldova by enhancing its relevance for the labour market and society and enhance its relevance for the labour market and society;
- Improve the level of competences, skills and employability of students in Moldova by new joint interuniversity master’s program in accordance with the needs of business sector;
- Enhance the teaching, assessment mechanisms for HEI staff and students, quality assurance, management, governance, inclusion, innovation, knowledge base, digital and entrepreneurial capacities.

This interuniversity master's program in Industry 4.0 will develop practical skills for designing and constructive and technological optimization of products based on CAD / CAM / CAE integration using three Virtual Learning Labs, one in each university, thus ensuring an authentic training environment with that of the design offices within the engineering companies.

It will be jointly organized by Technical University of Moldova, “Alec Russo” State University of Balti and “Bogdan Petriceicu Hasdeu” State University of Cahul through intensive collaborations with two EU universities (RWTH Aachen University and Transilvania University of Brasov) and one of the most important companies in the targeted field (Drăxlmaier).

The associated partners in this project are Ministry of Education and Research of R. Moldova (MER), National Agency for Quality Assurance in Education and Research (ANACEC) and Chamber of Commerce and Industry of the Republic of Moldova (CCI of the RM). This level of cooperation aims to support the development, accreditation and implementation of the new joint interuniversity master's program, adjusted to the national quality management system.

#### **JOINT INTERUNIVERSITY MASTER’S PROGRAM**



Indisputably, this joint interuniversity master program will contribute to strengthening the capacities of higher education institutions in the Republic of Moldova in order to increase the employment of graduates, to enhance their relevance for the labour market and overall society.

The implementation of the project NEDEDU4.0 can make a meaningful contribution by stimulating innovation and bridging Moldavia's knowledge, skills and competences gap.

It will also create economic and social value in the EU area, whereas the students who will graduate this master's program in mechanical engineering will obtain skills compatible with the requirements of the European labour market, and thus shall become valuable human resources in the European space. Erasmus+ programme is essential to reach these desired outcomes in the Republic of Moldova.

NEDEDU4.0 will address the aim of capacity building in the field of higher education through designing and implementing of a new national master's programme within three Moldovan universities, in order to support the modernisation of HE system in Republic of Moldova with the best practices applied in the EU universities partners.

The implementation will include modernization of educational programmes in accordance with contemporary training and learning approaches, the introduction of learning outcomes as well as elements of student-centred teaching and learning, and the creation of up-to-date internal and external quality assurance mechanisms.

The improved capacity building of staff from Moldovan HEIs will make the HE system in Republic of Moldova a solid force to fight youth unemployment and social inequality and to provide the young graduates with opportunities for lifelong learning and active involvement as responsible citizens. By focusing on the objective of the Erasmus+ programme K2 action on improvement of competences and skills level in HEIs through development of new and innovative programs and teaching / learning methods, the NeedEDU4.0 project aims to develop a Train-the-Trainer Program for academic staff adapted to the new teaching-learning requirements, which will expand their competences to perform and deliver high quality and job-relevant skill set to students. In addition, by implementing a new modern joint interuniversity master's program (NIMP) in mechanical engineering, the cooperation between universities enterprises will be strengthened by enhancing regional development, lifelong learning skills, encouraging social innovations and promoting inclusivity.

Furthermore, the cooperation between Moldovan universities and EU partners will contribute to boost the quality of higher education by the exchange of experiences and good practices.

As an example of interuniversity master's programme in Industry 4.0 in European Union is the Italian master's programme "*Advanced Automotive Engineering*" jointly offered by the University of Modena and Reggio Emilia, University of Bologna, University of Ferrara, and University of Parma in Emilia-Romagna Region and supported by automotive companies known at international level: Maserati, Ferrari, Automobili Lamborghini, Ducati, Marelli, Dallara, Pagani, HPE GROUP, Haas F1 Team, and Visa Cash App RB Formula One Team. These companies together put their innovative and know-how technologies at the service of students to prepare them in design and development of high performance road and racing vehicles at the level of Industry 4.0 [10, 11].

Another interuniversity master's program in I4.0 is the Belgian master's programme "*Smart Operations and Maintenance in Industry*" jointly organised by Katholieke Universiteit Leuven (KU Leuven) and Ghent University. This program provides specialists in smart operations and maintenance, capable to implement and to deploy innovative technologies in industry. Herein, students obtain knowledge and skills in optimization of both operational and maintenance processes by using Industry 4.0 technologies [12].

The Spanish interuniversity master's program "*Industrial Mathematics*" is developed and implemented by the University of Santiago de Compostela, University of A Coruña, University of Vigo, Charles III University of Madrid and Polytechnic University of Madrid by fusion of their master's programs in *Mathematical Engineering* and *Industrial Mathematics*. The courses are performed simultaneously face-to-face in the classrooms of these five universities using a specific videoconferencing system. The main objective of this program is to provide knowledge and skills in Modelling and Numerical Simulation and devising solutions to specific industrial problems [13].

The University of Vigo together with the University of León jointly offer another Spanish interuniversity master's degree in *Industry 4.0*, main subject being *Engineering Management*. The aim of this master's degree is provide specialists interested to work in companies that are in the process of transformation or adaptation to Industry 4.0. The students obtain knowledge and skills in development of new business models and innovation processes in enterprises, implementation of Industry 4.0 technologies as Additive Manufacturing, Big Data, Artificial Intelligence, IoT, Robotics, etc. and how to face digital

transformation. Herein, they participate in activities that combine Information and Communication Technology (ICT) with mechatronic system automation, programming, design, manufacturing etc. [14].

Thus, the aforementioned Moldovan universities, having two EU universities with recognition in engineering training as partners in NeedEDU4.0 project, will contribute to the professional development of academic and technical staff in order to design a modern master's program that will ultimately equip students with the qualifications and skills needed for their meaningful participation in democratic society, intercultural understanding and successful transition in the labour market. High-quality education for all will help Europe to achieve its economic and social objectives and fuel Member States' competitiveness and innovation.

### CONCLUSION

The new joint interuniversity master program (NIMP) in the field of mechanical engineering within three Moldovan higher education institutions represents a good opportunity to enhance employment in the labour field of the Republic of Moldova of engineers within the automotive industry. This program will offer interdisciplinary courses and research opportunities in three different universities that will help graduates to form a complete set of skills necessary for employment and career advancement in this industry. Also, the company Draxlmaier, being as partner in NeedEDU4.0 project, ensures that the master's program is aligned with the current needs and trends of the automotive industry. This partnership will allow students to apply their theoretical knowledges in practical works in the real industrial environment. The collaboration of the Moldovan universities with European Union partners (RWTH University of Aachen and Transilvania University of Brasov) will contribute to improve the quality of higher education by the exchange of experiences and good practices.

### ACKNOWLEDGEMENT

This work has been funded by project -"EnhaNcing MEchanical Engineering EDUcation in Moldova for Industry 4.0 (NEEDEDU4.0)", - ERASMUS-EDU-2023-CBHE-STRAND-2, within the European program ERASMUS+ co-financed by the European Commission, Grant Agreement no. 101128623.

### REFERENCES

- [1] The Statistical Yearbook of the Republic of Moldova, 2023. [https://statistica.gov.md/files/files/publicatii\\_electronice/Anuar\\_Statistic/2023/Anuarul\\_statistic\\_RM\\_editia\\_2023.pdf](https://statistica.gov.md/files/files/publicatii_electronice/Anuar_Statistic/2023/Anuarul_statistic_RM_editia_2023.pdf)
- [2] Sub-regional Innovation Policy Outlook 2020: Eastern Europe and the South Caucasus. United Nations Economic Commission for Europe. 2021. [https://unece.org/sites/default/files/2021-06/UNECE\\_Sub-regional\\_IPO\\_2020\\_Publication.pdf](https://unece.org/sites/default/files/2021-06/UNECE_Sub-regional_IPO_2020_Publication.pdf)
- [3] Structured consultation on the Eastern Partnership beyond 2020. The civil society perspective: Country Report Moldova. <https://eap-csf.eu/wp-content/uploads/Moldova-country-report.pdf>
- [4] Acts adopted by bodies created by international agreements (2022). Recommendation No 1/2022 of the EU-Republic of Moldova Association Council of 22 August 2022 on the EU-Republic of Moldova Association Agenda [2022/1997]. Official Journal of the European Union L 273, 65. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:22022D1997&from=EN>
- [5] Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council and the Council (2022). Commission Opinion on the Republic of Moldova's application for membership of the European Union. COM 406. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022DC0406>
- [6] Sonntag, M., Mehmman, J., Teuteberg, F., Kersten, W., Ringle, Ch. M. & Blecker, Th. (2021). Application of Industry 4.0 in the automotive sector. Hamburg International Conference of Logistics (HICL), 31, 151-182. <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/249615/1/hicl-2021-31-151.pdf>
- [7] Vidican Auktor, G. (2022). The opportunities and challenges of Industry 4.0 for industrial development: A case study of Morocco's automotive and garment sectors. Deutsches Institut für Entwicklungspolitik gGmbH. ISBN 978-3-96021-179-2. <https://doi.org/10.23661/dp2.2022>
- [8] Pinto, B., Silva, F. J. G., Costa, T., Campilho, R. D. S. G. & Pereira, M. T. (2019). A Strategic Model to take the First Step Towards Industry 4.0 in SMEs. Procedia Manufacturing, 38, 637–645. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.082>
- [9] Toni, M., Renzi, M. F., Pasca, M. G., Guglielmetti Mugion, R., di Pietro, L., Ungaro, V. (2021). Industry 4.0 an empirical analysis of users' intention in the automotive sector. International Journal of Quality and Service Sciences, 13(4), 563-584. <http://dx.doi.org/10.1108/IJQSS-04-2020-0062>
- [10] <https://www.hpe.eu/news/motorvehicle-university-of-emilia-romagna-2/>
- [11] <https://www.aae.unimore.it/site/home/program.html>

- [12] <https://www.kuleuven.be/programmes/master-smart-operations-maintenance-in-industry>  
[13] <https://www.uc3m.es/master/industrial-mathematics#practicalinformation>  
[14] <https://www.unileon.es/estudiantes/oferta-academica/masteres/mu-industria-40>

*Larisa BUGAIAN*, Dr. Hab. in Economy and Management, Head of Erasmus+ Centre, Professor of Department of Economy and Management, Technical University of Moldova, e-mail: [larisa.bugaian@adm.utm.md](mailto:larisa.bugaian@adm.utm.md), <https://orcid.org/0000-0002-4478-5124>

*Rodion CIUPERCĂ*, PhD in Technical Sciences, Head of Department of Continuing Education, Associate professor of Department of Manufacturing Engineering, Technical University of Moldova, e-mail: [rodion.ciuperca@tcm.utm.md](mailto:rodion.ciuperca@tcm.utm.md), <https://orcid.org/0000-0002-2352-2704>

*Marina BUNEA*, PhD in Technical Sciences, Associate professor of Department of Engineering and Applied Sciences, "Bogdan Petriceicu Hasdeu" State University of Cahul, e-mail: [bunea.marina@usch.md](mailto:bunea.marina@usch.md), <http://orcid.org/0000-0002-7792-6907>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1339

V. Kotenko  
*Lutsk National Technical University*

## DATA JUSTIFICATION FOR FORECASTING FUEL CONSUMPTION BY VEHICLES DURING THE GRAIN CROPS DELIVERY

The paper provides a justification of data for forecasting fuel consumption by vehicles during the transportation of grain crops from agricultural enterprises to the elevator. In order to obtain knowledge about the influence of the peculiarities of providing transport services and the conditions of using vehicles on the specific fuel consumption, regularities have been established and correlations between individual sets of data have been identified. To analyze data regarding the use of vehicles during the transportation of grain crops and to obtain additional information, a database containing 14140 instances of data on orders for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator was used.

Factor analysis was performed and trends in the change of indicators characterizing these orders were identified. The analysis showed that the specific fuel consumption during the transportation processes of delivering grain crops from agricultural enterprises to the elevator is determined by a multitude of specific factors. Additionally, each order for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator has its own specifics.

The results revealed the following relationships between specific fuel consumption and identified factors: the specific fuel consumption indicator is influenced by the location and method of vehicle loading, the vehicle model, the type of cargo, distance, cargo turnover and cargo volume. The identified dependencies allow for the preparation of a dataset and the correct interpretation of the results of machine learning models' work in order to increase the efficiency of their forecasting.

**Key words:** specific fuel consumption, transportation process, transportation of grain crops, factor analysis, machine learning

### INTRODUCTION

Nowadays, transportation enterprises offer their services considering market conditions characterized by fuel shortages and high costs. Fuel expenses in the provision of transportation services during the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator are the primary resource determining the cost of these services [1-3]. Therefore, forecasting fuel consumption by vehicles during such deliveries is highly relevant today. Its resolution demands modern approaches that consider the factors and capabilities of individual transportation enterprises.

Some transportation enterprises providing cargo transportation services, including the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator, maintain their own databases regarding their activities in previous years [4]. Intelligent analysis of this data serves as one of the primary sources of knowledge about the peculiarities of providing transportation services and the conditions of vehicle usage.

### ANALYSIS OF THE RECENT RESEARCH AND PROBLEM STATEMENT

There are numerous studies describing the influence of factors on the specific fuel consumption of cargo vehicles [1-3; 5-6]. Furthermore, there are studies reflecting the peculiarities of the transportation process of delivering grain crops [1; 6]. However, the use of modern approaches for forecasting specific fuel consumption involves the use of large databases describing transportation processes at specific enterprises. Among such approaches, machine learning methods are particularly relevant now [7-9]. Forecasting specific fuel consumption using machine learning methods allows for establishing regularities and identifying relationships between data. However, the application of these methods requires preprocessing and analysis of data, which involves identifying patterns and key influencing factors on the target variable (specific fuel consumption by vehicles in individual orders for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator). This, in turn, significantly speeds up the process and allows more accurate forecasting results [10]. Therefore, there is a need to conduct an analysis of data characterizing the execution of individual orders for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator regarding the provision of transportation services by the enterprise.

### AIM AND THE TASKS OF THE RESEARCH

This study aims to establish patterns and identify relationships between individual data attributes to gain insights into the impact of the characteristics of providing transportation services and the conditions of vehicle use on specific fuel consumption.

The following tasks have been formulated to achieve the goal:



1)to conduct a statistical analysis of data characterizing the execution of individual orders for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator regarding the provision of transportation services by the enterprise.

2)to perform factorial analysis and identify trends in the change of specific fuel consumption depending on the brand, cargo type, distance, and cargo turnover.

**RESULTS OF RESEARCH**

For the intelligent analysis of data regarding the use of vehicles during the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator and extracting knowledge from them, we utilized a database of an enterprise that owns its own fleet and provides services for delivering grain crops from agricultural enterprises to elevators.

Factorial analysis was performed with a database of 14140 instances characterizing the execution of individual orders for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator, and trends were identified. A histogram of the number of orders (Figure 1) for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator by types of cargo was constructed (Figure 2). The majority of all orders have been established for transporting wheat – 7316 orders (51.74%). Additionally, rapeseed was transported in 4213 orders, which constitutes 29.79% of the total.

All other types of cargo, characterizing the sample for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator, accounted for less than 5%.

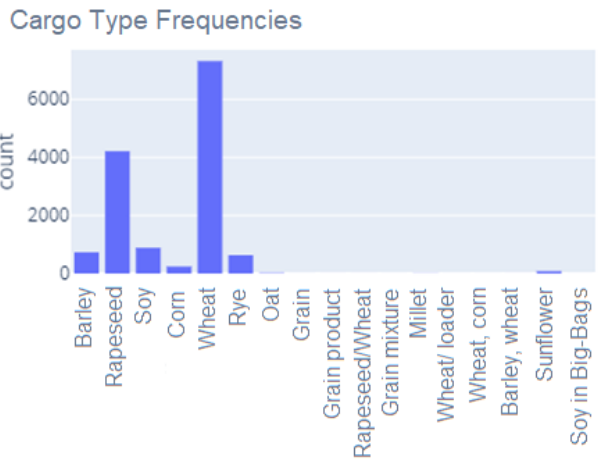


Figure 1 – Histogram of the number of orders for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator by types of cargo

Based on the analysis of the obtained data, a histogram of specific fuel consumption by vehicles has been constructed for the execution of individual orders for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator (Figure 3).

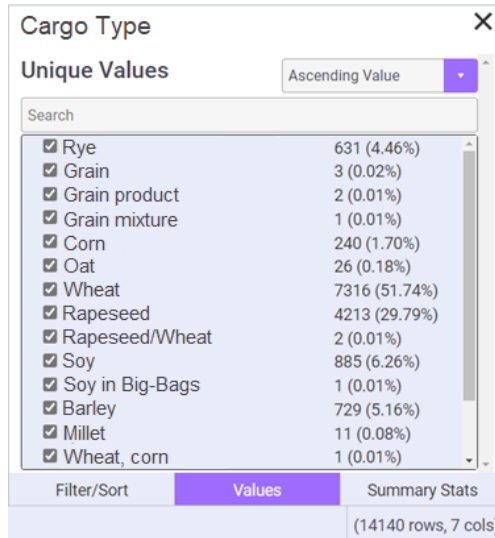


Figure 2 – Characteristics of orders for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator by types of cargo

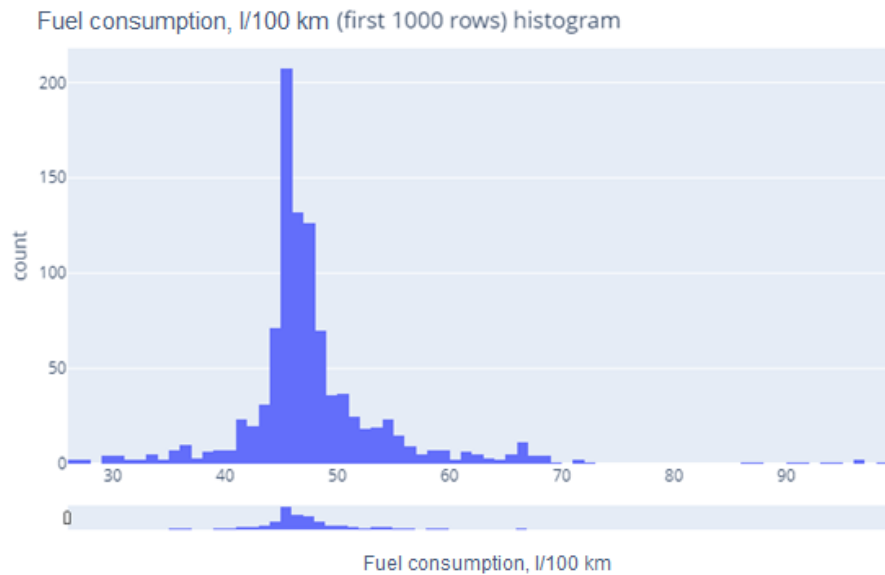


Figure 3 – Histogram of specific fuel consumption by vehicles for the execution of individual orders for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator

Based on the obtained histogram, it can be observed that the specific fuel consumption by vehicles for the execution of individual orders for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator varies in a wide range – from 16.9 liters/100 km to 99.7 liters/100 km. Although according to the technical specifications of the vehicles used, this range should be from 18.2 liters/100 km to 29.7 liters/100 km.

In the vast majority of cases, during the execution of individual orders for the delivery of grain crops, this indicator is significantly higher. The indicators of normative and actual specific fuel consumption by vehicles have been compared for the execution of individual orders for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator (Table 1).

Table 1 – Comparative indicators of normative and actual specific fuel consumption by vehicles during the execution of individual orders for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator

№	Brand and model of vehicle (engine)	Specific fuel consumption, liters/100 km		
		Normative	Actual	
			minimum	maximum
1	DAF 85.300 (WS295M)	21,8	29,5	96,2
2	DAF 95.380 (279 kW)	21,4	27,8	89,8
3	DAF CF85 (316 kW)	20,0	27,1	93,75
4	DAF CF85.410 (301 KW)	21,0	27,4	71,7
5	DAF CF85.430 (316 kW)	20,0	18,4	73,14
6	DAF FT CF 85.410 (301 KW)	21,0	21,97	98,8
7	DAF FT XF 105 (340 kW)	22,4	16,8	97,7
8	DAF FT XF 105.410 FTXF (300 kW)	22,3	45,5	60,8
9	DAF FT XF 105.460 (340 kW, 12 automatic transmission)	20,6	20,3	98,2
10	DAF FT95.430 (W5315M)	24,7	34,97	82,4
11	DAF XF 105.460 FTXF (340 kW)	22,4	30,2	88,5
12	DAF XF95.480 (355 kW)	22,9	32,4	99,7
13	Freightliner FLC-120 (Detroit Diesel S60, 351 kW)	29,7	35,1	69,3
14	Mercedes-Benz Atego818 (175 kW)	18,2	17,1	23,3
15	KAMAZ 45143-012-15 (KamAZ 740.31 240, 176 kW)	26,0	27,8	98,6
16	MAZ 543205-020 (6581.10)	24,4	23,7	67,8
Range of variation		18,2...29,7	16,8...45,5	23,3...99,7
Exceeds normative values, times		–	0,75...2,04	1,28...4,76

The obtained indicators provided in Table 1 indicate that the minimum actual specific fuel consumption by vehicles ranges from 16.8 to 45.5 liters per 100 km, while the maximum actual specific fuel consumption during the execution of individual orders for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator ranges from 23.3 to 99.7 liters per 100 km. In the majority of cases, the minimum actual specific fuel consumption by vehicles exceeds the normative values, while the maximum values exceed them by 1.28 to 4.76 times. However, there are individual orders where the actual minimum specific fuel consumption by vehicles (DAF FT XF 105, Mercedes-Benz Atego818, and DAF FT XF 105.460) is lower than the normative values.

Further analysis of the data describing orders with maximum specific fuel consumption by vehicles revealed that the main reasons for the significant increase in specific fuel consumption by several times include the prolonged operation of the vehicle during direct harvesting from the field and the minimal distance for order execution (up to 17 km).

Regarding the specific fuel consumption by individual brands and models of vehicles during the execution of individual orders for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator, it also varies (Figure 4).

The variation in specific fuel consumption has been observed among different brands and models of vehicles involved in the transportation processes during the execution of orders for delivering grain crops from agricultural enterprises to the elevator. Specifically, the smallest range of variation in specific fuel consumption is observed for deliveries of grain crops by Mercedes-Benz Atego818 trucks, amounting to 6.2 liters per 100 km or 36.25%. Meanwhile, for deliveries of grain crops by DAF FT XF 105 trucks, the largest range of variation in specific fuel consumption is observed, amounting to 80.9 liters per 100 km or 481.5%.

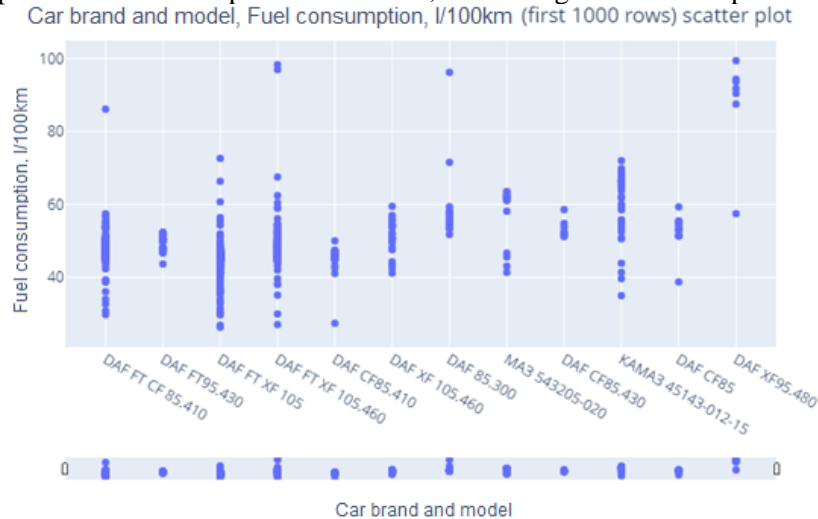


Figure 4 – Range of variation in specific fuel consumption by different brands and models of vehicles during the execution of individual orders for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator

The trends in specific fuel consumption by vehicles during the delivery of various grain crops from agricultural enterprises to the elevator have been analyzed (Figure 5).

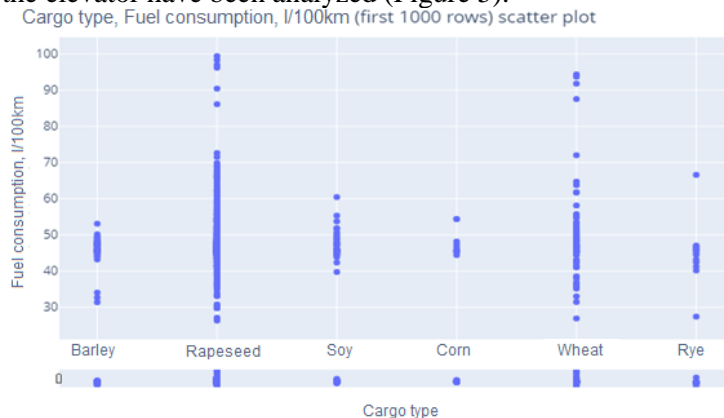


Figure 5 – Range of variation in specific fuel consumption by vehicles during the delivery of different grain crops from agricultural enterprises to the elevator

The smallest range of variation in specific fuel consumption is noted for corn delivery, whereas the largest range is observed for rapeseed and wheat delivery. This is mainly associated with the harvesting technologies of these grain crops. Specifically, the delivery of these grain crops from grain flows at agricultural enterprises to the elevator results in the lowest specific fuel consumption. However, when vehicles transport grain crops directly from the fields after harvesting, these fuel consumption rates significantly increase. This is due to multiple loading of vehicles in various parts of the fields and the operation of vehicles in low gears. In some cases, vehicles operate full shifts in fields with periodic relocations, leading to a significant increase in fuel consumption. Additionally, the condition of roads, which are often in poor condition in field conditions, also significantly affects fuel consumption.

The trends in specific fuel consumption by vehicles over different distances for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator have been analyzed (Figure 6).

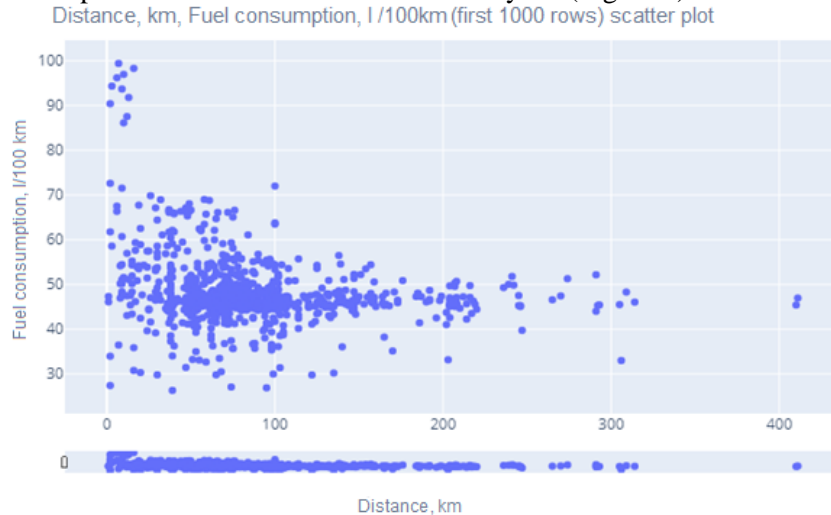


Figure 6 – Trends in the variation of specific fuel consumption by vehicles for different total delivery distances of grain crops from agricultural enterprises to the elevator

The analysis of various total delivery distances revealed that the highest specific fuel consumption by vehicles occurs for orders with short delivery distances of different grain crops from agricultural fields to the elevator. In general, all transport orders are executed within a distance of up to 100 km. As the transportation distance of grain crops increases, the range of variation in specific fuel consumption by vehicles decreases. For total distances of 150 km and more, the range of variation in specific fuel consumption by vehicles remains unchanged, indicating that the distance has no influence on fuel consumption.

Similar trends are observed regarding the variation in specific fuel consumption by vehicles for different cargo turnover rates during the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator (Figure 7).

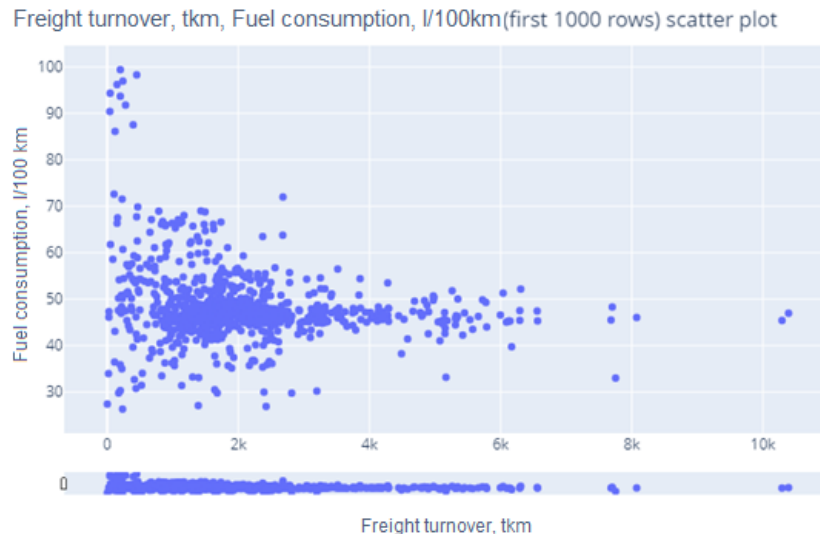


Figure 7 – Trends in the variation of specific fuel consumption by vehicles for different cargo turnover during the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator

The trends in the variation of specific fuel consumption have been analyzed by vehicles for different cargo volumes in individual orders for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator (Figure 8).

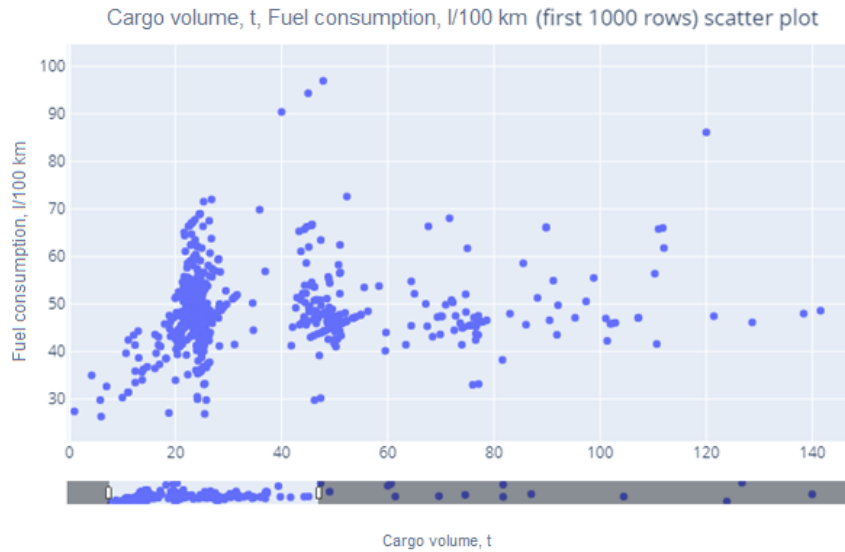


Figure 8 – Trends in the variation of specific fuel consumption by vehicles for different cargo volumes in individual orders for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator

The specific fuel consumption by vehicles can be divided into three clusters, which are determined by the volumes of grain crop delivery from agricultural enterprises to the elevator. The first cluster corresponds to cargo volumes up to 30 tons and is characterized by requiring only one trip since the cargo volume does not exceed the load capacity of the vehicles. It also has a range of specific fuel consumption between 20 and 70 liters per 100 km. Cargo volumes exceeding the load capacity of the vehicles characterize the second and third clusters. The second cluster corresponds to cargo volumes from 30 to 60 tons and has the widest range of specific fuel consumption, between 30 and 99 liters per 100 km. The third cluster corresponds to cargo volumes exceeding 60 tons and has the narrowest range of specific fuel consumption, between 40 and 70 liters per 100 km.

#### DISCUSSION OF RESEARCH RESULTS

The analysis of the data indicates that the specific fuel consumption during the transportation processes of delivering grain crops from agricultural enterprises to the elevator is influenced by a multitude of specific factors. Fully considering them using analytical models is impossible because fuel consumption has a stochastic nature and depends on a variety of variable production conditions during the transportation process. Additionally, each order for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator has its own specificity.

The obtained results reflect the following relationships: the indicator of specific fuel consumption is influenced by the location and method of loading the vehicle; the vehicle model (engine type); the type of cargo, which determines the method of harvest collection; distance and cargo turnover (an increase in these indicators leads to a tendency to decrease the target indicator); cargo volume. The identified dependencies allow for the preparation of a dataset and the correct interpretation of the results of machine learning models to enhance the efficiency of their forecasting.

#### CONCLUSIONS

1. The database concerning the execution of orders by the enterprise responsible for grain crop delivery was used for the analysis of data regarding the use of vehicles during the transportation of grain crops from agricultural enterprises to the elevator and obtaining additional information. Factorial analysis was conducted to identify trends in the indicators characterizing these orders based on 14,140 instances of data regarding executed orders for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator.

2. The analysis of the number of orders for the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator by cargo type was performed. Trends in specific fuel consumption by vehicles were analyzed: for the execution of individual orders, by specific vehicle makes and models, by varying total delivery distances, by varying cargo turnover, and by varying cargo volume in individual orders during the delivery of grain crops from agricultural enterprises to the elevator. It was found that specific fuel consumption during the execution of transportation processes for delivering grain crops from agricultural enterprises to the

elevator is influenced by the location and method of loading the vehicle, the vehicle model, the type of cargo determining the method of harvest collection, distance and cargo turnover, and cargo volume.

### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Gong J., Shang J., Li L., Zhang C., He J., Ma J. A Comparative Study on Fuel Consumption Prediction Methods of Heavy-Duty Diesel Trucks Considering 21 Influencing Factors. *Energies*, 14, 8106, 2021.
2. Придюк В.М. Особливості організації перевезень сільськогосподарських вантажів автомобільним транспортом. *Сільськогосподарські машини*, Вип. 28, Луцьк: РВВ Луцького НТУ, С. 68-72, 2014.
3. Бузовський Є. А., Василенко В. Г. Високоєфективне використання транспорту в АПК, Київ: Урожай, 144 с., 1989.
4. Тригуба А., Кондисюк І., Коваль Н. Формування портфелів гібридних проєктів автотранспортних підприємств. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер.: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проєктами : зб. наук. – Харків : НТУ "ХПІ", 2021. – № 2 (4). – С. 67-72.*
5. Парасюк В. М., Демків Р. Я., Когут В. М. Безпека дорожнього руху: навчальний посібник, Львів, Львівський державний університет внутрішніх справ, 340 с., 2022.
6. Медведєв Є. П. Сучасний стан та перспективи розвитку транспортного забезпечення при збиранні врожаю пшениці. *Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології»*, Вип.31, 2018.
7. Kotenko V. Application of algorithmic models of machine learning to the freight transportation process, *Transport Technologies*, Volume 3, Number 2, P.10-21, 2022.
8. Kotenko V., Onyshchuk V., Stelmashchuk V. Supervised Machine Learning Models for Forecasting Fuel Consumption by Vehicles During the Grain Crops Delivery. *MATEC Web Conf. Volume 390*, 2024.
9. Tryhuba A., Kotenko V. Intelligent information system for resource planning in grain crops delivery projects on the basis of machine learning, 2023 IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT), Lviv, Ukraine, 2023, pp. 1-4.
10. Katreddi, S. Development of Machine Learning based approach to predict fuel consumption and maintenance cost of Heavy-Duty Vehicles using diesel and alternative fuels (2023). Graduate Theses, Dissertations, and Problem Reports. 11780. - Режим доступу: <https://researchrepository.wvu.edu/etd/11780> (дата звернення 30.04.2024).

### REFERENCES

1. Gong J., Shang J., Li L., Zhang C., He J., Ma J. (2021). A Comparative Study on Fuel Consumption Prediction Methods of Heavy-Duty Diesel Trucks Considering 21 Influencing Factors. *Energies*, 14, 8106 (in English).
2. Prydiuk V.M. (2014). *Osoblyvosti orhanizatsii perevezen silskohospodarskykh vantazhiv avtomobilnym transportom* [Peculiarities of the organization of transportation of agricultural products by road transport]. *Silskohospodarski mashyny* [Agricultural machines], № 28, Lutsk, RVV Lutskoho NTU, P. 68-72 (in Ukrainian).
3. Buzovskyi Ye. A., Vasylenko V. H. (1989). *Vysokoefektyvne vykorystannia transportu v APK* [Highly efficient use of transport in the agricultural sector], Kyiv, Urozhai, 144 p. (in Ukrainian).
4. Tryhuba A., Kondysiuk I., Koval N. (2021). *Formuvannia portfeliv hibrydnykh proiektiv avtotransportnykh pidpriemstv* [Formation of portfolios of hybrid projects of motor transport enterprises]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Ser.: Stratehichne upravlinnia, upravlinnia portfeliamy, prohramamy ta proiektamy : zb. nauk.* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic management, management of portfolios, programs and projects: collection of sciences], Kharkiv, NTU "KhPI", № 2 (4), P. 67-72 (in Ukrainian).
5. Parasiuk V. M., Demkiv R. Ya., Kohut V. M. (2022). *Bezpeka dorozhnoho rukhu: navchalnyi posibnyk* [Road traffic safety: a study guide], Lviv, Lvivskiy derzhavnyi universytet vnutrishnikh sprav, 340 p. (in Ukrainian).
6. Medvediev Ye. P. (2018). *Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku transportnoho zabezpechennia pry zbyranni vrozhaiu pshenytsi* [The current state and prospects for the development of transport support during wheat harvesting]. *Zbirnyk naukovykh prats DUIT, Seriiia "Transportni systemy i tekhnolohii"* [Collection of scientific papers DUIT. "Transport systems and technologies" series], 31 (in Ukrainian).



- 7.Kotenko V. (2022). Application of algorithmic models of machine learning to the freight transportation process, *Transport Technologies*, Volume 3, Number 2, P.10-21, 2022 (in English).
- 8.Kotenko V., Onyshchuk V., Stelmashchuk V. (2024). Supervised Machine Learning Models for Forecasting Fuel Consumption by Vehicles During the Grain Crops Delivery. *MATEC Web Conf. Volume 390*, 2024 (in English).
- 9.Tryhuba A., Kotenko V. (2023). Intelligent information system for resource planning in grain crops delivery projects on the basis of machine learning, 2023 IEEE 18th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT), Lviv, Ukraine, 2023, pp. 1-4 (in English).
- 10.Katreddi, S. (2023). Development of Machine Learning based approach to predict fuel consumption and maintenance cost of Heavy-Duty Vehicles using diesel and alternative fuels. Graduate Theses, Dissertations, and Problem Reports. 11780. Retrieved from: <https://researchrepository.wvu.edu/etd/11780> (in English).

***V. Котенко. Обґрунтування даних для прогнозування витрат палива транспортними засобами під час доставки зернових культур.***

У статті проведено обґрунтування даних для прогнозування витрат палива транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора. З метою отримання знань щодо впливу особливостей надання транспортних послуг та умов використання транспортних засобів на питому витрату палива встановлено закономірності та виявлено взаємозв'язки між окремими наборами даних. Для аналізу даних стосовно використання транспортних засобів під час доставки зернових культур та отримання додаткової інформації використано базу даних, що налічує 14140 екземплярів даних виконаних замовлень із доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

Виконано факторний аналіз та встановлено тенденції зміни показників, що характеризують ці замовлення. Проведений аналіз показав, що питомі витрати палива під час виконання транспортних процесів доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора зумовлюються множиною специфічних чинників. Окрім того, кожне із замовлень на доставку зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора має свою специфіку.

Отримано результати, що відображають наступні взаємозв'язки між питомими витратами палива та виявленими чинниками: показник питомої витрати палива зумовлений місцем і способом навантаження транспортного засобу; моделлю транспортного засобу (типом двигуна); типом вантажу, який визначає спосіб збору врожаю; відстанню та вантажообігом (із зростанням цих показників спостерігаємо тенденцію до зниження цільового показника); обсягом вантажу. Виявлені залежності дозволяють провести підготовку набору даних та правильно інтерпретувати результати роботи моделей машинного навчання з метою підвищення ефективності їх прогнозування.

**Ключові слова:** питома витрата палива, транспортний процес, перевезення зернових культур, факторний аналіз, машинне навчання.

*КОТЕНКО Вікторія Ігорівна*, доктор філософії, доцент кафедри автомобілів та транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: [viktoria.kotenko@lutsk-ntu.com.ua](mailto:viktoria.kotenko@lutsk-ntu.com.ua). <http://orcid.org/0000-0002-0033-3302>

*Viktoria KOTENKO*, PhD in Engineering, associate professor of Automobiles and Transport Technologies department, Lutsk National Technical University, e-mail: [viktoria.kotenko@lutsk-ntu.com.ua](mailto:viktoria.kotenko@lutsk-ntu.com.ua). <http://orcid.org/0000-0002-0033-3302>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1340

S. Kryshchtopa, O. Mysiv, L. Ivanyuk, Y. Demyanchuk, F. Kozak, I. Solyarchuk.

*Івано-Франківській національній технічній університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна*

## THE REDUCTION OF OPERATING COSTS OF OIL AND GAS TECHNOLOGICAL TRANSPORTATION CONVERTED INTO GAS FUELS

The development experience of foreign and domestic specialists of converting diesel engines into monogas with spark ignition was studied. Disadvantages and advantages of use as motor gas fuel for diesel engines are analyzed. Ways of converting diesel units of the oil and gas industry to liquefied and compressed gas fuels according to various schemes are formulated. Modelling of the energy efficiency of diesel units of the oil and gas industry during the conversion of diesel drives to the use of alternative fuels was performed. It has been found that when converting diesel engines of power drives of the oil and gas industry to gas motor fuel, it is possible to ensure torque, fuel consumption, and power indicators that are practically identical to the similar indicators of diesel engines before their conversion to gas. It has been established that when converting diesel units of the oil and gas industry to gas motor fuel, when converting diesel engines to a propane-butane mixture, in comparison with natural gas, it will be possible to provide better fuel, power, and environmental characteristics. It is proved that the simulation results are in good agreement with the practical results already obtained on automobile and technological transport.

**Key words:** alternative fuel, diesel engine, drilling rig, gas refurbishment, energy efficiency.

### INTRODUCTION

Oil reserves in the bowels of the Earth are constantly decreasing. According to the most optimistic forecasts, with the existing volumes of explored reserves and volumes of production, humanity will have enough oil for about 50 years. Gas engine fuels are the second energy resource as a fuel after oil. Currently, gas is used as motor fuel in most countries of the world. Currently, gas fuels are most widely used in Argentina and Brazil. The low price and good environmental indicators contribute to the expansion of the use of gas as a motor fuel.

Studying the development experience of domestic and foreign specialists shows that diesel engines converted to gas have high traction-dynamic and fuel-economy characteristics, and in terms of environmental safety, they are even significantly superior to basic diesel engines. This gives reason to assert that in order to solve the complex problem of reducing the rate of consumption of liquid petroleum fuels, the share of power drives with gas engines should be significantly increased, and for this, among other measures, technologies for converting existing diesel power drives into gas engines should be developed for the oil and gas industry. At the same time, diesel power drives converted into gas engines will simultaneously ensure a reduction in fuel and lubricant costs and reduce the negative impact of engines on the environment.

Gas as a motor fuel for diesel power drives has a number of advantages:

- lower costs for gas fuel compared to diesel fuel, since gas fuel is, on average, 30-40% cheaper than diesel fuel;
- there is practically no soot formation, which increases the engine resource by 1.5-2.5 times;
- on average, the periodicity of replacing motor oils and oil filters is doubled;
- better mixture formation is ensured, a more homogeneous combustible mixture is prepared, which is more evenly distributed among the engine cylinders, combustion pressures increase more smoothly, which extends the life of the engines;
- the gas engine warms up to operating temperature faster, due to which the wear of the cylinder-piston group and fuel consumption are reduced;
- condensation of fuel vapors on the walls of the cylinders, washing of the oil film and dilution of the engine oil are practically excluded;
- more complete fuel combustion is achieved, therefore the toxicity of exhaust gases is significantly reduced;
- engine noise is reduced;
- it is much more difficult for staff to steal gas from filled cylinders than diesel fuel.

The widespread use of compressed and liquefied gas fuels in diesel engines in our country is restrained due to:

- lack of serial production of diesel engines running on compressed and liquefied gas fuels;
- decrease in the duration of operation of equipment at one gas filling station in comparison with oil fuel;



- worse starting properties of gas engines in winter;
- increasing the weight and size parameters of equipment when installing gas equipment;
- the need for infrastructure costs for transportation and refueling of engines with compressed and liquefied gas fuels;
- the negative experience of converting diesel engines to work in gas-diesel mode due to their low efficiency and high prices for gas-diesel equipment.

Despite the mentioned shortcomings, in connection with the trend of constant growth in the cost of diesel fuel and the introduction of increasingly strict standards for the toxicity of exhaust gases, the use of compressed and liquefied gas fuels in diesel engines in the world and in our country will only increase in the future.

#### **ANALYSIS OF LITERATURE DATA AND STATEMENT OF THE PROBLEM**

The creation of monogas engines by the world's leading companies, which already meet the most stringent standards of toxic emissions in exhaust gases, shows the significant advantages of converting diesel engines to gas engines with spark ignition.

Such well-known world concerns as Cammins, MAN, Scania, Iveco, Mercedes-Benz and others, which have already developed gas engines for buses and trucks based on diesel engines, are working in this direction [1].

Similar works are also carried out in the countries of the post-Soviet space. This is how a diesel engine manufactured in Minsk was converted to run on natural gas [2]. In the MMZ-245.12 diesel engine, spark plugs were installed instead of injectors and a non-contact transistor ignition system was installed. A SG-250 gas mixer and two high- and low-pressure Saga-7B gas reducers were installed on the intake manifold. To avoid detonation in the engine, the compression ratio was reduced from 16.0 to 12.0 units due to the boring of the combustion chamber in the piston.

The Sammins Corporation conducted research on a gas engine based on the Cammins QSL9 diesel engine [3]. The engine was equipped with an ignition system and gas equipment with electronic control and had a maximum specific gas consumption of 0.24 m<sup>3</sup>/kWh. The gas engine was equipped with a regular turbocharger and an exhaust gas neutralization system. The convertible engine in terms of emissions of harmful substances with exhaust gases met the requirements of the UNECE Regulations up to the EURO-6 level and reduced CO<sub>2</sub> emissions by 30 % compared to the basic diesel engine. The power system with electronic control automatically provided the composition of the gas-air mixture to ensure the achievement of optimal indicators of fuel economy, power and toxicity of exhaust gases.

The KamAZ automobile corporation converted the KamAZ-740 eight-cylinder diesel engine into a gas engine under Euro-5 environmental standards with spark ignition and quantitative regulation of the gas-air mixture supply to the intake system [4]. For example, such engines are installed by the automaker on the KamAZ-6520PG dump truck with a carrying capacity of 18 tons, which is designed for the transportation of various construction loads. The car's fuel system consists of 13 compressed gas cylinders, the total volume of cylinders is 1120 liters or 224 m<sup>3</sup> of compressed natural gas at a pressure of 20 MPa. The range of the car is 450 km (maximum load) or 700 km (empty). In the converted engine, spark plugs with individual coils are installed in the nozzle holes, and the combustion chamber in the piston is bored so that the compression ratio is reduced from 17.0 to 12.0 [5]. The engine intake system is equipped with an original air-gas mixer and two air-gas mixture dispensers for each row of cylinders. Stand; and running tests of the created engine were performed. The convertible gas engine has almost the same energy performance as the base engine.

It should be noted that the reduction of the compression ratio in the converted gas engines under consideration was performed, as a rule, due to the boring of the combustion chamber in the piston of the basic diesel engine [6]. However, experimental studies show that even small changes in the geometry of the combustion chambers in the pistons lead to significant changes in the flow of heat, gas, and mass transfer processes. Optimizing the shape of the combustion chamber of a convertible engine requires serious calculation and experimental work to ensure energy, economic and environmental indicators and is a rather complex scientific and technical task.

There is experience in converting diesel engines to gas engines in Ukraine as well. The analysis of the developments of Ukrainian organizations shows that some experience has been gained in the conversion of several types of diesel engines, which are installed on vehicles and agricultural machines, into gas engines.

So at the Institute of Mechanical Engineering Problems named after A. N. Podhorny of the National Academy of Sciences developed the technology of converting diesel engines into gas engines and created a working model of a gas engine based on the D-21 diesel engine [7], which had a nominal power of 18.4 kW. The developed technology provided for a maximum focus on the use of serial gas equipment and elements of

ignition systems and a minimum of changes in the engine design. Fuel economy at rated power is 11% worse than the base diesel engine. Emissions of nitrogen oxides and carbon oxides have decreased in exhaust gases, and soot is completely absent. The compression ratio was reduced to 9.5 by boring the combustion chambers in the pistons.

Also, specialists from the Institute of Mechanical Engineering Problems, together with the employees of the Kharkiv National Automobile and Road University, developed the conversion technology and created a working model of a gas engine based on a six-cylinder YaMZ-236 diesel engine [8]. A feature of this development is the creation of an original ignition system of increased energy, which was supposed to provide the engine with good starting characteristics in conditions of negative temperatures. Engine conversion made it possible to reduce emissions of harmful substances, on average, by 1.5-2 times.

At the Lutsk National Technical University, the Belarusian-made D-240 diesel engine was converted into a gas engine [9]. The peculiarity of the technology of conversion of this diesel engine into a gas engine was that the reduction of the compression ratio to 12.0 was achieved due to the installation of three gaskets between the head and the cylinder block with a total thickness of 4.5 mm. It should be noted that such a conversion technology is not possible for engines with a gear camshaft drive.

### FORMULATION OF THE PURPOSE OF THE RESEARCH

It should be noted that so far only a little experience has been gained in the direction of conversion of diesel engines to gas engines. The analysis of its results shows that for the conversion of diesel engines to gas engines in the oil and gas industry, many problems of a scientific, technical and commercial nature have yet to be solved. The scientific and technical problems are as follows:

- it is necessary to study the energy efficiency of diesel engines in the oil and gas industry when they are converted to alternative fuels;
- it is necessary to study the ways of improving the working processes of convertible gas engines in order to increase their economy, power and reliability;
- necessary development for the conversion of diesel engines into gas modern electronic ignition systems with computer control to optimize the processes of ignition advance angles;
- it is necessary to improve technologies for reducing the compression ratio of convertible diesels in order to reduce the cost of conversion and increase the degree of unification;
- the development of multi-fuel systems is desirable, which would allow to ensure the operation of convertible engines both on gas and, in case of possible interruptions with the delivery of gas fuel, in backup diesel mode, albeit with a slightly reduced power.

Conversion of diesel equipment to compressed and liquefied gas fuels can be carried out according to the following options: diesel engines are converted to work in gas-diesel mode or diesel engines are converted to monogas engines with spark ignition with a reduced, compared to diesel engines, compression ratio. Conversion of diesel engines to work in gas-diesel mode is not very advisable, because for such engines, diesel fuel consumption remains for ignition of the fuel-air mixture (according to real data - up to 50%), which significantly worsens the economy of converted power drives. Therefore, the purpose of this article is theoretical research on the energy efficiency of diesel power drives in the oil and gas industry when converting diesel engines to use monogas fuels.

### RESEARCH RESULTS

The piston engine of the power drive of the mobile unit of the oil and gas technological transport is an energy-converting system in which the chemical energy of the fuel is transformed into work. An oxidizer (oxygen from the air) and an energy carrier are supplied to the input of this system, in our case it is diesel fuel, compressed natural gas or a liquefied propane-butane mixture. The incoming material flow is characterized by the heat supplied to the engine cylinders  $Q_n$ , which can be obtained by complete oxidation of the fuel. The heat is transformed into the work of gases  $A_k$ , which is perceived by the engine pistons.

The energy efficiency of engines is evaluated by the thermodynamic coefficient of effectiveness  $\eta_i$ , which is determined by the ratio of the useful work  $A_k$  obtained on the crankshaft of the engine to the added heat  $Q_n$  obtained as a result of the combustion of the fuel-air mixture

$$\eta_i = \frac{A_k}{Q_n} = \frac{Q_n - Q_g}{Q_n}, \quad (1)$$

where  $Q_g$  - amount of removed heat, kJ.

The quantities of heat supplied to the engine cylinders during the combustion of the fuel-air mixture and heat removed (through the cooling system, with combustion products, etc.) are determined by the temperatures of the working process

$$Q_n = mC_{v,p.c.}(T_z - T_c), \quad (2)$$

$$Q_6 = mC_{v,n.3.}(T_b - T_a), \quad (3)$$

where  $C_{v,p.c.}$ ,  $C_{v,n.3.}$  - isochoric heat capacities, respectively, of the working mixture, and combustion products;

$T_z$ ,  $T_c$ ,  $T_b$ ,  $T_a$  - temperatures, respectively, of the working fluid at the end of the combustion, compression, expansion and intake processes.

Temperatures of the working body at the end of the combustion, compression and expansion processes for diesel engines can be calculated as follows:

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1 - 1}, \quad (4)$$

$$T_z = \frac{\lambda \rho T_c}{\mu}, \quad (5)$$

$$T_b = \frac{T_z}{\rho^{n_2 - 1}}, \quad (6)$$

where  $\lambda$  - measure of pressure increase e,

$\rho$  - measure of subsequent expansion,

$\mu$  - coefficient of molecular change of the working mixture,

$\varepsilon$  - measure of compression,

$n_1$  - the average value of the index of compression polytropy,

$n_2$  - the average value of the expansion polytropy index.

Due to the measure of compression and polytropes of compression and expansion, the ratio between the pressures of the working body at the end of the compression, combustion, and expansion processes is determined

$$P_c = P_a \varepsilon^{n_1}, \quad (7)$$

$$P_z = \frac{P_c \cdot T_z}{T_c}, \quad (8)$$

$$P_b = \frac{P_z}{\varepsilon^{n_2}}. \quad (9)$$

The added heat  $Q_n$  can also be defined as the product of the cyclic fuel supply  $q_u$  and the lower heat of combustion of the fuel  $H_u$

$$Q_n = H_u q_u. \quad (10)$$

Lower heat of fuel combustion  $H_u$  one kg of diesel varies between 41-42 MJ, one kg of compressed natural gas – 35-36 MJ, and one kg of liquefied propane-butane mixture – 43-46 MJ [10].

Cyclic fuel supply  $q_u$  determined by the amount of air  $G_{air}$ , which entered the engine per unit of time

$$q_u = \frac{G_{air}}{l_0}, \quad (11)$$

where  $l_0$  - theoretically required amount of air for burning one kg of fuel.

This value can be found from the stoichiometric equations for the oxidation of carbon and hydrogen found in the fuel. The content of carbon, hydrogen and the theoretically necessary amount of air for the combustion of one kg of fuel are shown in Table 1.

Table 1 - The content of carbon, hydrogen and the theoretically required amount of air for burning one kg of fuel [11]

Fuel	Carbon content C, %	Hydrogen content H, %	Theoretically, the required amount of air for the combustion of one kg of fuel $l_0$ , kg
Petrol	85-86	14-15	14,7-14,9
Diesel fuel	86,5-87,5	12-13	14,3-14,5
Compressed natural gas	76,5-77,5	22,5-23,5	15,5-16,0
Propane-butane liquefied gas	81,5-82,5	17,5-18,5	15,5-15,7

But in real combustion processes, the fuel-air mixture has a composition that differs from the theoretically required amount. The actual quantity of air for burning one kg of fuel is taken into account by the coefficient of excess air  $\alpha$ . Therefore, taking into account the real "fuel-air" ratio the cyclic fuel supply  $q_u$  is determined by the formula

$$q_u = \frac{G_{air}}{\alpha \cdot l_0}. \quad (12)$$

When  $\alpha = 1$  the mixture is called normal or stoichiometric, when  $\alpha > 1$  the mixture is called depleted, when  $\alpha < 1$  - enriched. Gasoline engines work on both lean and rich and stoichiometric mixtures. Diesel engines work exclusively on lean mixtures. For example, the average values of the coefficient of excess air  $\alpha$  for four-stroke low-pressure diesel engines of power drives of drilling rigs vary between 1.5 and 1.7.

The working processes of gas engines are quite close to the corresponding processes of gasoline engines. But unlike gasoline engines, the peculiarity of the combustion processes of gas engines is that they work on lean mixtures, just like diesel engines. For example, the average values of the coefficient of excess air  $\alpha$  for four-stroke gas engines operating on methane vary between 1.05-1.8, and for a propane-butane mixture - between 1.05-1.7 [12].

Substitute (12) into (10) and analyze such an indicator as the lower specific heat of combustion of the fuel-air mixture  $\frac{H_u}{l_0}$

$$Q_n = \frac{G_{air}}{\alpha} \cdot \frac{H_u}{l_0}. \quad (13)$$

The lower specific heat of combustion of the fuel-air mixture  $\frac{H_u}{l_0}$  will be:

- for diesel fuel – 2,828-2,937  $\frac{MJ}{kg \text{ air}}$ ;

- for a propane-butane mixture – 2,739-2,968  $\frac{MJ}{kg \text{ air}}$ ;

- natural gas – 2,250-2,258  $\frac{MJ}{kg \text{ air}}$ .

As can be seen from the above calculations, the lower specific heat of combustion of the fuel-air mixture  $\frac{H_u}{l_0}$  is approximately the same for diesel fuel and propane-butane mixture. And the lower specific heat of combustion of the methane-air mixture is significantly lower than the lower specific heat of combustion of the mixture  $\frac{H_u}{l_0}$  of air and diesel fuel.

From (13), it is obvious that with the lower specific heat of combustion of the fuel-air mixture being approximately the same for diesel fuel and the propane-butane mixture  $\frac{H_u}{l_0}$ , the amount of added heat  $Q_n$  will depend on the amount of air  $G_{air}$  that entered the engine per unit of time and the coefficient of excess air  $\alpha$ .

The amount of air  $G_{air}$  entering the engine depends on several components. First, it is determined by the working volume of the engine  $V_{work}$ , that is, the volume released by the piston when it moves from top dead center to bottom dead center. Secondly, the amount of air entering the engine  $G_{air}$  depends on the density of the fuel-air mixture  $\rho_{mix}$ . Thirdly, the amount of air  $G_{air}$  is determined by the fill factor. Then the amount of air entering the engine  $\eta_{han}$  can be determined from the expression

Then the amount of air  $G_{air}$  entering the engine can be determined from the expression

$$G_{air} = V_{work} \cdot \rho_{mix} \cdot \eta_{han} \quad (14)$$

Taking into account (1) and (10-14), the useful work  $A_k$  obtained on the crankshaft of the engine can be written as

$$A_k = \frac{\eta_i}{\alpha} \cdot \frac{H_u}{l_0} \cdot V_{work} \cdot \rho_{mix} \cdot \eta_{han} \quad (15)$$

To evaluate the energy efficiency of internal combustion engines, the useful work  $A_k$  is attributed to the unit of the working volume of the engine  $V_{work}$ . The resulting indicator is called the average indicator pressure  $P_i$

$$P_i = \frac{\eta_i}{\alpha} \cdot \frac{H_u}{l_0} \cdot \rho_{mix} \cdot \eta_{han} \quad (16)$$

Substituting (2-9) into (16) after a number of transformations for a cycle with mixed heat supply of diesel engines, we obtain

$$P_i = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \left[ \frac{\lambda}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) + \lambda(\rho - 1) \right] \quad (17)$$

The most important indicators that affect the average indicator pressure  $P_i$  in internal combustion engines there is pressure at the end of the compression process  $P_c$  and engine compression measure  $\varepsilon$ . A

particular feature of diesel engines of power drives of drilling rigs is their relatively low values of the engine compression measure  $\varepsilon$  and pressure dependent on it at the end of the compression process  $P_c$ .

The values of compression ratios of the most common diesel engines of power drives of drilling rigs are given in Table 2.

Table 2 - The value of compression ratios of the most common diesel engines of mobile technological installations in the oil and gas industry

Engine model	Power, kW	Working volume, l	Engine compression measure,
B2-500TK-C4 TMX	330	38,88	14,0
71H12A PZL-Wola	404	26,64	14,5
Caterpillar 3508	507	34,53	13,0
6ЧН 21/21 - CA 30	482	43,60	14,0
6ЧН 21/21 - CA 10	460	43,06	13,5
Cummins KTTA19-C525	392	19,00	13,9
ЯМЗ-8504.10-02	368	25,86	14,0

The compression ratios of modern gas engines, which for gas fuels are calculated for the average octane value of 115, are in the range of 12-13. Therefore, the deformation that will need to be carried out during the conversion to gas fuel of the most common diesel engines of power drives of oil and gas technological transport will be relatively small. On average, the compression ratio of diesel engines of power drives of oil and gas technological transport will need to be reduced by one or two units, and in some models of low-pressure diesel engines, there will be no need to reduce the compression ratio at all. This is the fundamental difference between the conversion of diesel engines of power drives of oil and gas technological transport from, for example, high-pressure automobile diesel engines, where the compression measure ranges from 16.5 to 22.

Calculations show that the average indicator pressures  $P_i$  for four-stroke low-pressure diesel engines of power drives of drilling rigs will vary within 0.72-1.11 MPa, and the average indicator pressures  $P_i$  for diesel engines converted to gas fuel, power drives of drilling rigs will be in the range of 0.68-1.05 MPa. Moreover, it should be noted that the average indicator pressures  $P_i$  for diesel engines converted to gas fuel will be significantly higher than the average indicator pressures  $P_i$  for gasoline engines converted to gas fuel, in which, usually, the degree of compression is not increased during the conversion, being limited only to the installation of gas cylinder equipment. Especially large reductions in indicator pressures and, accordingly, power are observed for gasoline engines of trucks, where the compression ratio, on average, is in the range of 6.5-7.0.

Substituting (15-17) into (1) after a series of transformations, we obtain

$$\eta_i = \frac{P_i l_0 \alpha}{H_u \rho_{mix} \eta_{нан}}. \quad (18)$$

Let's analyze the component dependencies (18).

Such quantities as the density of the fuel-air mixture  $\rho_{mix}$  and fill factor  $\eta_{нан}$  during converting diesel engines, the power drives of oil and gas technological transport practically do not change, since the intake system of the engines will remain almost unchanged, and therefore the resistance of the intake system will practically not change.

Theoretically the required amount of air  $l_0$  for the combustion of one kg of diesel fuel varies within 14.8-14.9 (we take it as 100 %), one kg of compressed natural gas - 15.5-16.0, that is, on average 6% more, and one kg of liquefied natural gas propane-butane mixture - 15.5-15.7, i.e. 5.5% more on average.

The lower heat of combustion  $H_u$  of fuel of one kg of diesel varies within 41-42 MJ (we take it as 100%), one kg of compressed natural gas - 35-36 MJ, that is, on average, 14.5% less, and one kg of liquefied propane-butane mixture - 43-46 MJ, that is, on average, 7% more.



Average indicator pressures  $P_i$  for four-stroke low-pressure diesel engines of power drives of oil and gas technological transport will vary within 0.72-1.11 MPa (taken as 100%), and the average indicator pressures  $P_i$  for diesel engines converted to gas fuel, power drives of oil and gas technological transport will be in the range of 0.68-1.05 MPa, i.e., on average, 5% less.

Average values of the coefficient of excess air  $\alpha$  for four-stroke low-pressure diesel engines of power drives of drilling rigs vary in the range of 1.5-1.7, the average values of the coefficient of excess air  $\alpha$  for four-stroke gas engines running on methane, they vary within 1.0-1.8, propane-butane mixture - within 1.0-1.7.

The calculations show that the thermodynamic efficiency coefficient of four-stroke diesel engines of power drives of oil and gas technological transport is, on average, within the range of 0.38-0.42 at the average values of the excess air coefficient  $\alpha$ . When converting diesel engines of power drives of oil and gas technological transport to a propane-butane mixture, their thermodynamic efficiency will be, on average, 0.35-0.41, and when converting diesel engines of power drives of oil and gas technological transport to natural gas, their thermodynamic efficiency will be equal to, on average, 0.27-0.32 at the average value for gas engines of the coefficient of excess air  $\alpha = 1,4$ .

### DISCUSSION OF RESEARCH RESULTS

The following conclusions can be drawn from the above calculations:

- when converting diesel engines of power drives of oil and gas technological transport to gas motor fuel, it is possible to ensure that the indicators of power, torque, and fuel consumption are practically similar to the corresponding indicators of basic diesel engines before conversion;

- conversion to gas fuel of low-pressure diesel engines of power drives of oil and gas technological transport is a much more energy-efficient and technically less complicated process compared to conversion of high-pressure car engines;

- when converting diesel engines of power drives of oil and gas technological transport to gas motor fuel, when converting diesel engines to a propane-butane mixture, it will be possible to provide better indicators of power, torque and fuel consumption, compared to converting diesel engines of power drives of oil and gas technological transport to natural gas;

- values  $\frac{P_i \cdot l_0}{H_u}$  for diesel and gas engines (especially when converting to propane-butane) are very

close to each other and the main factor that will affect the power, torque and fuel consumption of the engine is the excess air ratio. In other words, extremely much during the conversion will depend on the configuration of the gas engine power system. Thus, if the fuel equipment and ignition system of a gas



Figure 1 - Gas cylinder system of the MAN TGA 440PG car

engine are not properly adjusted, its fuel economy and power characteristics will be significantly worse than the similar indicators of basic diesel engines before conversion. And vice versa, with the optimal configuration of the power system, it will be possible to even achieve better fuel economy and power characteristics compared to the corresponding indicators of the basic diesel engines of power drives of drilling rigs before conversion.

The given theoretical calculations and calculations are in good agreement with the practical gains that have already been made in road transport during the conversion of diesel engines to gas engine fuel. For example, as already mentioned, the MAN D2066LF diesel engine (Fig. 1) was converted into a gas engine with spark ignition and quantitative

regulation of the gas-air mixture supply to the intake system at the MAN automobile corporation.

In particular, such engines are installed by the automaker on the MAN TGA 440PG chassis and dump truck. Stand and running tests of the created engine were performed at the MAN corporation. It has been established that the convertible gas engine has practically the same fuel economy and power characteristics as the basic diesel engine. For example, methane consumption for a MAN TGA 440PG dump truck, on average, ranges from 32 m<sup>3</sup> (empty vehicle) to 45 m<sup>3</sup> (maximum load).



Figure 2 – KrAZ-5401K2 car with gas cylinder equipment

Diesel fuel consumption under the same conditions for a similar dump truck MAN TGA 440 with a diesel engine ranged from 30 to 42 liters of diesel fuel. The capacities of both engine modifications (diesel and gas) were the same and amounted to 210 kW.

There is experience in the use of converted car diesel engines into gas engines in Ukraine as well. For example, at KrAZ, the KrAZ-5401K2 model (Fig. 2) is produced with a 6-cylinder Mercedes-Benz M906LAG engine running on methane, with a capacity of 205 kW (279 hp). The car's fuel system consists of cylinders for compressed gas in the amount 9 pieces. The total volume of cylinders is 1155 liters of compressed natural gas at a pressure of 20 MPa. The power of the basic diesel engine is 207 kW.

For this car, the car manufacturer also carried out road tests of the car and found that the methane consumption for the KrAZ-5401K2 4x2 car, on average, is 35 m<sup>3</sup> of gas. Diesel fuel consumption under the same conditions for a similar car KrAZ-N12.2 4x2 on diesel fuel was, on average, 32 liters.

### CONCLUSIONS

The given examples show that automakers have already managed to develop models of diesel engines that can be converted to gas fuel. Moreover, it was possible to keep the capacity of the convertible engines at the same level as that of the basic diesel engines. And gas consumption for convertible car engines increased by 7-10% despite the fact that the cost of one cubic meter of methane is, on average, 30-40% less than the cost of one liter of diesel fuel.

Therefore, conversion of existing low-compression diesel engines of power drives of oil and gas technological transport, which are currently operated in the oil and gas industry, is a technically possible and economically profitable task.

### REFERENCES

1. Hüseyin Gürbüz, Tarkan Sandalcı. Numerical analysis of diesel injection strategies on emissions and performance in CH<sub>4</sub>/diesel powered RCCI diesel engine with high ratio EGR. Alexandria Engineering Journal. Vol. 64. pp. 517 – 526
2. Kutenev V.F., Luksho V.A. Development of a gas engine based on the MMZ-245 diesel engine. Central Research Automotive and Automotive Institute. 2022. 56 p.
3. Dubov Georgiy, Bogomolov Alexander, Azikhanov Sergey, Strelnikov Pavel, Nokhrin Sergey. Temperature parameters in the combustion chambers of CUMMINS KTA-50 engines operating on various fuels under different fuel consumption rates. VI International Innovative Mining Symposium, 2021. Volume 315, 03011.
4. Family of gas engines KamAZ 820.60 [Electronic resource]. - Electron. text. dan – Source access mode: <http://www.kamaz.ru/production/related/semeystvo-gazovykh-dvigatelye-kamaz-820-60/>
5. Gas transport engines KAMAZ-820.52–260, Kamaz-820.53–260 [Electronic resource]. - Electron. text. dan – Source access mode: <http://www.remkam.ru/trangazdv82/>
6. Shuonan Xu, Zoran Filipi. Quasi-Dimensional Multi-Zone Modeling of Methane-Diesel Dual-Fuel Combustion. Frontiers in Mechanical Engineering, Vol. 6. 2297-3079.
7. Bhantsev V.N., Levterov A.M., Kaidalov A.A., Kanilo P.M., Marakhovsky V.P. D-21 diesel-based gas engine. Aerospace engineering and technology. Coll. of science pr. 2012. Iss. 30. pp. 24-27.
8. Bogomolov V.A., Abramchuk F.I., Manoilo V.M., Voronkov A.I., Saldaev S.V., Kabanov A.N. Design features of an experimental installation for carrying out research on a gas engine 6Ch13/14 with spark ignition. Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Road University. Kharkiv: HNADU. 2007. No. 37. P. 43-47.
9. Zakharchuk V.I., Sitovskiy O.P., Kozachuk I.S. Computational and experimental studies of a gas engine converted from a diesel engine. Avtomobilny transport. Sat. scientific tr. 2005. Iss. 16. pp. 276-278.
10. Hryhoryev E.G., Koldubaev B.D., Erokhov V.I. Gas-balloon cars. Mashinostroenie. 1989. 216 p.



11. Motovylin G.V., Masyno M.A., Suvorov O.M. Automotive materials: Reference book. Transport. 1989. 464 pp.
12. Kovtun G. Alternative motor fuels. Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine. 2005. No. 2. pp. 19-27.

#### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Hüseyin Gürbüz, Tarkan Sandalcı. Numerical analysis of diesel injection strategies on emissions and performance in CH<sub>4</sub>/diesel powered RCCI diesel engine with high ratio EGR. Alexandria Engineering Journal. Vol. 64. pp. 517 – 526
2. Кутенёв В.Ф. Разработка газового двигателя на базе дизеля ММЗ-245 / В.Ф. Кутенёв, В.А. Лукшо // Центральный научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт – 2022. – 56 с.
3. Dubov Georgiy, Bogomolov Alexander, Azikhanov Sergey, Strelnikov Pavel, Nokhrin Sergey. Temperature parameters in the combustion chambers of CUMMINS KTA-50 engines operating on various fuels under different fuel consumption rates. VI International Innovative Mining Symposium, 2021. Volume 315, 03011.
4. Семейство газовых двигателей КамАЗ 820.60 [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа к источнику: <http://www.kamaz.ru/production/related/semeystvo-gazovykh-dvigatelye-kamaz-820-60/>
5. Двигатели транспортные газовые КАМАЗ-820.52–260, Камаз-820.53–260 [Электронный ресурс]. – Электрон. текст. дан. – Режим доступа к источнику: <http://www.remkam.ru/trangazdv82/>
6. Shuonan Xu, Zoran Filipi. Quasi-Dimensional Multi-Zone Modeling of Methane-Diesel Dual-Fuel Combustion. Frontiers in Mechanical Engineering. Vol. 6. 2297-3079.
7. Бганцев В.Н. Газовый двигун на базі дизеля Д-21. / Бганцев В.Н., Левтеров А.М., Кайдалов А.А., Канило П.М., Мараховский В.П. // Авіаційно-космічна техніка і технологія. Зб. наук. пр. – Харків: ХАІ. – 2012. – Вип. 30. – С. 24-27.
8. Богомолов В.А. Особенности конструкции экспериментальной установки для проведения исследований газового двигателя 6Ч13/14 с искровым зажиганием / В.А. Богомолов, Ф.И. Абрамчук, В.М. Манойло, А.И. Воронков, С.В. Салдаев, А.Н. Кабанов // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Харьков: ХНАДУ. – 2007. – № 37. – С. 43-47.
9. Захарчук В. І. Розрахунково-експериментальні дослідження газового двигуна, переобладнаного з дизеля. / Захарчук В. І., Сітовський О. П., Козачук І. С. // Автомобильный транспорт. Сб. научн. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2005. – Вип. 16. – С. 276-278.
10. Григорьев Е.Г. Газобаллонные автомобили / Григорьев Е.Г., Колдубаев Б.Д., Ерохов В.И. // М.: Машиностроение. – 1989. – 216 с.
11. Мотовилин Г.В. Автомобильные материалы: Справочник. – 3-е изд., перераб. и доп. / Г.В. Мотовилин, М.А. Масино, О.М. Суворов. – М.: Транспорт. – 1989. – 464 с.
12. Ковтун Г. Альтернативні моторні палива / Г. Ковтун // Вісник НАН України. – 2005. – № 2. – С. 19-27.

#### ***Sviatoslav Kryshchtopa, Oleg Mysiv, Lubomyr Ivanyuk, Yaroslav Demyanchuk, Fedir Kozak, Ivan Solyarchuk. The reduction of operating costs of oil and gas technological transportation converted into gas fuels.***

Досліджено досвід розробок закордонних і вітчизняних фахівців в напрямку конвертації дизельних двигунів у моногазові з іскровим запалюванням. Проаналізовані недоліки та переваги використання в якості моторного газового палива для дизельних двигунів. Сформульовані шляхи переобладнання дизельних агрегатів нафтогазової галузі на зріджені та стиснуті газові палива за різними схемами. Виконано моделювання енергоефективності дизельних агрегатів нафтогазової галузі при конвертації дизельних приводів на використання альтернативних палив. З'ясовано, що при конвертації дизельних двигунів силових приводів нафтогазової галузі на газомоторне паливо можна забезпечити показники крутного моменту, витрати палива, потужності практично тотожні аналогічним показникам дизельних двигунів до їхньої конвертації на газіві. Встановлено, що при переобладнанні дизельних агрегатів нафтогазової галузі на газомоторне паливо при конвертації дизельних двигунів на пропан-бутанову суміш, у порівнянні з природним газом, вдається забезпечити кращі паливні, потужнісні та екологічні характеристики. Доведено, що результати моделювання

добре узгоджуються з практичними результатами, які вже одержані на автомобільному та технологічному транспорті.

**Ключові слова:** дизельний двигун, альтернативні палива, технологічний транспорт, енергоефективність, переобладнання на газ.

*КРИШТОПА Святослав Ігорович*, доктор технічних наук, професор, зав. кафедрою автомобільного транспорту, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, E-mail: [auto.ifntung@ukr.net](mailto:auto.ifntung@ukr.net), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7899-8817>

*МИСІВ Олег Олегович*, аспірант, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, [trans@nung.edu.ua](mailto:trans@nung.edu.ua), ORCID - немає

*ІВАНЮК Любомир Васильович*, аспірант, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, [trans@nung.edu.ua](mailto:trans@nung.edu.ua), ORCID - немає

*ДЕМ'ЯНЧУК Ярослав Михайлович*, к.т.н., доц. кафедри автомобільного транспорту, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, [trans@nung.edu.ua](mailto:trans@nung.edu.ua), ORCID 0000-0003-2005-2986

*КОЗАК Федір Васильович*, к.т.н., проф. кафедри автомобільного транспорту, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, [kozakfv@nung.edu.ua](mailto:kozakfv@nung.edu.ua), ORCID 0000-0002-9147-883X

*СОЛЯРЧУК Іван Михайлович*, аспірант, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, [trans@nung.edu.ua](mailto:trans@nung.edu.ua), ORCID - немає

*Sviatoslav KRYSHCHOPA*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Automobile Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas E-mail: [auto.ifntung@ukr.net](mailto:auto.ifntung@ukr.net), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7899-8817>

*Oleg MYSIV*, Postgraduate student, Department of Automobile Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, [trans@nung.edu.ua](mailto:trans@nung.edu.ua), ORCID - no

*Lubomyr IVANYUK*, Postgraduate student, Department of Automobile Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, [trans@nung.edu.ua](mailto:trans@nung.edu.ua), ORCID - no

*Yaroslav DEMYANCHUK*, Ph.D., Assoc. Prof., Department of Automobile Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, [trans@nung.edu.ua](mailto:trans@nung.edu.ua), ORCID 0000-0003-2005-2986

*Fedir KOZAK*, Ph.D., Professor, Department of Automobile Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, [kozakfv@nung.edu.ua](mailto:kozakfv@nung.edu.ua), ORCID 0000-0002-9147-883X

*Ivan SOLYARCHUK*, Postgraduate student, Department of Automobile Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, [trans@nung.edu.ua](mailto:trans@nung.edu.ua), ORCID - no

DOI 10.36910/automash.v1i22.1341

V. Kulynych, R. Arhat, S. Shlyk, A. Symonova, V. Drahobetskyi  
*Kremenchuk Mykhaylo Ostrohradskiy National University, Kremenchuk, Ukraine*

## ANALYSIS OF MODERN METHODS FOR OPTIMIZING TECHNOLOGICAL PROCESSES IN MACHINE-BUILDING PRODUCTION USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

This article explores the integration of artificial intelligence (AI) into machine-building production processes, focusing on the optimization of gear production for KrAZ trucks. Through a detailed analysis of AI applications in various industries and a review of relevant literature, the study identifies key opportunities and challenges in implementing AI technologies in mechanical engineering. The research presents a comprehensive examination of the benefits of AI-driven systems in improving production efficiency, quality control, and predictive maintenance. A case study on automated gear grinding quality control demonstrates how AI, coupled with advanced sensors and machine learning algorithms, enhances process precision and reduces defects. Results demonstrate the effectiveness of AI-driven systems in improving precision, reliability, and cost-effectiveness in gear manufacturing, with an observed accuracy rate of approximately 95% or higher. Also highlights a precision rate of  $\pm 0.005$  mm in gear tooth surface finishing, leading to consistent gear performance and reliability. Additionally, AI-driven predictive maintenance strategies are shown to predict equipment maintenance needs with up to 90% accuracy, maximizing productivity and reducing maintenance costs by up to 30%. Moving forward, further research and implementation efforts should focus on selecting and integrating appropriate AI systems into existing production processes, to maximize efficiency and innovation within the machine-building industry.

**Keywords:** artificial intelligence, gear grinding, quality control, data analysis, automation

### INTRODUCTION

In today's world, artificial intelligence (AI) has moved beyond being just an element of science fiction and has become a reality that actively influences various aspects of our lives. AI is demonstrating exponential growth and innovations that penetrate all sectors from healthcare to the automotive industry, from financial services to retail. This technology opens new opportunities for increasing efficiency, reducing costs, and improving the quality of products and services.

The application of AI in medicine, for example, has revolutionized the diagnosis and treatment of diseases, allowing for the creation of personalized treatment methods based on the analysis of large patient data sets. In the automotive industry, AI contributes to the development of autonomous vehicles, changing perceptions of driving and road safety. In the financial sector, machine learning algorithms are used for market analysis, risk management, and providing personalized financial recommendations to clients.

Despite numerous advantages, the widespread implementation of AI also poses certain challenges, including ethical usage, data security, and the potential loss of jobs in some sectors. However, the growing interest and investment in this technology indicate its significance and potential for further development and integration into an even greater number of industries.

This article focuses on the use of AI in the technological processes of mechanical engineering, revealing how artificial intelligence can transform production lines, improving accuracy, efficiency, and innovation in this industry.

### LITERATURE DATA AND FORMULATION OF THE PROBLEM

In the mechanical and aerospace industries, several leading companies are already actively using artificial intelligence to optimize their production processes. General Electric (GE) uses artificial intelligence for monitoring and analyzing large data from their engines and other equipment. This allows them to increase efficiency and reduce unexpected failures. Siemens has developed a system based on artificial intelligence that assists in production and quality monitoring [1-3]. They also use AI to automate and optimize their processes in the production of energy turbines. Airbus has integrated artificial intelligence in the aerospace industry to optimize design and manufacturing processes [2-4]. This includes the use of AI to improve aircraft assembly processes and develop more efficient flight paths. Boeing is also actively using artificial intelligence, particularly for predicting maintenance needs for aircraft and for increasing production efficiency [5-6]. Rolls-Royce uses AI to analyze data received from engines during flights, helping the company optimize maintenance and improve reliability and performance indicators [7-8].

These companies play a key role in the implementation of artificial intelligence in mechanical engineering and the aerospace industry, demonstrating the impact of AI on increasing efficiency, reducing costs, and enhancing production safety.

The use of artificial intelligence directly in mechanical engineering can open up new opportunities for process optimization, improving product quality, and reducing costs. Here are the main directions for AI applications:

1. Data analysis and optimization: analyzing large volumes of data from production lines to identify inefficiencies and optimize processes. This can include predicting defects, scheduling production, and managing resources.
2. Automation and robotics: the integration of AI-controlled robots can significantly enhance productivity and accuracy in manufacturing processes. Robots can perform repetitive, precise, or hazardous tasks, reducing risks for humans.
3. Adaptive manufacturing: systems can quickly adapt to new manufacturing conditions or changes in product specifications without significant downtime.
4. Quality and control: automating quality control processes using visual recognition to detect flaws at early stages of production.
5. Predictive maintenance of equipment: monitoring equipment condition and predicting wear and tear, allowing for maintenance planning before serious problems occur.
6. Integration with the Internet of Things (IoT): analyzing data from IoT sensors for better management of manufacturing processes, and optimizing energy and material usage.

Various software platforms, sensors, and sensors are used to implement artificial intelligence in automated production processes. The simplest to use in modern manufacturing may include the following software complexes:

- PLM (Product Lifecycle Management) and CAD (Computer-Aided Design) platforms, such as Siemens NX, SolidWorks, and Autodesk Inventor. These systems allow the development of complex 3D models of parts, such as gears, and integrate this data with AI for optimization of design and production.
- ERP (Enterprise Resource Planning) systems, namely SAP, and Oracle. They can integrate production data, inventory management, and logistics, allowing AI to analyze and optimize these processes.
- MATLAB and Simulink systems for modeling and optimization are used to create accurate mathematical models of manufacturing processes and optimize them using AI algorithms.
- Specialized software for monitoring and maintenance, such as Predix (from GE), and IBM Maximo which are designed to analyze data from equipment, predict failures, and plan maintenance.

At the same time, the use of sensors should also be considered, the types and areas of use of which are listed in Table 1.

Table 1 – Sensors types and usage areas

Sensor types	Use areas
Temperature sensors	Measure temperature in critical areas of the machine to control thermal conditions and prevent overheating
Vibration sensors	Used to detect unusual vibrations that may indicate equipment problems
Position and motion sensors	Provide precise information about the exact position of machine components, which is important for precise part machining
Optical sensors and cameras	Used for visual quality control, detecting surface defects in real-time
Pressure and force sensors	Monitor pressure and force during cutting to optimize the machining process and ensure uniform quality

The use of these technologies allows a significant increase in the accuracy and efficiency of production processes while reducing costs and increasing the quality of final products.

#### PURPOSE AND OBJECTIVES OF THE STUDY

The Cabinet of Ministers of Ukraine recently approved the Concept of the State's targeted scientific and technical program for the use of artificial intelligence technologies in priority sectors of the economy for the period until 2026 [9]. The machine-building industry is included in the list of priorities, so studying the possibilities of introducing AI technologies into the technological processes of machine-building is an urgent task. Within the framework of solving the specified problem, the purpose of the article is to identify the prospects of using AI systems in the manufacture of gears for KrAZ trucks, which have both civilian and military purposes.

#### RESEARCH RESULT

The gear cylindrical differential of the rear axle of the KrAZ car, which is presented in Figure 1, was chosen as the subject of the study. The part in the assembly unit operates at high rotational speeds, transmits a significant torque, and also operates in a dynamic load cycle. The most precise surfaces of the part are the

surfaces of the teeth and the central hole. Since the part is typical for various modifications of cars, it is possible to consider the principle of building an algorithm of an automated line using AI for quality control.

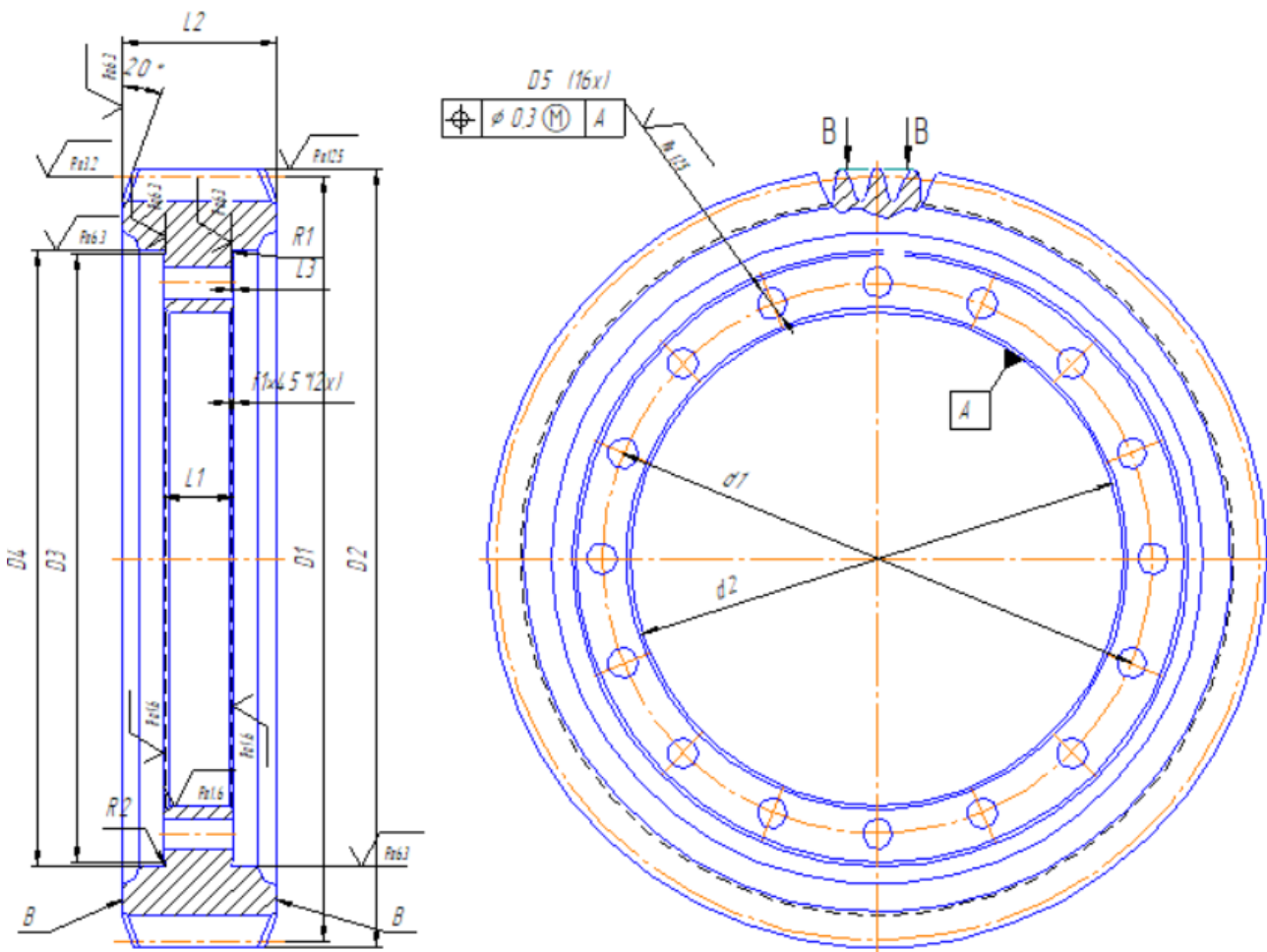


Figure 1 – Drawing of a cylindrical gear

The quality of the gear tooth surface is a critical factor in the performance and reliability of gear systems. One of the key challenges in gear grinding is the occurrence of grinding burns, which can significantly impact the surface integrity and functionality of the gear teeth.

Grinding burns can lead to various forms of thermal damage to the gear tooth surface, including oxidation burn, rehardening burn, thermal softening, and cracking [10]. These types of thermal damage can compromise the gear's performance, reducing its load-carrying capacity, surface fatigue resistance, and overall service life.

Given the critical importance of the gear tooth surface quality, the monitoring and control of the grinding process to mitigate grinding burns is a crucial aspect of gear wheel production. For experimental purposes, we consider a detailed example of a gear grinding operation on an automated production line, where various sensors and software are used to collect data, transfer, and analyze information, and further process it using AI.

The process stages are shown in Fig. 2 as a flowchart.



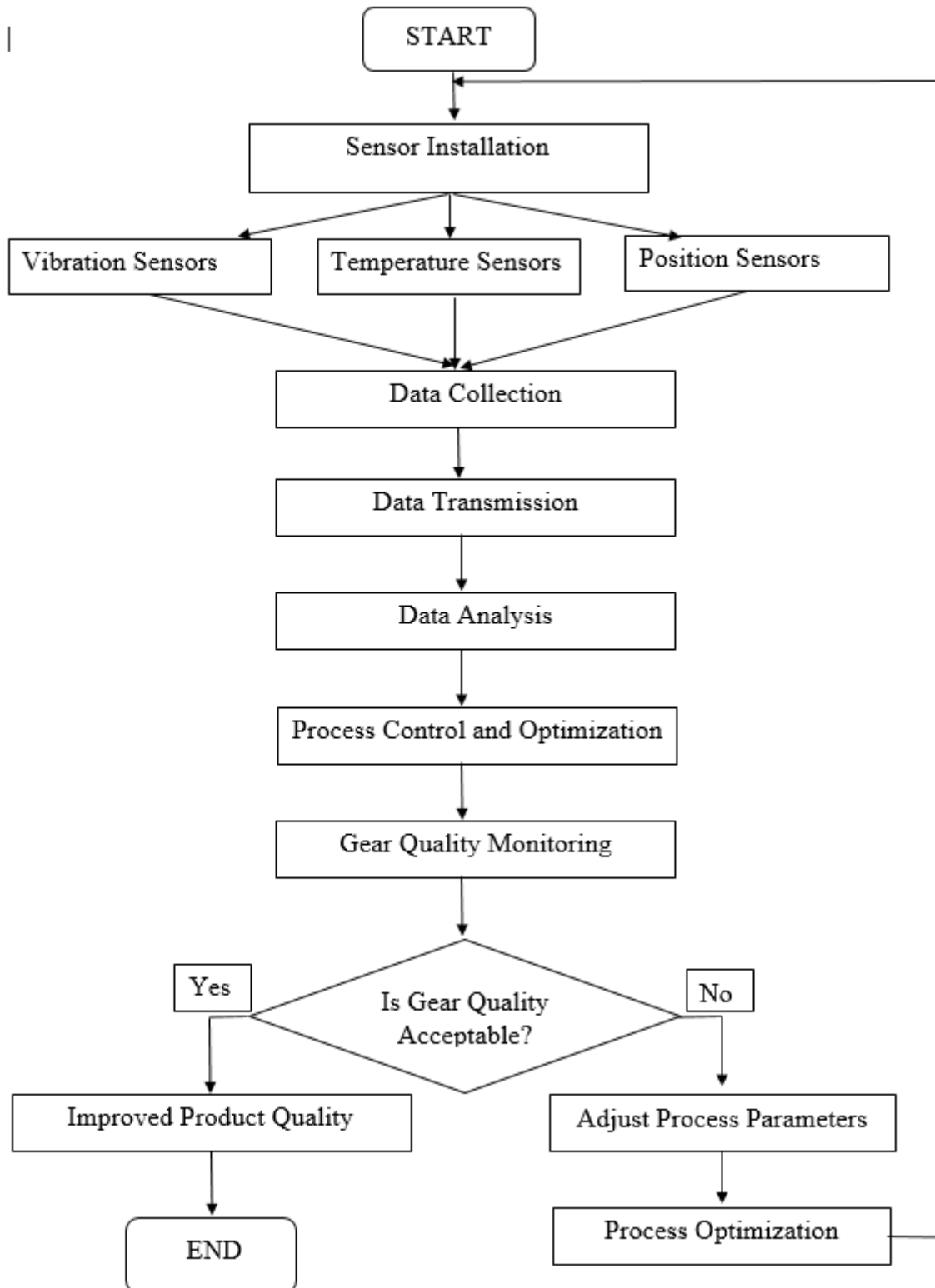


Figure 2 – The flowchart of the grinding process monitoring and control

The process of automated quality control of tooth grinding using sensors and machine learning has the following stages:

1. Installation of sensors and data collection. In an automated gear grinding production line, various sensors are employed to closely monitor the grinding process and detect any potential issues:

1.1 Acoustic Emission (AE) Sensors [11]:

- One AE sensor (AE-S) is mounted at the tool spindle center and rotates with the grinding wheel to capture signals from the grinding zone.

- Another AE sensor (AE-T) is placed on the tailstock to capture waves originating from the workpiece.
  - The AE signals are preprocessed with amplification, filtering, and digitization to extract relevant features.
- 1.2 Spindle Current Sensors:
- Current clamps are installed on the electrical wires to measure the 3-phase spindle current components ( $I_v$ ,  $I_w$ ).
  - The RMS transformation is applied to convert the current components into an equivalent direct current ( $I_{rms}$ ).
- 1.3 Spindle Power Measurement:
- A true power meter is used to measure the electrical tool spindle power ( $P_{el}$ ) with a high sampling rate
2. Data Acquisition and Analysis. The sensor data is collected and organized using a data acquisition system
- 2.1 Data Preprocessing:
- The AE signals are preprocessed with amplification, filtering, and digitization to extract relevant features.
  - The spindle current and power data are also preprocessed and synchronized with the AE signals.
- 2.2 Controlled Grinding Burn Generation [12]:
- A touch dressing procedure is applied to the grinding wheel to generate controlled grinding burn on the workpiece.
  - This allows the system to collect data under both normal and faulty grinding conditions.
- 2.3 Machine Learning for Burn Detection:
- The preprocessed sensor data is used to train a machine learning model to detect the presence of grinding burn [13].
  - The model can learn the characteristic patterns in the AE, current, and power signals that indicate the onset of grinding burn.
3. Automated Grinding Quality Inspection. The trained machine learning model is then integrated into the automated grinding process to provide real-time monitoring and quality control:
- 3.1 In-Process Burn Detection:
- The AE, current, and power signals are continuously monitored during the grinding operation.
  - The machine learning model analyzes the sensor data and identifies any instances of grinding burn [14].
- 3.2 Process Adjustment and Part Sorting:
- If a grinding burn is detected, the system can automatically adjust the grinding parameters to mitigate the issue.
  - Alternatively, the affected parts can be identified and sorted out for further inspection or rework, preventing the production of defective gears.
- 3.3 Continuous Process Improvement:
- The system can continuously collect data and update the machine learning model to improve the accuracy and reliability of the burn detection.
  - This allows the production line to adapt to changes in the grinding process, wheel condition, or workpiece material over time.

By integrating advanced sensors, data acquisition, and machine learning techniques, this automated gear grinding quality control system can significantly improve the consistency and reliability of the manufacturing process, reducing waste and ensuring the production of high-quality gears.

#### **DISCUSSION OF THE RESULTS OF THE STUDY**

A study comparing an AI-based tooth grinding quality control system to existing methods showed that the AI-based system provides an accuracy rate of approximately 95% or higher. As for human visual inspection, accuracy varies and can range from 60% to 80%, with a false alarm rate in the range of 5% to 15%, depending on the inspector's experience and level of fatigue. Statistical Process Control (SPC) does not provide direct detection of defects. However, studies show that SPC can reduce defects by 20-40% due to early detection of change processes. The obtained results are correlated with the results obtained in the work [15].

The AI-driven automated gear grinding quality control system ensures a precision rate of  $\pm 0.005$  mm in gear tooth surface finishing, leading to consistent gear performance and reliability. This level of precision significantly reduces the likelihood of premature gear failures and enhances the overall durability of KrAZ trucks.

Through the integration of advanced sensors such as acoustic emission (AE), vibration, and optical sensors. This real-time defect detection capability enables immediate adjustments to the grinding process, minimizing the production of defective gears and preventing costly rework or recalls.

By analyzing historical sensor data and equipment performance metrics, AI algorithms predict equipment maintenance needs with up to 90% accuracy. This predictive maintenance approach ensures optimal machine uptime and prevents unexpected downtime due to equipment failures, thereby maximizing productivity in gear manufacturing operations for KrAZ trucks.

AI-driven analysis of production data identifies inefficiencies in the gear manufacturing process, leading to optimized production schedules and resource utilization. For example, AI algorithms optimize toolpath trajectories in gear machining operations, reducing cycle times by up to 15% while maintaining quality standards.

The implementation of AI-driven predictive maintenance strategies reduces maintenance costs by up to 30% through the prevention of catastrophic equipment failures and the optimization of spare parts inventory management. Additionally, the reduction in defective gear production minimizes material waste and rework expenses, further contributing to overall cost savings in KrAZ truck manufacturing.

AI-enabled data analytics continuously monitor and analyze production processes, identifying opportunities for further optimization and innovation. Through machine learning algorithms, the system adapts to changing production conditions, driving continuous improvement initiatives and fostering a culture of innovation within the machine-building industry.

The next step of the research is the analysis and selection of appropriate systems necessary for the creation of an AI-based control system with the possibility of integrating it into the existing technological process with the maximum possible use of existing or modified equipment and facilities.

#### SUMMARY

This scientific article investigates the utilization of artificial intelligence (AI) in optimizing technological processes within machine-building production, with a specific focus on gear manufacturing for KrAZ trucks. Drawing upon insights from diverse industries and existing literature, the study elucidates the potential of AI in revolutionizing mechanical engineering. Through an in-depth examination of AI-driven solutions, the research highlights their pivotal role in enhancing production efficiency, ensuring quality control, and enabling predictive maintenance. A detailed case study exemplifies the practical application of AI in automating gear grinding quality control, showcasing its ability to improve precision, mitigate defects, and drive innovation. The study concludes by emphasizing the profound benefits of AI integration for machine-building, including heightened productivity, cost savings, and competitive edge.

#### REFERENCES

1. Hassani, H.; Silva, E.S.; Unger, S.; TajMazinani, M.; Mac Feely, S. (2020). Artificial Intelligence (AI) or Intelligence Augmentation (IA): What Is the Future? *AI, 1*, pp. 143–155. <https://doi.org/10.3390/ai1020008>
2. Jordan, M.I., Mitchell, T.M. (2015). Machine learning: trends, perspectives, and prospects. *Science*, Vol. 349 (6245), pp. 255–260. <https://doi.org/10.1126/science.aaa8415>
3. Chang, C.-W., Lee, H.-W., Liu, C.-H. (2018). A Review of Artificial Intelligence Algorithms Used for Smart Machine Tools. *Inventions*, 3, 41. <https://doi.org/10.3390/inventions3030041>
4. Wuest, T., Weimer, D., Irgens, C., & Thoben, K.D. (2016). Machine learning in manufacturing: advantages, challenges, and applications. *Production & Manufacturing Research*, 4(1), pp. 23–45. <https://doi.org/10.1080/21693277.2016.1192517>
5. Chuo, Y.S., Lee, J.W., Mun, C.H., et al. (2022). Artificial intelligence-enabled smart machining and machine tools. *J Mech Sci Technol*, 36, pp. 1–23.
6. López, A.X.S., Pérez, I.G.H., Mora, J.C.H., & Velandia, J. (2023). IT Trends: A Literature Review, *2023 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONITI)*, Bogotá, Colombia, pp. 1–9.
7. Asif, M., Shen, H., Zhou, C., Guo, Y., Yuan, Y., Shao, P., Xie, L., Bhutta, M. S. (2023). Recent Trends, Developments, and Emerging Technologies towards Sustainable Intelligent Machining: A Critical Review, Perspectives and Future Directions. *Sustainability*, 15, 8298. <https://doi.org/10.3390/su15108298>



8. Kumar, A., Chinnam, R.B., Tseng, F. (2019). An HMM and polynomial regression based approach for remaining useful life and health state estimation of cutting tools. *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 128, pp. 1008–1014. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.05.017>
9. Rozporyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukrainy № 320-r Pro skhvalennya Kontseptsiyi Derzhavnoyi tsil'ovoyi naukovo-tekhnichnoyi prohramy vykorystannya tekhnolohiy shtuchnoho intelektu v priorytetnykh haluzyakh ekonomiky na period do 2026 roku vid 13 kvitnya 2024 roku.
10. Cao, P., Zhang, S., & Tang, J. (2018). Preprocessing-Free Gear Fault Diagnosis Using Small Datasets with Deep Convolutional Neural Network-Based Transfer Learning. *IEEE Access*, Vol. 6, pp. 26241–26253. [10.1109/ACCESS.2018.2837621](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2837621)
11. Sauter, E., Sarikaya, E., Winter, M. et al. In-process detection of grinding burn using machine learning. *Int J Adv Manuf Technol* 115, 2281–2297 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06896-9>
12. Nandeesh, K. (2017). Vibration monitoring of a gear grinding process. *All Theses*, 2727.
13. Liu, C.S., Ou, Y.J. (2020). Grinding Wheel Loading Evaluation by Using Acoustic Emission Signals and Digital Image Processing. *Sensors (Basel)*, 20(15), 4092. <https://doi.org/10.3390/s20154092>
14. Li, Q., Yang, Y., Jiang, P. (2023). Remote Monitoring and Maintenance for Equipment and Production Lines on Industrial Internet: A Literature Review. *Machines*, 11(1), 12. <https://doi.org/10.3390/machines11010012>.
15. Lv, L., Deng, Z., Liu, T., Li, Z., Liu, W. (2020). Intelligent technology in grinding process driven by data: A review, *Journal of Manufacturing Processes*, Volume 58, pp. 1039-1051. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.09.018>.

*Viktoriiia KULYNYCH*, PhD in Engineering, Doctoral student at the Department of Manufacturing Engineering, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, e-mail: [vikulsija@gmail.com](mailto:vikulsija@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1702-2989>

*Roman ARHAT*, PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Manufacturing Engineering, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, e-mail: [argat.rg@gmail.com](mailto:argat.rg@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9247-5297>

*Serhii SHLYK*, PhD in Engineering, Associate Professor at the Department of Manufacturing Engineering, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, e-mail: [svshlyk@gmail.com](mailto:svshlyk@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9422-1637>

*Anastasiia SYMONOVA*, PhD in Engineering, Doctoral student at the Department of Manufacturing Engineering, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, e-mail: [nsymonova@gmail.com](mailto:nsymonova@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-1411-6656>

*Volodymyr DRAHOBETSKYI*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Manufacturing Engineering, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, e-mail: [kafedra.tehmash@gmail.com](mailto:kafedra.tehmash@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0001-9637-3079>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1342

УДК 621.317  
UDC 621.317

K. Ragulskis<sup>1</sup>, A. Pauliukas<sup>2</sup>, P. Paškevičius<sup>3</sup>, B. Spruogis<sup>4</sup>, A. Matuliauskas<sup>5</sup>, V. Mištinas<sup>6</sup>,  
L. Ragulskis<sup>7</sup>

<sup>1</sup>*Kaunas University of Technology, K. Donelaičio Str. 73, LT-44249, Kaunas, Lithuania*

<sup>2</sup>*Vytautas Magnus University, Studentų Str. 11, LT-53361, Akademija, Kaunas District, Lithuania*

<sup>3</sup>*Company "Vaivora", Palemono Str. 2a, LT-52191, Kaunas, Lithuania*

<sup>4, 5, 6</sup>*Vilnius Gediminas Technical University, Saulėtekio Ave. 11, LT-10223, Vilnius, Lithuania*

<sup>7</sup>*Vytautas Magnus University, Vileikos Str. 8, LT-44404, Kaunas, Lithuania*

## INVESTIGATION OF DYNAMICS OF THE MANIPULATOR WITH ROTATIONAL EXCITATION

У роботі досліджено динаміку маніпулятора з обертальним збудженням.

Спочатку докладно описано модель із збудженням обмеженої потужності. Основними частинами моделі системи є маса дисбалансу ротора, що обертається, ударна маса вібратора і нерухомі прямі лінійні опори, що забезпечують напрям рухомої маси. Система має три ступеня свободи, та її динаміка описується трьома диференціальними рівняннями другого порядку.

Потім проводиться дослідження динаміки типових параметрів системи. Досліджуються переміщення, швидкості, кут, кутова швидкість, різниця переміщень та різниця швидкостей залежно від часу.

Також описано маніпулятор із збудженням необмеженої потужності. Система має два ступені свободи, та її динаміка описується двома диференціальними рівняннями другого порядку.

Потім проводиться дослідження динаміки маніпулятора із збудженням необмежену потужність при типових параметрах системи. Представлені перехідні, а також рухи, що встановилися, для типових параметрів системи. Досліджуються переміщення, швидкості, різниця переміщень та різниця швидкостей як функції часу.

Подано графічні залежності для різних значень жорсткості. Вони дозволяють зрозуміти вплив величини жорсткості на динамічну поведінку маніпулятора.

Результати застосовані при проектуванні маніпуляторів із обертальним збудженням.

**Ключові слова:** обертовальне порушення, маніпулятори, роботи, графічні співвідлення, нелінійна поведінка.

## INTRODUCTION

Dynamics of the manipulator with rotational excitation is investigated in this paper.

First the model with excitation of limited power is described in detail and dynamics for typical parameters of the system is investigated.

Then the manipulator with excitation of unlimited power is described and investigated. Transient and steady state motions for typical parameters of the system are presented.

Results are applied in the process of design of manipulators with rotational excitation.

Robot performing stepping motion is proposed in [1]. Robot with impact interactions is investigated in [2]. System with two sided impacts is analyzed in [3]. Pipe robot with self-stopping mechanism is investigated in [4]. Soft impacts are analyzed in [5]. Vibrating systems with impacts are investigated in [6]. Vibrations in transmissions are analyzed in [7]. Synchronization of mechanical systems is investigated in [8]. Precise robots are described in [9]. Industrial robots are analyzed in [10]. New mechanisms in contemporary robot engineering are presented in [11]. Mechanics of vibrating systems is investigated in [12].

In this paper displacements, velocities, angle, angular velocity, difference of displacements and difference of velocities as functions of time are investigated. Graphical relationships for different values of stiffness are presented. They enable us to understand the influence of the value of stiffness on the dynamic behavior of the manipulator.

## MODEL OF THE MANIPULATOR WITH ROTATIONAL EXCITATION

Manipulator with rotational excitation is shown in Fig. 1.

The following notation is introduced:

$$AB = r. \quad (1)$$

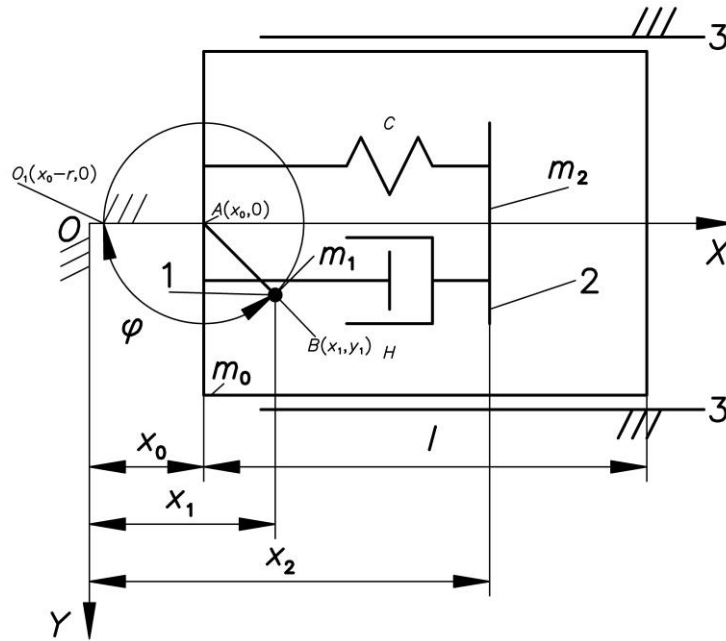


Figure 1. Model of the system:  $XOY$  – the immovable coordinate system; 1 – mass  $m_1$  of the disbalance of the rotor rotating about the point  $A$ ; 2 – impacting mass  $m_2$  of the vibrator; 3 – immovable straight linear supports, which ensure the direction of the moving mass  $m_0$

The coordinates of the main points determining the investigated system are:

$$O(0,0); O_1(x_0-r,0); A(x_0,0); B(x_1,y_1). \quad (2)$$

Location of the exciting mass of the exciter of vibrations is expressed as:

$$x_1 = x_0 + r \cos \varphi, \quad (3)$$

$$y_1 = -r \sin \varphi. \quad (4)$$

Velocities are determined as:

$$\dot{x}_1 = \dot{x}_0 - r\dot{\varphi} \sin \varphi, \quad (5)$$

$$\dot{y}_1 = -r\dot{\varphi} \cos \varphi. \quad (6)$$

Kinetic energy has the following form:

$$T = \frac{m_1}{2} [\dot{x}_0^2 + (r\dot{\varphi})^2 - 2\dot{x}_0 r\dot{\varphi} \sin \varphi] + \frac{m_0}{2} \dot{x}_0^2 + \frac{m_2}{2} \dot{x}_2^2. \quad (7)$$

Derivatives of the kinetic energy have the following forms:

$$\left( T'_{\dot{x}_0} \right)'_t = (m_1 + m_0) \ddot{x}_0 - m_1 r (\ddot{\varphi} \sin \varphi + \dot{\varphi}^2 \cos \varphi), \quad (8)$$

$$T'_\varphi = m_1 r (r\dot{\varphi} - \dot{x}_0 \sin \varphi), \quad (9)$$

$$\left( T'_\varphi \right)'_t - T'_\varphi = m_1 r (r\ddot{\varphi} - \ddot{x}_0 \sin \varphi). \quad (10)$$

Potential energy has the following form:

$$\Pi = \frac{1}{2} C (x_2 - x_0 - l)^2. \quad (11)$$

Potential forces have the following forms:

$$\Pi'_{x_2} = C (x_2 - x_0 - l), \quad (12)$$

$$\Pi'_{x_0} = C (x_0 - x_2 + l). \quad (13)$$

Dissipative function has the following form:

$$D = \frac{1}{2} H (\dot{x}_2 - \dot{x}_0)^2 + \frac{1}{2} H_{03} \dot{x}_0^2. \quad (14)$$

Dissipative forces have the following forms:

$$D'_{x_2} = H (\dot{x}_2 - \dot{x}_0), \quad (15)$$

$$D'_{x_0} = H(\dot{x}_0 - \dot{x}_2) + H_{03}\dot{x}_0. \quad (16)$$

According to the coordinate  $x_0$  the following force is acting:

$$Q_{x_0} = -A - B\dot{x}_0, \quad (17)$$

and according to the coordinate  $\varphi$  the following moment of the force is acting:

$$M_\varphi = C - D\dot{\varphi}, \quad (18)$$

where  $A, B, C$  and  $D$  are constant positive quantities.

When the following condition is satisfied:

$$x_2 - x_0 < l, \quad (19)$$

$$m_2\ddot{x}_2 + C(x_2 - x_0 - l) + H(\dot{x}_2 - \dot{x}_0) = 0, \quad (20)$$

dynamics of the system is described by the following equations:

$$\ddot{x}_2 + p^2(x_2 - x_0 - l) + h(\dot{x}_2 - \dot{x}_0) = 0, \quad (21)$$

$$(1 + \mu)\ddot{x}_0 - r(\ddot{\varphi} \sin \varphi + \dot{\varphi}^2 \cos \varphi) + p^2(x_0 - x_2 + l) + h(\dot{x}_0 - \dot{x}_2) + h_{03}\dot{x}_0 = -a - b\dot{x}_0, \quad (22)$$

$$r\ddot{\varphi} - \ddot{x}_0 \sin \varphi = c - d\dot{\varphi}, \quad (23)$$

where it is denoted:

$$\mu = \frac{m_0}{m_2}, \quad a = \frac{A}{m_2}, \quad b = \frac{B}{m_2}, \quad c = \frac{C}{rm_2}, \quad d = \frac{D}{rm_2}, \quad h = \frac{H}{m_2}, \quad h_{03} = \frac{H_{03}}{m_2}, \quad p^2 = \frac{C}{m_2}. \quad (24)$$

When the following condition is satisfied:

$$x_2 - x_0 = l, \quad (25)$$

impact of the mass  $m_2$  with the mass  $m_0$  takes place in a moment of time, where the change of velocities of those masses takes place according to the theorem of quantity of motion and losses of velocity of impact, that is:

$$\dot{x}_2^+ + \mu\dot{x}_0^+ = \dot{x}_2^- + \mu\dot{x}_0^-, \quad (26)$$

$$R = -\frac{\dot{x}_2^+ - \dot{x}_0^+}{\dot{x}_2^- - \dot{x}_0^-}, \quad (27)$$

where  $R$  is the coefficient of restitution of the impact. From those equations  $\dot{x}_2^+$  and  $\dot{x}_0^+$  are found.

Thus, it is obtained that:

$$\dot{x}_0^+ = \frac{1}{1 + \mu} [(1 + R)\dot{x}_2^- + (\mu - R)\dot{x}_0^-], \quad (28)$$

$$\dot{x}_2^+ = \frac{1}{1 + \mu} [(1 - \mu R)\dot{x}_2^- + \mu(1 + R)\dot{x}_0^-]. \quad (29)$$

## RESULTS OF INVESTIGATION OF DYNAMICS OF THE MANIPULATOR

The following parameters of the investigated manipulator were assumed:

$$l = 0.03, \quad h = 0.2, \quad \mu = 0.5, \quad r = 0.02, \quad h_{03} = 0.2, \quad b = 0.2, \quad a = 0.01, \quad d = 0.2, \quad c = 0.4, \quad R = 0.7. \quad (30)$$

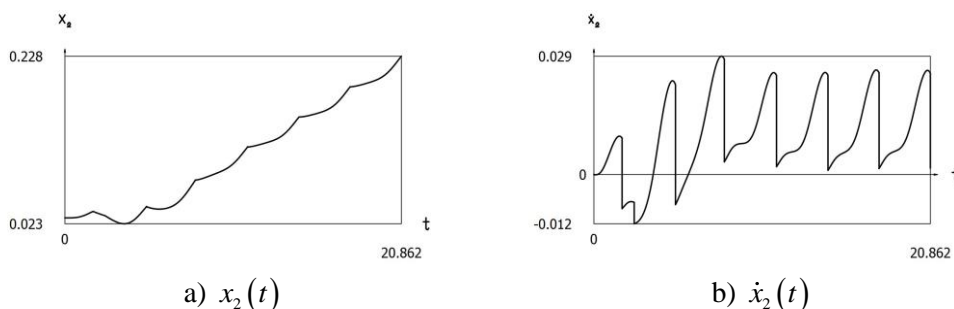
The following initial conditions were assumed:

$$x_2(0) = l, \quad x_0(0) = 0, \quad \varphi(0) = 0, \quad \dot{x}_2(0) = 0, \quad \dot{x}_0(0) = 0, \quad \dot{\varphi}(0) = 0. \quad (31)$$

Results for:

$$p = 1 \quad (32)$$

are presented in Fig. 2.



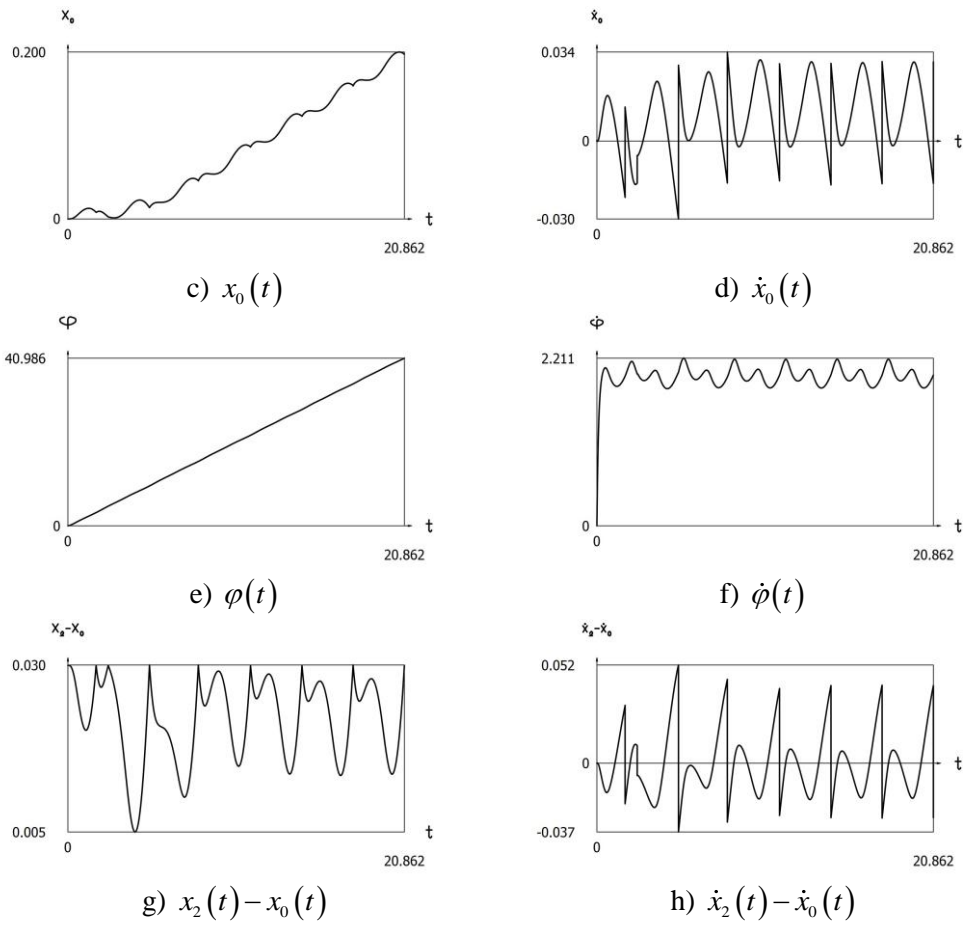


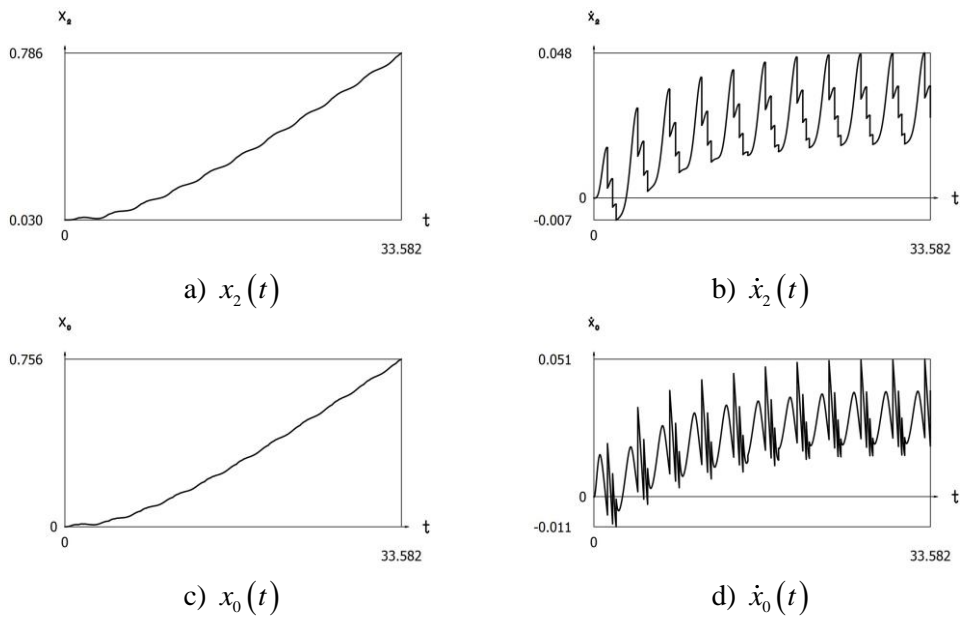
Figure 2. Dynamics of the manipulator when  $p = 1$

Results for:

$$p = 2$$

(33)

are presented in Fig. 3.





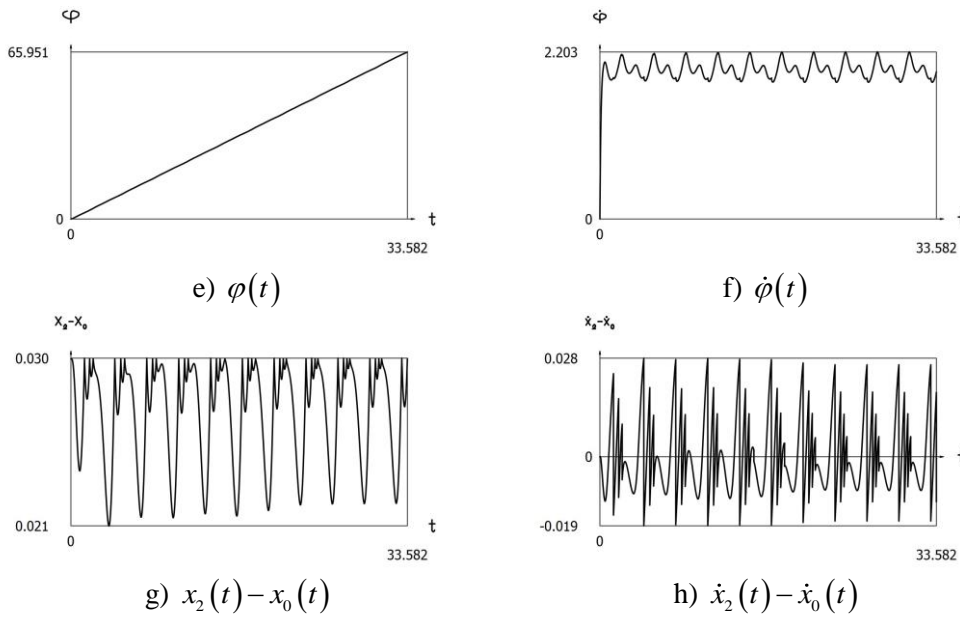


Figure 3. Dynamics of the manipulator when  $p = 2$

From the presented results the influence of the stiffness to the dynamic behavior of the manipulator with rotational excitation is seen.

**INVESTIGATION OF DYNAMICS FOR THE CASE OF EXCITATION OF UNLIMITED POWER**

In this case the equations of dynamics take the form presented further. When the following condition is satisfied:

$$x_2 - x_0 < l, \tag{34}$$

dynamics of the system is described by the following equations:

$$\ddot{x}_2 + p^2(x_2 - x_0 - l) + h(\dot{x}_2 - \dot{x}_0) = 0, \tag{35}$$

$$(1 + \mu)\ddot{x}_0 + p^2(x_0 - x_2 + l) + h(\dot{x}_0 - \dot{x}_2) + h_{03}\dot{x}_0 = -a - b\dot{x}_0 + r\omega^2 \cos \omega t, \tag{36}$$

where  $\omega$  denotes the frequency of rotational excitation.

The following parameters of the investigated manipulator were assumed:

$$\omega = 2.2, l = 0.03, h = 0.1, \mu = 0.5, h_{03} = 0.1, b = 0.1, a = 0.01, r = 0.02, R = 0.7. \tag{37}$$

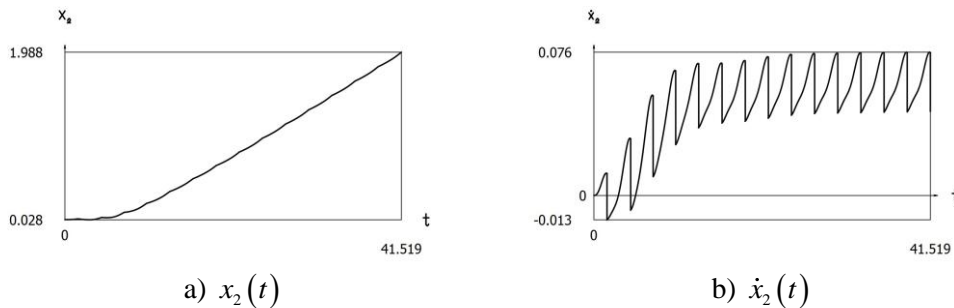
The following initial conditions were assumed:

$$x_2(0) = l, x_0(0) = 0, \dot{x}_2(0) = 0, \dot{x}_0(0) = 0. \tag{38}$$

Results for:

$$p = 1 \tag{39}$$

are presented in Fig. 4.



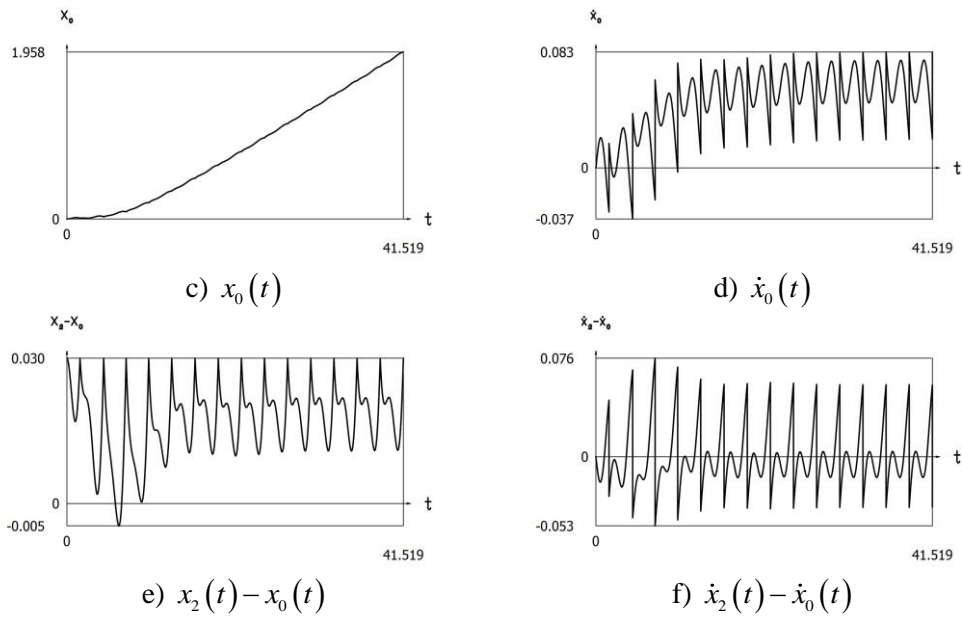


Figure 4. Dynamics of the manipulator when  $p = 1$

Results for:

$$p = 2$$

(40)

are presented in Fig. 5.

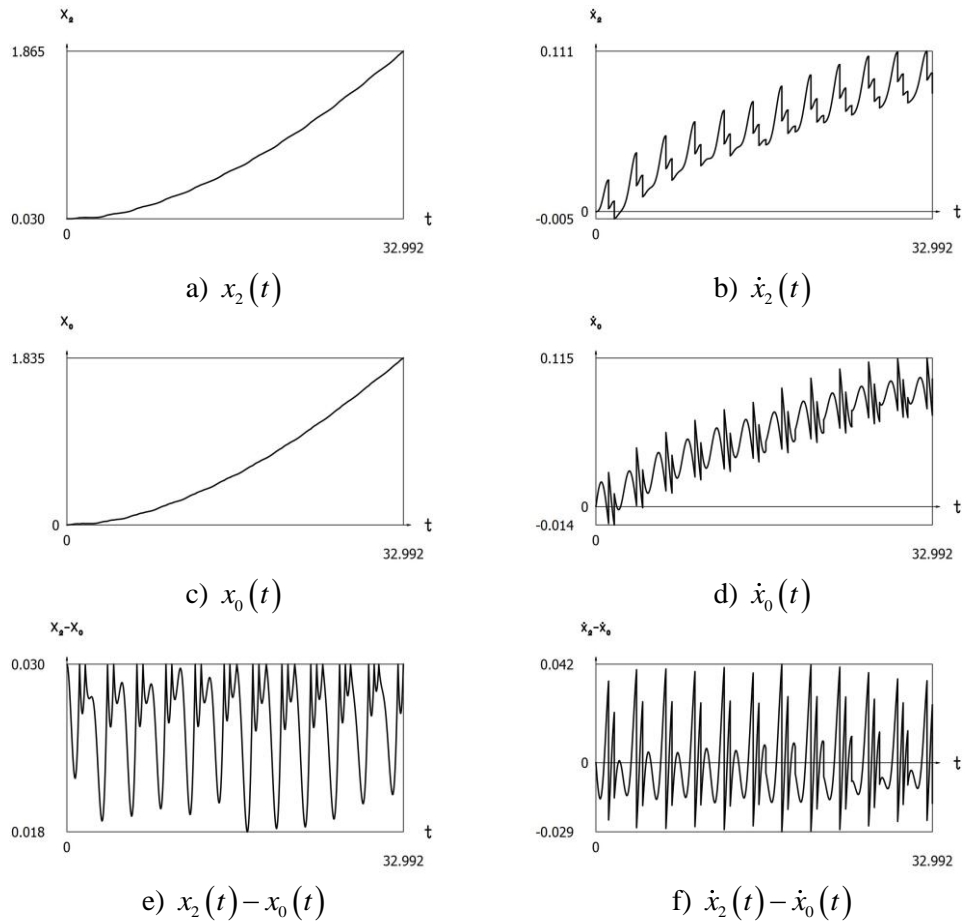


Figure 5. Dynamics of the manipulator when  $p = 2$

From the presented results the influence of the stiffness to the transient processes of the manipulator with rotational excitation is seen.

**RESULTS OF INVESTIGATION OF STEADY STATE MOTIONS**

Results for:

$$p = 1$$

(41)

are presented in Fig. 6.

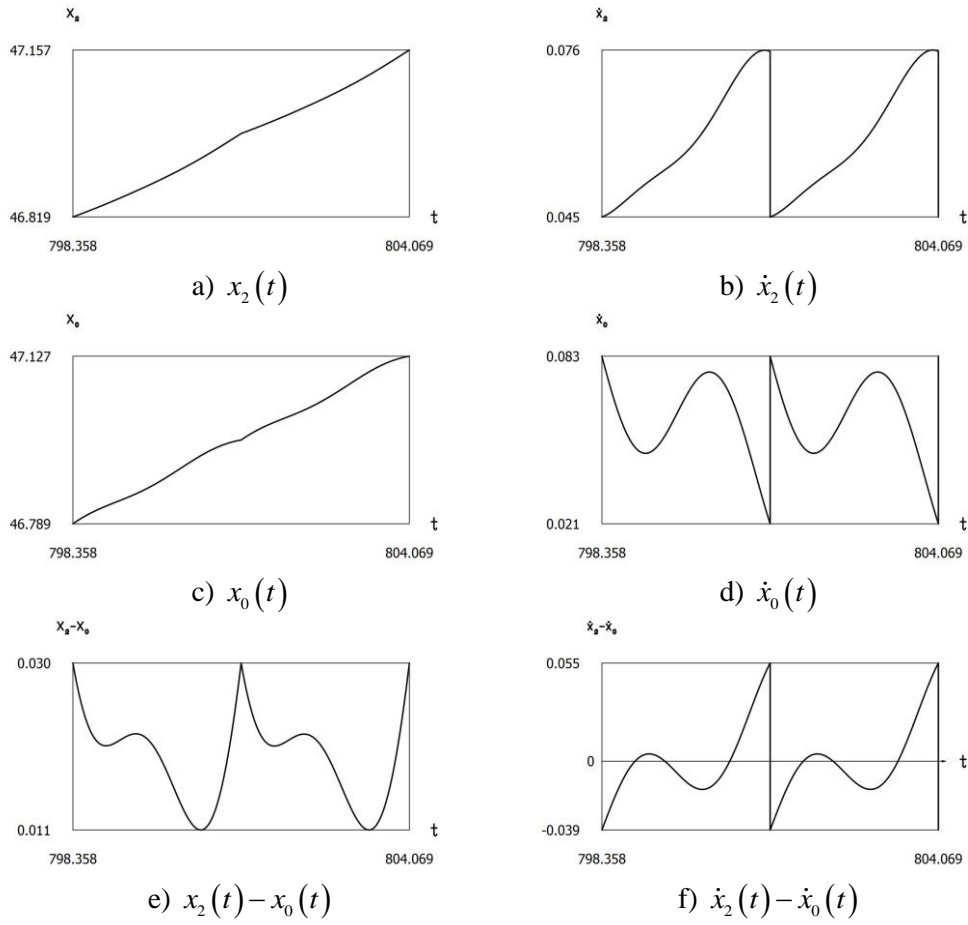


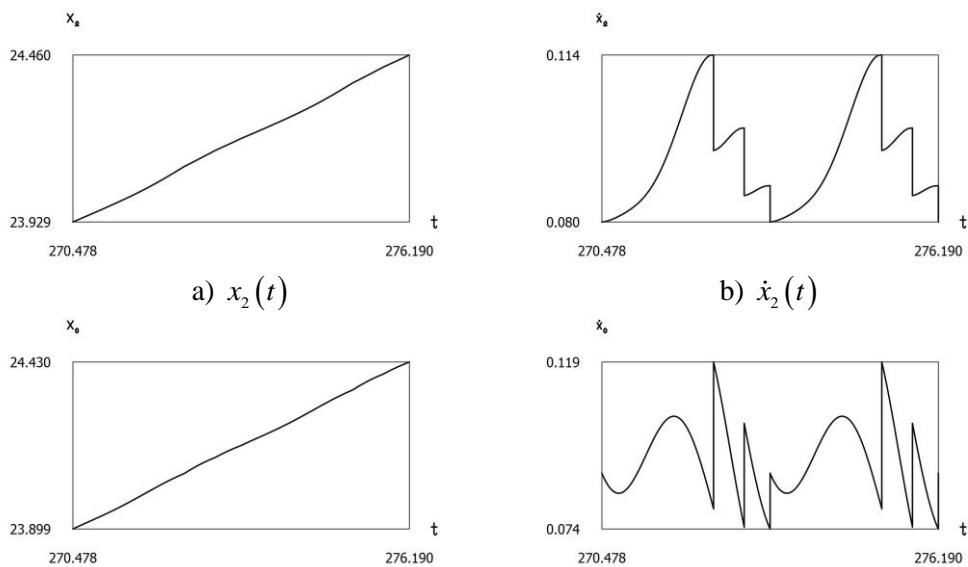
Figure 6. Steady state dynamics of the manipulator when  $p = 1$

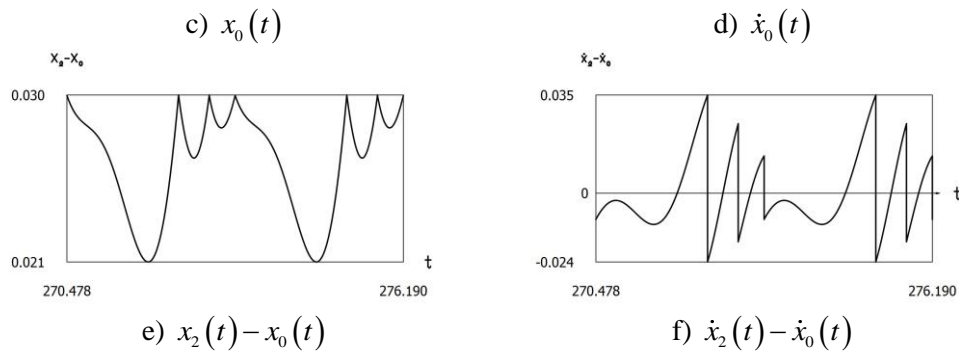
Results for:

$$p = 2$$

(42)

are presented in Fig. 7.



Figure 7. Steady state dynamics of the manipulator when  $p = 2$ 

From the presented results the influence of the stiffness to the steady state motions of the manipulator with rotational excitation is seen.

### CONCLUSIONS

Dynamics of the manipulator with rotational excitation is investigated. The model with excitation of limited power is described in detail and dynamics for typical parameters of the system is investigated. Displacements, velocities, angle, angular velocity, difference of displacements and difference of velocities as functions of time are investigated.

The manipulator with excitation of unlimited power is described and investigated. Transient and steady state motions for typical parameters of the system are presented. Displacements, velocities, difference of displacements and difference of velocities as functions of time are investigated.

Graphical relationships for different values of stiffness are presented. They enable us to understand the influence of the value of stiffness on the dynamic behavior of the manipulator.

Results are applied in the process of design of manipulators with rotational excitation.

### REFERENCES

1. Spruogis B., Ragulskis K., Bogdevičius M., Ragulskis M., Matuliauskas A., & Mištinas V. (2002). Robot Performing Stepping Motion inside the Pipe. Patent LT 4968 B.
2. Ragulskis K., Spruogis B., Paškevičius P., Matuliauskas A., Mištinas V., Pauliukas A., & Ragulskis L. (2021). Investigation of dynamics of a pipe robot experiencing impact interactions. *Advances in Robotics & Automation Technology*, 1(2), 1-8, DOI: 10.39127/2021/ARAT:1000103.
3. Ragulskis K., Pauliukas A., Bubulis A., Paškevičius P., Maskeliūnas R., & Ragulskis L. (2022). Investigation of dynamics of a system with two sided impacts. *Advances in Mechanical Engineering and Transport*, 1(18), 24-30, DOI: 10.36910/automash.v1i18.757.
4. Ragulskis K., Pauliukas A., Maiak M., Paškevičius P., Maskeliūnas R., & Ragulskis L. (2023). Investigation of dynamics of a pipe robot with self-stopping mechanism. *Advances in Mechanical Engineering and Transport*, 1(20), 13-19, DOI: 10.36910/automash.v1i20.1028.
5. Ragulskis K., Pauliukas A., Paškevičius P., Maskeliūnas R., & Ragulskis L. (2023). Investigation of two-sided soft impacts. *Advances in Mechanical Engineering and Transport*, 1(20), 20-26, DOI: 10.36910/automash.v1i20.1029.
6. Ragulskienė V. (1974). *Vibro-Shock Systems (Theory and Applications)*. 320, – Vilnius: Mintis.
7. Kurila R., & Ragulskienė V. (1986). *Two – Dimensional Vibro – Transmissions*. 137, – Vilnius: Mokslas.
8. Ragulskis K., Vitkus J., & Ragulskienė V. (1965). *Self-Synchronization of the Mechanical Systems (1. Self-Synchronizations and Vibro-Shock Systems)*. 186, – Vilnius: Mintis.
9. Ragulskis K., Bansevicius R., Barauskas R., & Kulvietis G. (1987). *Vibromotors for Precision Microrobots*. 326, – New York: Hemisphere.
10. Bansevicius R., Ivanov A., Kamyshnyj N., Kostin A., Lobikov L., Michieiev V., Nikolskaja T., Ragulskis K., & Shangin V. (1985). *Industrial Robots for Miniature Products*. 264, – Moscow: Mashinostroyenye.
11. Glazunov V. (2018). *New Mechanisms in Contemporary Robot Engineering*. 316, – Moscow: Tehnosphere.
12. Blekhman I. I. (2018). *Vibration Mechanics and Vibration Reology (Theory and Applications)*. 752, – Moscow: Physmathlit.

***K. Ragulskis, A. Pauliukas, P. Paškevičius, B. Spruogis, A. Matuliauskas, V. Mištinas, L. Ragulskis.***  
***Investigation of dynamics of the manipulator with rotational excitation.***

Dynamics of the manipulator with rotational excitation is investigated in this paper.

First the model with excitation of limited power is described in detail. The main parts of the model of the system are the mass of the disbalance of the rotating rotor, the impacting mass of the vibrator and the immovable straight linear supports, which ensure the direction of the moving mass. The system has three degrees of freedom, and its dynamics is described by the three differential equations of the second order.

Then investigation of dynamics for typical parameters of the system is performed. Displacements, velocities, angle, angular velocity, difference of displacements and difference of velocities as functions of time are investigated.

Also, the manipulator with excitation of unlimited power is described. The system has two degrees of freedom, and its dynamics is described by the two differential equations of the second order.

Then investigation of dynamics of the manipulator with excitation of unlimited power for typical parameters of the system is performed. Transient as well as steady state motions for typical parameters of the system are presented. Displacements, velocities, difference of displacements and difference of velocities as functions of time are investigated.

Graphical relationships for different values of stiffness are presented. They enable us to understand the influence of the value of stiffness on the dynamic behavior of the manipulator.

Results are applied in the process of design of manipulators with rotational excitation.

**KEYWORDS:** ROTATIONAL EXCITATION, MANIPULATORS, ROBOTS, GRAPHICAL RELATIONSHIPS, NONLINEAR BEHAVIOR.

*Казім'єрас РАГУЛЬСКІС*, член академій наук СРСР (згодом Російської академії наук) та Литви, професор, габілітований доктор, Каунаський технологічний університет, Каунас, Литва, покійний.

*Арвідас ПАУЛЮКАС*, доктор, Університет Вітовта Магнуса, Академія, Каунаський район, Литва, e-mail: arvydas.pauliukas@vdu.lt.

*Петрас ПАШКЕВІЧУС*, доктор, компанія «Вайвора», Каунас, Литва, e-mail: info@vaivorairko.lt.

*Броніслова СПРУОГІС*, професор, габілітований доктор, Вільнюський технічний університет імені Гедімінаса, Вільнюс, Литва, e-mail: bronislovas.spruogis@gmail.com.

*Арвідас МАТУЛЯУСКАС*, магістр, Вільнюський технічний університет імені Гедімінаса, Вільнюс, Литва, e-mail: arvydas.matuliauskas@vgtu.lt.

*Вігантас МІШТИНАС*, магістр, Вільнюський технічний університет імені Гедімінаса, Вільнюс, Литва, e-mail: vygantas.mistinas@gmail.com.

*Ліутаурас РАГУЛЬСКІС*, доктор, Університет Вітовта Магнуса, Каунас, Литва, e-mail: l.ragulskis@if.vdu.lt.

*Kazimieras RAGULSKIS*, Member of Academies of Sciences of the USSR (later of the Russian Academy of Sciences) and Lithuania, Professor, Habilitated Doctor, Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania, deceased.

*Arvydas PAULIUKAS*, Doctor, Vytautas Magnus University, Akademija, Kaunas District, Lithuania, e-mail: arvydas.pauliukas@vdu.lt.

*Petras PAŠKEVIČIUS*, Doctor, Company “Vaivora”, Kaunas, Lithuania, e-mail: info@vaivorairko.lt.

*Bronislovas SPRUOGIS*, Professor, Habilitated Doctor, Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania, e-mail: bronislovas.spruogis@gmail.com.

*Arvydas MATULIAUSKAS*, Master, Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania, e-mail: arvydas.matuliauskas@vgtu.lt.

*Vygantas MIŠTINAS*, Master, Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, Lithuania, e-mail: vygantas.mistinas@gmail.com.

*Liutauras RAGULSKIS*, Doctor, Vytautas Magnus University, Kaunas, Lithuania, e-mail: l.ragulskis@if.vdu.lt.

DOI 10.36910/automash.v1i22.1343



O. Sharko, A. Yanenko  
*Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine*

## **STRUCTURING OF THE MAIN DIRECTIONS OF RESEARCH REGARDING THE DETERMINATION OF THE REMAINING RESOURCE OF TRANSPORT STRUCTURES AND BUILDINGS**

An analysis of the current state of developments regarding the determination of the residual resource of transport structures and facilities, which are operated in the conditions of long-term practice, uncertainty and risk in the adoption of final conclusions, is given. It has been established that the strategy for the development of technical diagnostics requires the exclusion of dependence on the human factor and subjective observation of changes in the physical, mechanical and operational properties of controlled objects for intellectual operations of determining the remaining resource associated with the collection, processing and analysis of diagnostic information. Analysis of the use of methods of non-destructive testing and flaw detection to assess the residual resource of transport structures and ratios showed the limitations of these methods of determining defects in the early stages of their development, which precede the state of degradation of the material, optimization of processes and technologies to ensure timely diagnosis and forecasting of the technical condition of structures. The current state of developments regarding the determination of the residual resource of transport structures and structures operated under conditions of complex dynamic loads is considered. The structuring of the main directions of research was carried out and the gradation of the main used methods of residual resource assessment was proposed based on the results of numerical methods of fracture mechanics, based on the results of non-destructive testing and defectoscopy, using normative documents and standards of modeling and information support. The essence, methodology of dignity and shortcomings of the used methods are highlighted. Purpose, scope of application, prospects of their further use in transport technologies are determined.

**Keywords:** diagnosis, calculation methods, mechanical properties, technical diagnosis, assessment methods.

### **INTRODUCTION**

The problem of the reliability of transport equipment becomes especially urgent in connection with its aging, which significantly exceeds the pace of technical conversion, development and implementation of new modern technologies and designs. Lack of scientifically based concept of technical diagnostics and available information taking into account general trends and directions. Unabated interest in the problem of the residual resource of equipment is manifested in the presence of publications and reviews on various industry topics [1, 2]. Such reviews are mostly aimed at analyzing domestic experience and describing the details of their use in the practice of controlling aging equipment, the service life of which has either long expired or is approaching critical marks. The given review is aimed at evaluating the residual resource of equipment in a pre-critical state far from the limit and covers the results and recent achievements of foreign experience in this direction.

Prediction of equipment reliability is carried out by measuring at certain time intervals the maximum amount of damage that occurs: wear, corrosion, deformation, followed by extrapolation of dependencies to the maximum allowable amount of damage. This method makes it possible to obtain fairly accurate values of reliability indicators, if the type of dependence of damage on time is known. However, despite the fact that there are quite a lot of dependencies for different types of load and materials in practice, the influence of extreme and peak loads on operating equipment during its operation, which cannot be taken into account, restrains and sometimes excludes the use of these methods.

### **ANALYSIS OF LITERATURE DATA AND STATEMENT OF THE PROBLEM**

Depending on the required reliability of forecasts, a simplified approach based on deterministic assessments of available information and a more complex - probabilistic approach based on failure theory can be used. Informative parameters for predicting the residual resource can be both significant damage manifested in the form of corrosion, wear, deformation creep, and parameters of accompanying processes, such as vibration levels, the amount of leaks, temperature of friction nodes, consumption of products and their displacement relative to average values.

Estimates of the residual life and its extension for pumping units are given in [3]. Three-dimensional modeling and the finite element method are used. A geometric model of operation was built, which allows to evaluate the strength of the pump housing and main bolted connections. A conclusion was made about forecasting qualities and residual resource for 15 years.

In [4], a method for predicting the residual life of bearings of rotating mechanisms is proposed. The method of noise suppression of wavelet packets and combination of information in the form of complex

characteristics of the service life of bearings is used. Statistical methods of reliability and residual resource forecasting based on deep learning and static information were successfully used in [5]. It is established that the prediction of the remaining resource does not give specific information about the decrease in the productivity of the equipment. For this purpose, a Bayesian technology for integrating information about equipment performance degradation with discrete random damage in multidimensional time series signals is proposed.

On the basis of the load spectra and, of course, the elemental analysis of the axle shaft of the wheel loader in [6], a list of operating conditions and prediction of its fatigue life using Miner's criterion was compiled. Taking into account the impact of uncertainty on fatigue life, a sensitivity analysis and estimates of fatigue life were performed. It was found that the fatigue life increases by 3.7 times when the surface residual compressive stress reaches 100 MPa and decreases by 80% when the load amplitude increases by 10%. The presented approach is aimed at predicting fatigue life and improving its structural performance.

Further development of methods for estimating the residual resource based on the results of numerical methods of fracture mechanics is given in [7], where the problem of fracture of hydraulic turbine parts after a long service life is considered. The analysis of the condition of the elements of the power plants of the blades of the blade rotation mechanism of turbomachines and the method of estimating the residual resource of the parts during cracking are presented. The problem of assessing reliability and extending the service life of equipment is served. In [8], the occurrence of failures during the life cycle of the equipment and the modeling of their frequency were investigated. The shape of the failure intensity curve from the probabilistic property of the interaction of load and strength is analyzed. Based on the stress-strength interaction, a model of failure intensity from stochastic loads throughout the entire service life has been developed. From the point of view of uncertainty of load and uncertainty of strength, a mechanism of allocation of statistical risk of load and degradation of strength by failure frequency is proposed.

It is shown in [9] that the failure of machines and equipment is mainly caused by the intersection of critical states, which are determined by the limit values of stresses and strains at critical load points. The results of the development of methods for estimating the fields of deformations, stresses and residual life using experimental and numerical methods of fracture mechanics are presented.

Numerical methods of the mechanics of destruction of parts and nodes of transport technologies are used to assess the technical condition of heat engineering installations in real time, taking into account operational factors [10]. The value of the residual resource of the lining of the steel ladle after 30 melts was determined. Comparison of calculation results with practical use allows to adapt estimates of the remaining resource for steel ladles of a wide class of high-temperature units.

The experience of using numerical methods of fracture mechanics in estimating the residual resource of long-lasting equipment is described in the planning of microgrids taking into account uncertainty in [11]. The planning of microgrids integrating renewable energy sources is presented by the framework of mixed holistic programming. The objective function is to minimize the life cycle cost at the end of the planning period. Load uncertainty, electricity prices, wind speed and solar radiation are taken into account. For their integration, a combined model with the clustering technique is used. Numerical simulation for the test microgrid showed the effectiveness of the proposed model.

The results of work [12] should be included in measures to reduce risks in determining the remaining resource. The causes of uncertainty associated with the means of control and the quality of the source information are indicated. Using the example of the analysis of coercive damage of the inner surface of the pipelines, unjustified increases in the estimated remaining service life and necessary adjustments are shown.

The method of estimating the residual life of the cable during thermal aging is described in [13]. The method is based on a second-order kinetic model and an improved Arrhenius thermal aging equation. The model is used as a theoretical support for timely identification of risks when predicting service life and residual resource to eliminate potential accidents.

To estimate the residual resource based on the results of numerical methods of fracture mechanics, it is necessary:

- diagnose the operational state of the object at the current moment;
- determine the load and consequences of the equipment's environmental impact;
- obtain data on equipment elements based on the results of laboratory tests of samples;
- carry out calculations of the remaining resource;

#### **PURPOSE AND OBJECTIVES OF THE RESEARCH**

The purpose of the study is an analytical review of information materials on determining the residual resource of transport structures and facilities. Achieving the specified goal requires solving tasks related to

the analysis of literary sources of technical diagnostics, basic principles, models and methods of determining the residual resource of equipment during its operation, determining the parameters that must be taken into account to assess the technical condition of products.

### RESEARCH RESULTS

Available information on the problem of assessing the technical condition of equipment during its operation, which offer methods for assessing the residual resource of transport structures and facilities, can be conditionally divided into groups:

- methods based on the results of non-destructive testing and defectoscopy;
- methods that use regulatory documents and various standards;
- methods based on modeling and information support for decision-making.

#### **Evaluation of the remaining resource based on the results of non-destructive testing and flaw detection**

The development of methods of non-destructive control and technical diagnostics of the condition of equipment operating under pressure is presented in [14]. A correlation was established between the safety of the equipment and its residual resource, determined by the results of radiation methods, ultrasonic, electromagnetic and X-ray methods. The main fields of research in this direction and the key tasks of equipment operation safety are outlined.

[15] proposed an acoustic-emission method for predicting the degree of degradation of mechanical properties and residual life of metal structures under complex deformation stresses. It is shown that changes in operating conditions, peak loads, and thermal changes lead to irreversible structural changes in the material. A method of determining the residual resource is proposed, based on the full approximation of the results of acoustic measurements and the construction of limit curves that separate the area of serviceability from destruction. The attractiveness of using the proposed method lies in the elimination of the need to stop the measurement equipment.

The experience of using nondestructive testing to assess the residual resource of transport petrochemical equipment is presented in [16]. The probability of failure of equipment elements is estimated taking into account the available statistical data registered in the industry. It is shown that the probability of failure of a particular installation, operated for a long time, can change significantly due to the variety of initial properties of materials, differences in technological modes and maintenance procedures. Systematic monitoring of the microstructure is a way to reduce the uncertainty associated with the probability. Among the methods of non-destructive control of the residual resource and their practical applications, the description of the work [17] is interesting, in which an approach to determining the kinetics of crack growth in the maneuvering mode of operation of the equipment is formulated. The influence of aggressive hydrogenating media on the residual service life of structural elements was evaluated. Calculation models of subcritical growth of creeping cracks are proposed.

A similar work emphasizing the correctness of the chosen direction was published in [18]. The work is devoted to the assessment of the residual resource of the steam turbine rotor disk, taking into account the number of starts and stops of the equipment. The methodology for calculating low-cycle fatigue and registering the mode of operation of creeping cracks is presented. The obtained information can be a means of diagnosing the state of equipment elements of responsible purpose.

In [19] it is shown that on the basis of periodic maintenance, increasing the reliability of determining the residual resource of railway equipment is achieved due to dynamic adjustment of the time interval between diagnostic processes. The calculation of the average residual resource is carried out by maintaining the modulation in the railway track chain. In [20], a new technology for assessing the technical condition of electrical equipment is presented, based on the registration of electromagnetic radiation accompanying the operation of high-voltage equipment. At the same time, the residual resource and technical condition of the electric power system is determined by analyzing the electromagnetic field.

Non-destructive control of the current state and residual resource of metal structures based on the results of coercive force measurements is presented in [21]. Coercive force is recognized as one of the structurally sensitive characteristics of magnetic defectoscopy. The mechanical properties and the dynamics of their changes during operation are controlled. It was established that the coercive force is directly related to the operational stresses and the accumulation of stresses in the metal, which determine the residual resource of the structure.

An important related task regarding the factors that affect the estimation of the residual resource is the selection of specific signals indicating the localization of the problem, which leads to an abnormal condition

and wear of the equipment. The causes of deviations of such signals from normal values and equipment degradation are indicated in [22].

### **Methods of assessing the residual resource using regulatory documents and standards**

When evaluating the residual resource of the equipment, the evaluation of the available information plays a significant role. In [23], the experience of using service life information to improve services is presented. It is shown that maintenance is a key branch of improvement and certification of diagnostic processes and determination of residual resource of industrial service.

[24] provides an analysis of data on the operation of thermomechanical equipment of a jet plant and their compliance with existing standards and the regulatory framework. The need to develop uniform rules for the selection of physical parameters characterizing the condition of the equipment, taking into account its degradation, was established. The structural formulation of the classification criteria of regulatory and legal support allows to improve the assessment of the remaining resource.

A systematic study of the causes, conditions, and mechanisms of corrosion and mechanical damage to long-term pipe products is described in [25]. Contradictions and uncertainties in the regulatory and technical documentation of the services for monitoring the condition of pipelines operating in aggressive environments and the need to create a base for comparative analysis of crack resistance parameters are indicated.

Management of the life cycle of the equipment from the example of electrical network fluctuations is described in [26]. It is noted that the costs of repairing the equipment in the future will exceed its complete replacement with new equipment with similar parameters. A software product has been developed for managing the life cycle of power grid equipment. Estimated functions were obtained taking into account discount factors and residual book value.

The development of the fatigue life analysis direction is presented in [27] for a high-temperature reactor under normal operating conditions. In [28], the results of the work on the optimal placement and determination of the sizes of renewable energy sources based on the cost of the life cycle, taking into account uncertainty, are given. A multi-scenario investment optimization model aimed at accounting for the probability density of states using a test system is proposed.

An assessment of the life cycle of a geothermal power plant in Iceland was performed in [29]. Geothermal power plants of the country provide about 25% of electricity and almost all heat supply. A life cycle assessment was carried out in accordance with international standards. The carbon layer produced at the NPP was used as an indicator of the condition of the material for the continuation of the service of the power plant.

In [30], the results of solving the problem of assigning a resource for the safe operation of storage devices after carrying out technical diagnostics according to the permissible technical parameters of oil refining production are given. A mathematical model and an algorithm for estimating the residual resource are proposed, diagnostic coefficients are calculated, and measures of informativeness are determined.

### **Evaluation of the remaining resource based on the results of modeling and information support**

Modern information technologies for determining the residual resource are based on the use of telecommunications equipment, the capabilities of modern smartphones and tablets with Internet access.

Further development of diagnostics and determination of the residual resource was obtained with the help of information and analytical methods. The paper [31] considered the potential of using a mathematical approach for the purpose of estimating the levels of contamination by solid oil particles. Uncertainties and difficulties in predicting failures based on previous system failures, monitoring component degradation and strain rate are noted. The method of selection of diagnostic signals and their processing with the help of an odd output system and neural networks is presented. The concentration of iron and soot particles in used oil was chosen as the most significant model variables. Information on the condition of both lubricants and mechanical systems was obtained, with a conclusion on the degradation of mechanical equipment and an estimate of the remaining service life of the equipment.

Determination of the residual resource of the equipment and its forecasting taking into account information resources is described in [32]. The method of digital doubles integrates various factors in the formation of maintenance standards. Due to this, the volume of diagnostic information increases, without additional intrusion into the structure of the engine, which is part of the power plant. The performed simulation experiment and modeling of the digital double technology made it possible to determine a number of measures regarding planning and preventive works and equipment resource assessment.

In [33], to solve the problem of modeling the maintenance of complex electromechanical equipment, a model for predicting the residual resource in the improved Wiener process with random coefficients based on the data of the posterior distribution of the degradation processes is proposed. The model, which is



implemented using Bayes' theorem and target reliability indicators, allows you to estimate the residual resource of the equipment in operation with a higher accuracy of the convergence of the decision algorithm.

Accounting for uncertainty in estimating the residual resource of durable equipment is described in [34]. A fault-tolerant method for controlling the sliding mode of an automatic steering system in the field of intelligent unmanned engineering is considered. Uncertainty compensation measures are described to enhance the slip angle control effect. An adaptive method for controlling the sliding mode and determining the angle of inclination of the front wheels using the Kalman filter and uncertainty interference is proposed.

[35] presents the development of software for managing the performance of network information systems based on combat readiness at the level of information resources. Measures of intelligent fault dynamics, residual resource and maintenance decision support tools are proposed.

The method of determining the location and size of active distribution networks, based on stochastic programming, is presented in [36]. A programming model with restrictions on the stochastic parameter is proposed, which takes into account system uncertainty and necessary restrictions on the power, configuration and reliability of the operating equipment. In [37], the results of mathematical modeling of the residual resource of power plant units based on finite element methods and three-dimensional modeling are given. Equipment sizes and operating conditions are taken into account.

[38] describes the method of determining the residual resource of high-temperature aggregates of operating equipment using simulation modeling. [39] provides an analysis of the reliability and residual life of pressure vessels containing cracks. It is shown that the uncertainty of operational loads leads to the initiation of cracks. The methodology of early notification and the probability of refusals are described.

Detection and diagnosis of malfunctions in internal navigation networks intended for transport by computer diagnostic methods is presented in [40]. Inland navigation networks are used for transportation with economic and environmental benefits. In the conditions of climate change and man-made interventions associated with military actions and extreme depletion of water resources, the control and supervision of the level of shipping becomes crucial. A method of modeling and diagnostic classification of faults in shipping channels is proposed [41, 42].

## **DISCUSSION OF RESEARCH RESULTS**

The analysis of the use of non-destructive testing and flaw detection methods to assess the residual resource of transport structures and structures showed the limitations of these methods for identifying defects at the early stages of their development when irreversible changes have occurred at the level of the structure, causing a defective state due to fatigue. The level of sensitivity of these methods does not allow detecting these conditions and identifying zones of future destruction. The joint use of methods of non-destructive testing and hardness testing with portable devices allows to increase the reliability of estimates of the residual resource.

Existing regulatory documents and standards for determining the residual resource, as shown by the practice of their global use, have limited application. This especially applies to the equipment that is in the process of operation. The reasons for the limitations are scale, corrosion of the outer metal layer, the need to account for the specifics of control and product forms, which cause uncertainty and the risk of accepting final conclusions.

The largest number of analyzed works on the assessment of the residual resource of transport structures and structures, as shown by the world experience of their development directions, belongs to mathematical modeling and probabilistic methods, as well as information support for conclusions about the continuation and assessment of the residual resource of equipment during its operation. All diagnostic centers of the world are currently working on the development of this direction. This group of residual resource assessment methods is based on the hypothesis of a diagnostic relationship between the energy of the interacting fields and the physical effects accompanying the metal destruction mechanisms. By combining subjective expert and objective elements of technical diagnostics of operational parameters with methods of processing available information using the method of mathematical modeling and probabilistic diagnostics, it is possible to obtain a reliable method of monitoring long-term operating equipment during its operation.

## **CONCLUSIONS**

A distinctive feature of the existing reviews of information on the use of non-destructive testing and diagnostics methods is the structuring of the main areas of residual resource research, which is performed using a variety of methods. This structuring made it possible to separately identify the problems that are present in each group, the shortcomings, the difficulties of application and the possibilities of further use in order to evaluate the remaining resource. It is noted that the general feature of the methods used is the



uncertainty of the nature of the loads and the limitation of their use for the assessment of the critical state that precedes the destruction of the material. It is of interest not only to fix and diagnose destruction, but also to determine the initial stage of changes in the structure of materials, which allows determining the degree of serviceability of materials and the remaining resource. Prospective use of digital technologies for new diagnostic parameters aimed at increasing the efficiency of monitoring the technical operation of vehicles and facilities.

## REFERENCES

1. Abuelo A., Brester J.L., Starken K., Neuder L.M. Technical note Comparative evaluation of 3 methods for the quantification of non esterified fatty acids in bovine plasma samples prepartum/Journal of Dairy Science 2020. vol.103(3) pp.2711 - 2717
2. Surace C., Bovsunovsky A. The use of frequency ratios of diagnose structural damage in varying environmental conditions/Mechanical Systems and Signal Processing 2020, vol. 136, 106523
3. Kelin, A., Larin, O., Naryzhna, R., Trubayev, O., Vodka, O., Shapovalova, M. Estimation of residual life-time of pumping units of electric power stations (2019) International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies, 1, art. no. 8929748, pp. 153-159. Cited 7 times. DOI: 10.1109/STC-CSIT.2019.8929748
4. Li, S., Li, M., Liu, Z., Li, M. A Data-Driven Residual Life Prediction Method for Rolling Bearings (2023) Proceedings of 2023 IEEE 12th Data Driven Control and Learning Systems Conference, DDCLS 2023, pp. 1629-1633. DOI: 10.1109/DDCLS58216.2023.10166951
5. Yang, N., Ren, G., Lin, R., Li, D., Zhang, G. Research on Long Life Product Prognostics Technology Based on Deep Learning and Statistical Information Fusion (2023) Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), 14094 LNCS, pp. 3-13. DOI: 10.1007/978-981-99-6222-8\_1
6. Zhang, Y.-S., Wang, G.-Q., Wang, J.-X., Hou, X.-T., Zhang, E.-P., Huang, J.-B. Load spectrum compiling and fatigue life prediction of wheel loader axle shaft (2011) Jilin Daxue Xuebao (Gongxueban)/Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 41 (6), pp. 1646-1651.
7. Rudenko, A.L., Mishakin, V.V., Fomin, A.E., Sergeeva, O.A. Fatigue Failure of Hydraulic Power Equipment during a Long Service Life (2023) Steel in Translation, 53 (3), pp. 243-247. DOI: 10.3103/S0967091223030142
8. Xie, L., Lin, W., Zhang, M., Yan, S. Series system failure rate modeling and the mechanism to yield bathtub curve (2012) Applied Mechanics and Materials, 121-126, pp.4858-4862.Cited4 times. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.121-126.4858
9. Trebuňa, F., Pástor, M., Šarga, P. Assessment and increasing of lifetime and time of safe operation of machines and equipment by the experimental methods of mechanics (2018) Experimental Stress Analysis - 56th International Scientific Conference, EAN 2018 – Conference Proceedings, pp. 421-434
10. Nikiforov, A.S., Prikhodko, E.V., Kinjibekova, A.K., Karmanov, A.E. Comprehensive Assessment of the Residual Life of Refractory Materials of High-Temperature Units (2022) Refractories and Industrial Ceramics, 63 (1), pp. 105-109. DOI: 10.1007/s11148-022-00688-8
11. Thang, V.V., Trung, N.H. Evaluating efficiency of renewable energy sources in planning micro-grids considering uncertainties (2019) Journal of Energy Systems, 3 (1), pp. 14-25. Cited 6 times. DOI: 10.30521/jes.507434
12. Baranenko, V.I., Gulina, O.M., Salnikov, N.L., Murzina, O.E. Substantiation of FAC rate and service life estimation under operation control data (2016) Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zawedeniy, Yadernaya Energetika, (2), pp. 55-65. Cited 3 times. DOI: 10.26583/npe.2016.2.06
13. Lin, J., Yang, Y., Liao, X. Research on thermal aging life of cable based on second-order dynamics modification equation (2020) IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 585 (1), art. no. 012115. DOI: 10.1088/1755-1315/585/1/012115
14. Shen, G. Development Status of Nondestructive Testing and Evaluation Technique for Pressure Equipment (2017) Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Mechanical Engineering, 53 (12), pp. 1-12. Cited 10 times. DOI: 10.3901/JME.2017.12.001
15. Louda, P., Sharko, A., Stepanchikov, D. An acoustic emission method for assessing the degree of degradation of mechanical properties and residual life of metal structures under complex dynamic deformation stresses (2021) Materials, 14 (9), art. no. 2090 DOI: 10.3390/ma14092090
16. Nakomec, B., Basic, D., Ciupinski, L., Manaj, W., Kurzydowski, K.J. Non-destructive testing applied for risk reduction in petrochemical installations (2006) ECOS 2006 - Proceedings of the 19th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, pp. 767-774
17. Andreikiv, O.E., Skal's'kyi, V.R., Dolins'ka, I.Y., Dzyubyk, A.R. Influence of Corrosive Hydrogenating Media on the Residual Service Life of Structural Elements in the Maneuvering Mode of Operation (2018) Materials Science, 54 (1), pp. 61-68 DOI: 10.1007/s11003-018-0158-3
18. Dolins'ka, I.Y. Evaluation of the Residual Service Life of a Disk of the Rotor of Steam Turbine with Regard for the Number of Shutdowns of the Equipment (2018) Materials Science, 53 (5), pp. 637-644. DOI: 10.1007/s11003-018-0118-y

19. Mi, G.-S., Zhang, F.-X., Wei, L. Research on method of modulation maintenance in railway track circuit based on residual life (2015) *Tiedao Xuebao/Journal of the China Railway Society*, 37 (4), pp. 69-74. DOI: 10.3969/j.issn.1001-8360.2015.04.010
20. Silin, N.V., Korovkin, N.V., Hayakawa, M. High-voltage equipment electromagnetic spectrum study for estimation of its technical state and prediction of the residual life (2013) 2013 International Symposium on Electromagnetic Theory, EMTS 2013 - Proceedings, art. no. 6565792, pp. 522-524.
21. Gitzel, R., Klopper, B., Ouertani, Z.M., Turrin, S., Lange, I. Utilizing residual life information for improved maintenance services (2013) Proceedings - 2013 IEEE International Conference on Business Informatics, IEEE CBI 2013, art. no. 6642893, pp. 312-315. DOI: 10.1109/CBI.2013.51
22. Strickij. V., Bogdevicius M., Junevisius R. Diagnostic features for the condition monitoring of hypoid gear utilizing the wavelet transform/*Applied Acoustics* 2016. №106. pp. 51 - 62
23. Li C., Sanchez R.V., Zurita G., Cerrada M., Cabrera D., Vasques R.E. Gearbox fault diagnosis based on deep random forest of acoustic and vibratory signals/*Mechanical System and Signal Processing* 2016. №76/77., pp.283 – 293
24. Pakhalovich, N., Kucher, S., Levutzky, Y., Malyshko, S., Giryra, M. Classification of regulatory support for extension of life of mechanical equipment of nuclear power plants (2016) *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (8), pp. 21-28. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.59441
25. Makarenko, V., Manhura, S., Kharchenko, M., Melnikov, O., Manhura, A. Study of corrosion and mechanical resistance of structural pipe steels of long-term operation in hydrogen sulfur containing environments (2021) *Materials Science Forum*, 1045 MSF, pp. 203-211. Cited 2 times. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1045.203
26. Protalinskiy, O., Shvedov, A., Khanova, A. Life Cycle Management of Power Grid Companies' Equipment (2021) *Studies in Systems, Decision and Control*, 342, pp. 265-274. Cited 2 times. DOI: 10.1007/978-3-030-66081-9\_21
27. Chen, W., Zhang, Y., Qing, C., Geng, J. Fatigue life analysis of key equipment for high temperature reactor under variable working conditions (2020) *Journal of Physics: Conference Series*, 1633 (1), art. no. 012009 DOI: 10.1088/1742-6596/1633/1/012009
28. Thang, V.V., Ha, T. Optimal siting and sizing of renewable sources in distribution system planning based on life cycle cost and considering uncertainties (2019) *AIMS Energy*, 7 (2), pp. 211-226. DOI: 10.3934/ENERGY.2019.2.211
29. Kjeld, A., Bjarnadottir, H.J., Olafsdottir, R. Life cycle assessment of the Theistareykir geothermal power plant in Iceland (2022) *Geothermics*, 105, art. no. 102530, DOI: 10.1016/j.geothermics.2022.102530
30. Kulakov, P.A., Rubtsov, A.V., Afanasenko, V.G., Zubkova, O.E., Sharipova, R.R., Gudnikova, A.A. Influence of technical condition parameters on the residual resource of capacitive equipment (2019) *Journal of Physics: Conference Series*, 1399 (5), art. no. 055052, DOI: 10.1088/1742-6596/1399/5/055052
31. Vališ, D., Gajewski, J., Žák, L. Potential for using the ANN-FIS meta-model approach to assess levels of particulate contamination in oil used in mechanical systems (2019) *Tribology International*, 135, pp. 324-334. DOI: 10.1016/j.triboint.2019.03.012
32. Liu, W., Jiao, S., Wen, T., Zhu, J. Remaining Life Prediction Method of Relay Protection Equipment Based on Digital Twin (2023) 2023 4th International Conference on Computer Engineering and Application, ICCEA 2023, pp. 243-247. DOI: 10.1109/ICCEA58433.2023.10135436
33. Wu, M., Wang, X., Liu, X. On Condition Maintenance Model for Complex Electromechanical Equipments Based on Remaining Useful Life and Wiener Process (2020) *Journal of Physics: Conference Series*, 1678 (1), art. no. 012014. DOI: 10.1088/1742-6596/1678/1/012014
34. Jia, Q., Zhang, X., Yuan, Y., Fu, T., Wei, L., Zhao, B. Fault-tolerant adaptive sliding mode control method of tractor automatic steering system (2018) *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 34 (10), pp. 76-84. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2018.10.009
35. Liu, Y., Cai, H., Ma, P., Xu, Y., Han, Y. Design of Network Information System Equipment Health Management Software based on Combat Readiness (2021) *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1304, pp. 771-777. DOI: 10.1007/978-3-030-63784-2\_95
36. Zhao, L., Zhang, S., Zhang, X., Li, Y. Locating and sizing method for energy interconnection oriented active distribution networks based on stochastic chance constrained programming (2020) *Dianli Xitong Baohu yu Kongzhi/Power System Protection and Control*, 48 (14), pp. 121-129. DOI: 10.19783/j.cnki.pspc.191118
37. Kelin, A., Larin, O., Naryzhna, R., Trubayev, O., Vodka, O., Shapovalova, M. Mathematical Modelling of Residual Lifetime of Pumping Units of Electric Power Stations (2020) *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1113 AISC, pp. 271-288. DOI: 10.1007/978-3-030-37618-5\_24
38. Nikiforov, A.S., Prihodko, E.V., Kinzhibekova, A.K., Karmanov, A.E. The procedure for determining the residual life of high-temperature aggregates (2018) *Journal of Physics: Conference Series*, 944 (1), art. no. 012083 DOI: 10.1088/1742-6596/944/1/012083
39. Fong, J.T., Alan Heckert, N., Filliben, J.J., Doctor, S.R. Three approaches to quantification of NDE uncertainty and a detailed exposition of the expert panel approach using the Sheffield elicitation framework (2018) *American Society of Mechanical Engineers, Pressure Vessels and Piping Division (Publication) PVP*, 1A-2018, DOI: 10.1115/PVP201884771

40. Duviella E., Rajavarisoa L., Blesa J., Chuquet K. 2013) Proceeding of IEEE Conference of Decision and Control art.no.6760654 pp.4877-4882
41. S. Zinchenko, O. Tovstokoryi, P. Nosov, O. Sapronov, K. Tymofeiev, A. Petrovskyi, A. Ivanov. Collision avoidance by constructing and using a discrepancy area in on-board controller. Technology Audit and Production Reserves, Vol.1, 2 (69), pp.25-29, 2023: Information and control system. DOI: 10.15587/2706-5448.2023.274296 <http://journals.uran.ua/tarp/issue/view/16423>
42. Zinchenko S., Kyrychenko K., Grosheva O., Nosov P., Popovych I., Mamenko P. Automatic reset of kinetic energy in case of inevitable collision of ships, IEEE Xplore, p.496-500, 2023 13th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Wrocław, Poland, 2023. doi: 10.1109/ACIT58437.2023.10275545. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10275545>

***O. Sharko, A. Yanenko Structuring the main directions of research to value the excess resource of transport structures and materials***

An analysis of the current state of developments regarding the determination of the residual resource of transport structures and facilities, which are operated in the conditions of long-term practice, uncertainty and risk in the adoption of final conclusions, is given. It has been established that the strategy for the development of technical diagnostics requires the exclusion of dependence on the human factor and subjective observation of changes in the physical, mechanical and operational properties of controlled objects for intellectual operations of determining the remaining resource associated with the collection, processing and analysis of diagnostic information. Analysis of the use of methods of non-destructive testing and flaw detection to assess the residual resource of transport structures and ratios showed the limitations of these methods of determining defects in the early stages of their development, which precede the state of material degradation, optimization of processes and technologies for ensuring timely diagnosis and forecasting of the technical condition of structures. The current state of developments regarding the determination of the residual resource of transport structures and structures operated under conditions of complex dynamic loads is considered. The structuring of the main directions of research was carried out and the gradation of the main used methods of residual resource assessment was proposed based on the results of numerical methods of fracture mechanics, based on the results of non-destructive testing and flaw detection, using normative documents and standards of modeling and information support. The essence, methodology of dignity and shortcomings of the used methods are highlighted. Purpose, scope of application, prospects of their further use in transport technologies are determined.

**Keywords:** diagnosis, calculation methods, mechanical properties, technical diagnosis, assessment methods.

*ШАРКО Олександр Володимирович*, Доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспортних технологій та механічної інженерії, Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна, e-mail: [mvsharko@gmail.com](mailto:mvsharko@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0001-9025-7990>

*ЯНЕНКО Артем Валерійович*, аспірант, кафедри транспортних технологій та механічної інженерії, Херсонська державна морська академія, Херсон, Україна, e-mail: [yanenko9494@gmail.com](mailto:yanenko9494@gmail.com); <https://orcid.org/0009-0004-7992-8369>

*Oleksandr SHARKO*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Transport Technologies and Mechanical Engineering, Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine, e-mail: : [mvsharko@gmail.com](mailto:mvsharko@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0001-9025-7990>

*Artem YANENKO*, graduate student, Department of Transport Technologies and Mechanical Engineering, Kherson State Maritime Academy, Kherson, Ukraine, e-mail: [yanenko9494@gmail.com](mailto:yanenko9494@gmail.com); <https://orcid.org/0009-0004-7992-8369>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1344

Sistuk V.O.  
*Kryvyi Rih National University*

## APPROACH FOR DETERMINATION DAILY PASSENGER TRAFFIC ON PUBLIC TRANSPORT USING SITE SURVEY FINDINGS

This paper outlines a methodology for analyzing data collected from site surveys to assess passenger flow on public transportation. To ascertain daily passenger volumes, it's necessary to manually or semi-automatically count the number of boarding passengers throughout the operational day. However, for a comprehensive public transport network with numerous routes, this approach demands a considerable workforce and incurs significant time and financial expenses. While visually surveying passenger flows offers the advantage of concurrently studying multiple routes, the daily values obtained through this method fail to account for the turnover rate on the trip. The paper introduces a methodology that combines two types of site surveys: passenger counts within the vehicle's interior and assessments of occupancy rates of the vehicles at selected city sites (public transport stops). The research demonstrates that conducting surveys within the vehicle's interior facilitates the acquisition of peak and off-peak turnover rates for both the direct and reverse directions of the route. Additionally, assessing passenger volumes at specific locations enables the determination of daily passenger flows in both directions during peak and off-peak periods. These obtained turnover rates are then applied to refine the daily passenger flow estimates for both directions of the route. The paper presents the utilization of the proposed methodology through a case study involving one of the bus routes operated by a private enterprise in Kryvyi Rih. Furthermore, the methodology underwent testing by comparing the daily passenger flow values for municipal bus routes, as determined by the proposed method, with the indicators from the operator's daily transaction reports for the same time frame. The disparity between the indicators falls within the range of 5 – 7%, suggesting the suitability and reliability of the proposed approach.

**Keywords:** passenger flow, public transport, turnover rate, passenger flow survey, transport modeling.

### INTRODUCTION

Counting passenger traffic on public transport is crucial for effectively addressing urban mobility challenges and enhancing service quality for users of the transportation network [1].

Surveying passenger traffic on public transport routes in cities can be conducted through various methods, including [1, 3, 4, 5]:

in-vehicle surveys as counting passengers who board and alight at specific stops.

semi-automatic measurement utilizing mobile applications to record the number of passengers entering and alighting vehicles.

visual method with observing the changes in the frequency and occupancy of public transport vehicles throughout the day at selected sites, ensuring each route is observed at least once.

automatic measurement by installing door-mounted counters to track passenger entries and exits at stops, along with geolocation data.

collecting data from mechanical counters which are installed as barriers in transport terminals such as metro stations, railway stations, and bus stations.

gathering data from transaction reports from the tickets and subscriber cards.

In modern times, passenger traffic indicators (passenger flows), on public transport can be obtained through daily transaction reports provided by operators. These reports meticulously document each validation of transportation documents, such as tickets. In the city of Kryvyi Rih, a similar system is implemented called the Kryvyi Rih Resident Card [2]. However, in Ukrainian cities, contactless fare collection systems are predominantly utilized on municipal transport routes. Notably, contactless fare payment cards are not typically available on routes operated by private operators. In such scenarios, conducting field surveys emerges as a pertinent method for determining the volume of passengers transported on these routes. Field surveys are widely regarded as one of the most reliable means of collecting such data [3].

Passenger volumes serve as a starting point for assessing and making decisions in public transport. Additionally, when appropriate, these volumes serve as input data for transport modeling in specialized software such as PTV Visum [9], SUMO [10], and MatSim [11]. However, obtaining daily passenger flows presents significant challenges, as conducting comprehensive surveys within vehicle interiors throughout the day demands substantial human and financial resources. In large cities with extensive passenger transport networks, the cost of such counting escalates with the number of routes requiring surveying. Alternatively, measuring passenger flows at city locations traversed by public transport routes during the day necessitates



fewer resources, enabling the simultaneous coverage of route groups. Nonetheless, this approach offers only a partial perspective of daily passenger flow on public transport.

### **ANALYSIS OF LITERATURE DATA AND FORMULATION OF THE PROBLEM**

Numerous researchers have contributed to the methodological support of surveys on public transport passenger flows, aiming to address urban mobility challenges [3, 4, 7, 8]. They emphasize the advantages of manual counting methods, such as flexibility in selecting study locations and evaluation criteria, and the potential for obtaining high-quality site data. However, manual surveys are susceptible to the human factor, which may introduce bias and errors during data collection, and they often require a significant time investment and a large team of involved persons. To mitigate these challenges, some studies suggest the use of mobile applications [6] to count boarding and alighting passengers. This approach allows for tracking the vehicle's route and stop times, enabling verification of the data collector's work. Recording data in real-time poses a challenge as errors made by data collectors cannot be corrected once recorded. Automated passenger counting systems, which track entries and exits using dedicated counters, offer an advantage by accurately tallying passengers in real time, thereby minimizing the potential for human error. This method requires a stable mobile connection for transmitting traffic data. However, if turnstiles at transport terminals serve as counters, data collection is confined to specific locations within the transport network. Using cashless tickets for measuring passenger flows on public transport enables continuous data collection [1]. Nevertheless, the survey's quality relies heavily on passengers' honesty in confirming fare payment, sometimes necessitating additional monitoring.

Manual survey methods involving data collectors are regarded as one of the most precise approaches for collecting passenger flow data [3]. However, due to their high cost, these surveys are often constrained to a limited number of trips per day. To address this limitation, calculations are employed to extrapolate the data collected over shorter periods to estimate corresponding indicators for longer periods. This process involves utilizing coefficients of passenger flow variation, which account for changes in the number of carried passengers across different timeframes such as hours, days, weeks, months, or years. These coefficients are determined by comparing the maximum passenger flow capacity to the average capacity for the same timeframe [3].

Indeed, while progress has been made in converting specific passenger flow data into daily values, there remains an ongoing need to enhance the methodology for determining daily passenger flows on public transport. This is particularly relevant when relying on semi-automatic or manual in-vehicle surveys, as well as visual monitoring at key sites. Improvements in methodology are crucial for ensuring the accuracy and reliability of daily passenger flow estimates, thereby supporting effective decision-making and resource allocation within public transportation systems.

### **RESEARCH RESULT**

The determination of daily public transport traffic volumes can be achieved through a combined survey approach, which involves assessing the level of vehicle occupancy along the route passing through designated study sites, as well as measuring the number of passengers boarding and alighting at specific public transport stops.

Surveys conducted at these sites aim to collect the following data [3]:

- identification of the type of vehicle operating on the line;
- evaluation of the occupancy rate within the vehicles;
- determination of the actual headways along the study routes.

The assessment of the level of occupancy within vehicle interiors utilizes a widely recognized rating scale [3]:

- 1 point when less than half of the seats are occupied, indicating approximately a 30% occupancy rate;
- 2 points when more than half of the seats are occupied, suggesting approximately a 60% occupancy rate;
- 3 points when seats and half of the standing area are occupied, representing approximately a 75% occupancy rate;
- 4 points when the vehicle is full, but there is still room for additional passengers to enter, indicating approximately a 90% occupancy rate;
- 5 points when the vehicle is overcrowded, with no room for additional passengers, indicating a 100% occupancy rate.

Measurements within the vehicle are typically conducted once or twice a day during peak morning and evening hours. When implementing the proposed methodology, this survey is essential primarily to ascertain the turnover rate per trip:



$$k_p = Q_t / Q_{max} \quad (1)$$

$Q_t$ ; is the number of passengers transported in the relevant direction on the route, pers./trip.

$Q_{max}$  denotes the maximum number of passengers in the vehicle during the trip in the same direction, pers./trip.

The turnover rate is calculated separately for the forward and return directions of the route. The coefficient with the higher value is designated as the turnover rate for the peak direction, while the coefficient with the lower value is considered the turnover rate for the off-peak direction.

The processing of the results from the survey of the level of occupancy within the vehicle at a particular site, typically a public transport stop, is conducted as follows. Given that the same route may traverse multiple sites, the criterion for selecting the passenger flow indicator is based on the maximum total flow in two directions (forward and backward) across all sites during the observation period (typically a working day):

$$q_i = \max (q_{dn} + q_{on}) \quad (2)$$

$q_i$  is the maximum passenger flow among all sites, total for both directions of movement, based on the survey results at site  $n$ , pers./day;

$q_{dn}$  is the passenger flow in the forward direction based on the survey results at site  $n$ , pers./day;

$q_{on}$  is the passenger flow in the forward direction based on the survey results at site  $n$ , pers./day;

$n$  signifies the survey site with the highest passenger flow in the sum of the two directions compared to other locations.

Passenger volume in each direction (forward and backward) is divided based on the level of occupancy: for peak hours with an occupancy rate of more than 60%, corresponding to a score of 3-5 points, and for off-peak hours with an occupancy rate of up to 60%, corresponding to a score of 1-2 points.

For each direction of traffic at the site, the number of passengers transported is calculated separately for the vehicle occupancy rate of 1-2 points and the vehicle occupancy rate of 3-5 points.

The total passenger flow on the route must align with the previously determined value of  $q_i$ :

$$q_i = q_{dp} + q_{dnp} + q_{op} + q_{onp} \quad (3)$$

$q_{dp}$  is the passenger volume during the peak hour for the direct direction of the route, with an occupancy rate of 3-5 points;

$q_{dnp}$  is the passenger volume during the off-peak hour for the direct direction of the route, with an occupancy rate of 1-2 points;

$q_{op}$  is the passenger volume during the peak hour for the reverse direction of the route, with an occupancy rate of 3-5 points;

$q_{onp}$  is passenger volume during the off-peak hour for the opposite direction of the route, with an occupancy rate of 1-2 points.

Despite conducting surveys at various sites throughout the working day, the determined passenger flow  $q_i$  cannot be regarded as the final value. This is because  $q_i$  represents only a single observation at a specific site. To convert this indicator into a daily passenger flow value, we will utilize the passenger volumes obtained from surveys conducted inside the vehicle.

The daily passenger flow in the forward direction of travel on the route can be determined as follows:

$$q_{id} = q_{dp} \cdot k_{pp} + q_{dnp} \cdot k_{pnp} \quad (4)$$

Accordingly, the daily passenger flow in the opposite direction would be:

$$q_{io} = q_{op} \cdot k_{pp} + q_{onp} \cdot k_{pnp} \quad (5)$$

$k_{pp}$  is the turnover rate for the peak direction (the greater value of the two directions from observation in the vehicle);

$k_{\text{пнд}}$  is the turnover rate for the off-peak direction (the smaller value of the two directions from the in-vehicle survey).

Then the daily passenger flow on the route will be determined based on the results of the combined survey:

$$Q_d = q_{id} + q_{io} \quad (6)$$

The implementation of this approach is shown in the example of the bus route of private operators (route taxi) number 3 in the city of Kryvyi Rih (Rozvylka - Kiltceva Square).

The passenger flows determined by the results of measuring the rate of occupancy of the interior of the route taxi during the working day are shown in Table 1. The study involved 10 sites during the working day, 5 of which were for the forward direction of the route, and 5 for the reverse direction. The largest passenger flow in terms of the sum of passenger flows in two directions among all sites was obtained for the location on 95<sup>th</sup> Square. Now it is necessary to determine the number of passengers transported for each of the directions for this location for the peak and off-peak hours of the day (3), using the appropriate survey forms (see Table 2).

Applying formulas (4-5) with the corresponding turnover ratios for the peak and off-peak directions, as determined by the results of the passenger flow in-vehicle survey, we can calculate the daily passenger flow for the two directions and the total passenger flow in the route.

The results of these calculations are presented in Table 3.

Table 1 – Results of the calculations: findings from analyzing passenger traffic during the survey at various sites

Research site	The volume of passengers, pass/day	Total passenger traffic in two directions, pass/day
Zhovten Cinema Stop in the direction of 44th quarter	2048	3623
Zhovten Cinema Stop in the direction of Rokovata Railway Station	1575	
Shakhtarska Str. in the direction of 173rd quarter	1819	3934
Shakhtarska Str. in the direction of KRES	2115	
95th quarter Square in the direction of O.Polia Sq.	2308	4202
95th quarter Square from O.Polia Sq.	1894	
Bus station in the direction of Dnipro Highway	1822	4196
Bus station in the direction of 95th quarter Square	2374	
Boarding school Stop in the direction of Nebesna sotnia Str.	1248	2390
Boarding school Stop in the direction of 17th quarter	1142	
Maximum passenger flow among all sites		4202

Table 2 – A portion of the survey form used at the site

Time	Transport mode	Route Number	Vehicle type	Assessing the occupancy rate
5:05	Bus	3	C	1
11:03	Bus	3	C	1
14:57	Bus	3	C	1
15:17	Bus	3	C	1
18:44	Bus	3	C	1

Table 3 – Results of the calculations: indicators of passenger flows

Route number	3
Direction 1	Rozvylka - Kiltceva Sq.

Direction 2	Kiltceva Sq. - Rozvylka
Indicator	Value
Passenger flow in the peak hour in Direction 1 (occupancy rate is more than 2)	1208
Passenger flow in the off-peak hour in Direction 1 (occupancy rate is 1-2)	1100
Passenger flow in the peak hour in Direction 2 (occupancy rate is more than 2)	834
Passenger flow in the off-peak hour in Direction 2 (occupancy rate 1-2)	1060
Total value	4202
Passenger turnover rate on a bus trip for the peak direction	2.54
Passenger turnover rate on a bus trip for the off-peak direction	1.58
Daily passenger flow in Direction 1	4806
Daily passenger flow in Direction 2	3793
Daily passenger flow (total)	8599

To validate the proposed approach, we compared the daily passenger flows for several municipal bus routes obtained using this methodology with the daily transaction reports of the operators for the same survey day. It's important to note that the operator's reports may not capture passengers who haven't validated their tickets.

The differences in passenger flow for bus routes 1a, 4 and 302 were 4%, for route 228 it was 5%, and for routes 228a and 1, it was 6%. Such minor differences indicate the adequacy of the proposed method and its potential application for processing passenger flow data obtained through the two survey methods described earlier, especially for routes lacking a cashless fare collection system, such as those operated by private operators.

#### DISCUSSION OF THE RESULTS OF THE STUDY

The results of calculating the daily passenger flow for one of the routes highlight that relying solely on one method of surveying passenger flows for public transport, whether it is counting passengers entering and exiting the vehicle at a stop or assessing the level of occupancy of the vehicle interior, may not yield reliable indicators. For instance, the total passenger flow which is determined from a survey at a particular site, even if chosen as the maximum value among all sites, may not consider the turnover on the route, which can be determined using in-vehicle study. In a specific example, the daily passenger flow on the route is determined to be 8599 passengers when considering both survey methods. However, when relying solely on the results of the survey at the site, the daily passenger flow is calculated to be 4202 passengers. This significant difference is attributed to turnover during the trip. Therefore, determining the daily passenger flow using both survey methods is deemed a more reliable approach.

#### SUMMARY

The proposed method for determining daily passenger flow on public transport applies to any type of vehicle and mode of transport. The obtained values can be verified using daily transaction reports provided by the operators, which are commonly implemented on public transport routes, or by automated measurement methods.

Daily passenger flows serve as vital indicators in urban passenger transport networks and can be further utilized in relevant transport models to validate the modeled results of public transport demand assignment [12].

#### REFERENCES

- 1.(N.d.). Retrieved from [https://cgi.ptvgroup.com/vision-help/VISUM\\_2022\\_ENG/Content/1\\_Betreibermodell\\_OeV/1\\_7\\_\\_V-Tarifmodell.htm?Highlight=Fare+modelling](https://cgi.ptvgroup.com/vision-help/VISUM_2022_ENG/Content/1_Betreibermodell_OeV/1_7__V-Tarifmodell.htm?Highlight=Fare+modelling).
- 2.(N.d.). Retrieved from <https://kpccep.dp.ua/>

3. Vakulenko K. Ye., & Dolia K. V. (2015). Upravlinnia miskym pasazhyrskym transportom. Navch. Posibnyk: Kharkiv natsionalnyi universitet miskoho hospodarstva imeni O. M. Beketova, 257.
4. Marunych V.S., & Shmorhun L.H. (2014). Orhanizatsiia ta upravlinnia pasazhyrskymy perevezenniamy. Milenium, 528.
5. (2020). (rep.). Data collection survey on public transportation in Sarajevo canton, Bosnia, and Herzegovina. Retrieved from <https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12327342.pdf>.
6. (N.d.). Retrieved from <http://transitdatatools.com/>.
7. Dios, O. S. J. de, & Willumsen, L. G. (2024). Modelling transport. Hoboken: Wiley.
8. Zhuk, M., & Pivtorak, H. (2020). About passenger travels demand modeling in Urban Transportation Systems. *Transport Technologies*, 2020(1), 45–53. doi:10.23939/tt2020.01.045
9. (N.d.). Retrieved from <https://www.ptvgroup.com/en/products/ptv-visum>.
10. (N.d.). Retrieved from <https://eclipse.dev/sumo/>
11. (N.d.). Retrieved from <https://www.matsim.org/docs/>
12. (N.d.). Retrieved from [https://cgi.ptvgroup.com/vision-help/VISUM\\_2022\\_ENG/Content/2\\_Einstellungen\\_Benutzermodell\\_OeV/2\\_6\\_Taktfeine\\_Umlegung\\_Regi ster\\_Basis.htm](https://cgi.ptvgroup.com/vision-help/VISUM_2022_ENG/Content/2_Einstellungen_Benutzermodell_OeV/2_6_Taktfeine_Umlegung_Regi ster_Basis.htm).

### ***V. Сістук. Методика визначення добових пасажиропотоків на громадському транспорті на основі результатів натурних обстежень.***

Робота присвячена методиці обробці результатів збору показників пасажиропотоків на громадському транспорті, проведеного шляхом натурних обстежень. Для визначення добових показників пасажиропотоків необхідні вимірювання або у ручному або у напівавтоматичному режимі кількості перевезених пасажирів, проведені у салоні рухомого складу протягом робочого дня. Для мережі пасажирського транспорту із великою кількістю маршрутів подібні вимірювання потребують залучення значного числа обліковців та відповідних часових та фінансових витрат. Візуальний метод обстеження пасажиропотоків надає перевагу у вигляді можливості одночасного дослідження групи маршрутів, однак добові значення отриманих показників не враховують оборотності на маршруті. У роботі представлена методика визначення добових пасажиропотоків на громадському транспорті із використанням поєднання двох типів натурних обстежень: підрахунку пасажирів в салоні рухомого складу та оцінюванні рівня наповненості салону в обраних точках міста (зупинках громадського транспорту). У роботі показано, що обстеження у салоні рухомого складу дозволяє отримати пікові та непікові значення коефіцієнтів оборотності для прямого та зворотного напрямків маршруту. Вимірювання обсягів перевезень пасажирів на локації, у свою чергу, дозволяє визначити добові пасажиропотоки в обох напрямках руху для пікової та непікової години. Отримані коефіцієнти оборотності застосовуються для корегування добових пасажиропотоків для обох напрямків руху на маршруті. У роботі наведений приклад застосування запропонованої методики для одного з автобусних маршрутів приватного перевізника міста Кривий Ріг. Також методику перевірено шляхом порівняння визначених за методикою добових значень пасажиропотоків для маршрутів комунальних автобусів із показниками щоденних транзакційних звітів перевізника для цих маршрутів за той самий період часу. Розходження показників – у межах 5-7%, що говорить про адекватність методу, що пропонується.

**Ключові слова:** пасажиропотік, громадський транспорт, коефіцієнт оборотності, обстеження пасажиропотоку, транспортне моделювання.

*Volodymyr SISTUK*, Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Kryvyi Rih National University, e-mail: [sistuk@knu.edu.ua](mailto:sistuk@knu.edu.ua). <https://orcid.org/0000-0003-4907-4265>

*СІСТУК Володимир Олександрович*, кандидат технічних наук, доцент, Криворізький національний університет, e-mail: [sistuk@knu.edu.ua](mailto:sistuk@knu.edu.ua). <https://orcid.org/0000-0003-4907-4265>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1345

Zytsev Y.V., Voroshylov P.A.  
Kharkiv National Automobile and Road University, Kharkiv, Ukraine

## ANALYSIS OF PASSENGER VEHICLE CRUISE BY THE MODIFIED METHOD OF CLOSED SPEEDS

Monitoring and diagnosing the technical condition of vehicles is one of the most crucial issues. Recent studies conducted at Kharkiv National Automobile and Highway University (KhNADU) confirm that the condition of transmission aggregates and the chassis of a vehicle can be characterized by the distance traveled during coasting. Several factors influence coasting distance, including operational and design features, as well as the aerodynamic properties of the vehicle and the condition of its transmission and chassis components. The constant improvement of automobiles necessitates a reevaluation of methods for assessing motion resistance, making the modified method for determining approximate speeds relevant. Research has shown that for testing passenger cars, a horizontal road section of over 750 meters is needed for coasting from a speed of 50 km/h to a stop, which is not always available. However, coasting tests can be conducted at different speeds on shorter sections. Changes have also been made to the well-known coasting analysis method, and empirical formulas for air and rolling resistance have been developed, allowing for more accurate calculation of coasting distance and time than the classical method. The results of experiments have improved the method for estimating total resistance when a vehicle is in motion during coasting, dividing it into road and aerodynamic components. Additionally, advancements in vehicle technology underscore the importance of developing comprehensive diagnostic tools and procedures to ensure optimal performance and safety. This includes integrating advanced sensors and diagnostic systems into vehicles to provide real-time feedback on their condition, enabling proactive maintenance and minimizing the risk of unexpected failures.

**Keywords:** car breakaway, car test, acceleration time, coasting time, tire, car.

### INTRODUCTION

The run-out path of a car from a speed of 50 km/h is one of the few road test parameters available to the average user. And even then with reservations: how to measure it? Odometer? How can you detect the start of a run-out? How to simultaneously keep track of the speedometer, maintaining a speed of 50 km/h, the road (this is the column from which you need to start coasting), the odometer - and press the clutch pedal in time... And in the end there remains a rough indication of the path by the odometer - steps of 100 m. Not By chance, we recommended measuring not the path, but the run-out time [1] - in this case, all difficulties are removed and only the time measurement error remains.

### ANALYSIS OF LITERARY DATA AND PROBLEM STATEMENT

Many vehicle operating instructions require a run-out distance from 50 km/h of at least 500 m (and in some even 420 m). The corresponding run-down times will be approximately 76 and 64 seconds.

You can find the following information [2]:

- «- the minimum run-out should be ~500 meters
- normal spread - 450-700 meters

The run-out depends on the tires (inflated - not inflated, studs - slicks), load, type of car... So, for a light car it will be less than for a large single-wheel drive sedan due to different inertia, and for a jeep it will be less than for a large one sedan due to transmission losses.»

The idea of “different inertia” is widespread, but incorrect. This is confirmed by the results of experiments (Table 1).

Table 1 Coasting of passenger cars from 50 km/h (KhNADU experiments)

Automobile	Weight, kg	Time coast down, s	Tires and Cx
DAEWOO Matiz	1111	109,1	ContiEcoContact EP Cx=0,4
DAEWOO Lanos	1360	124,1	Tigar (фил. Michelin) TG621 Cx=0,37
VAZ-2105	1392	94,3	Belshina Бел-103 Cx=0,52
GAZ-31105 ZMZ	1475	86,6	Vredestein SnowTrac 2 M+S Cx=0,461
	1650	87,1	
	1890	88,6	
Chery Tiggo monodrive	1625	143,5	GT Radial Champiro 128 Cx=0,384
BMW 524 TD	1794	101,9	Bridgestone Cx=0,31
Mercedes-Benz E 300 D	2022	141,7	Continental Premium Contact Cx=0,28



## AIM AND TASKS OF THE RESEARCH

Contribute changes to the well-known method of coastdown analysis. Derive empirical formulas for air and rolling resistance that will allow calculate the path and run-out time many times more accurately than classical ones.

## RESEARCH RESULTS

As can be seen from the table, the decisive role is played not by the weight of the car, but by the quality of the tires. The lightweight DAEWOO Matiz on ECO tires showed a run-down time of 109.1 s - significantly better than the Volga with high inertia, but on all-season tires (86...89 s). On good tires, a Lanos has a 32% longer run-out than a VAZ-2105 of almost the same weight. The Mercedes-Benz E 300 D station wagon demonstrated an absolutely phenomenal roll - but not because of its weight, which is not much more than that of a fully loaded Volga, but thanks to excellent tires (and not new ones, with reduced rolling resistance), excellent aerodynamics and great age - with mileage, the rubbing pairs in the car break in, and the rolling improves (and, probably, thanks to Mercedes quality). The Chery Tiggo runs even better on Indonesian tires made of natural rubber (and weighs 400 kg less). So, even the worst run-down time listed in the table (82 s) turned out to be noticeably better than the value of 76 s, corresponding to a run-out path of 500 meters.

The small effect of vehicle mass is easy to understand. If there were no air resistance and transmission losses, the deceleration of the car  $j$  (m/s<sup>2</sup>) would be determined only by rolling resistance:

where  $P_f$  is the rolling resistance force, N;  $m_a$  – vehicle weight, kg;  $g$  – free fall acceleration, 9.81 m/s<sup>2</sup>;  $f$  – rolling resistance coefficient;  $\delta$  – factor for taking into account rotating masses.

Thus, mass has virtually no effect on deceleration caused by rolling resistance.

On the other hand, air resistance does not depend on mass, but is highly dependent on the shape of the car. A “light car” usually has worse aerodynamics than a large sedan, so the deceleration created by air resistance is higher and the run-out is correspondingly shorter.

The available technical specifications do not indicate the run-out rate. But the user needs this information. In Autoreview experiments, a Civic with an automatic transmission showed a run-out of 631 and 646 m, which corresponds to a time of approximately 96...98 s.

We conducted our experiment on a horizontal road with good coverage [3]. Car – Honda Civic D4 with automatic transmission. Weight with experiment participants – 1705 kg (by weighing). Summer tires ContiPremiumContact\_2 205/55 R16 91V.

The registration of the run-out parameters was carried out by video recording the changing readings of the speedometer and the barrier fence, which we used as a road marking.

Video recordings in .mts and .mp4 formats were processed on a computer in the video editing program AVS VideoEditor, in .avi format - in the VirtualDub program: during frame-by-frame viewing, the beginning and end of the indication of the same speed were found and a  $v(t)$  diagram was constructed, relating the values speed to the middle of the time segment from the beginning to the end of the display. Using video recordings of the fence, path graphs  $S(t)$  were constructed, which were then smoothed using polynomials of the 3rd or 4th degree and then numerically differentiated, obtaining diagrams of the true speed  $v(t)$  and deceleration  $j(v)$ . These are the diagrams used here. After discarding incomplete and unreliable records, eight curves remained (Fig. 1, Table 2). The run-out path in them varied from 591 to 746 m with an average of 658 m. This exceeds the length of horizontal road sections available in our area (350...500 m), so a more detailed analysis was undertaken.

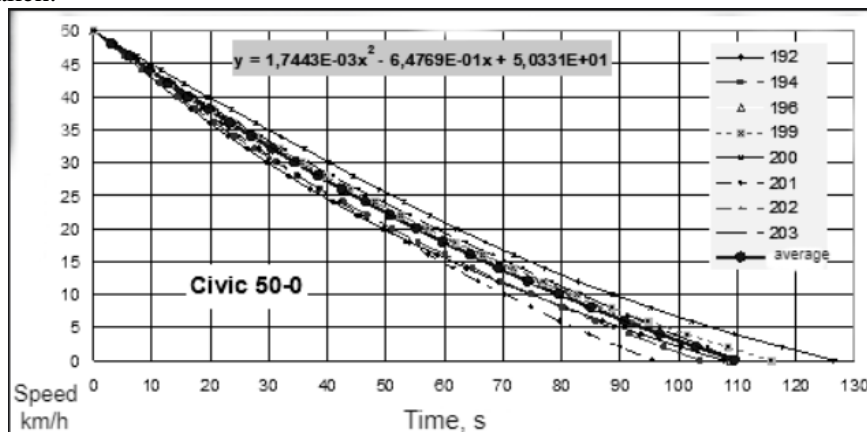


Fig. 1. Rundown diagrams for the Honda Civic D4 from 50 km/h to a complete stop

Table 2 Run time of the Honda Civic D4 from 50 km/h to speed V

Clip	Speed V, km/h				
	40	30	20	10	0
192	13,87	29,70	49,38	74,74	107,63
196	16,69	35,35	56,47	80,66	108,60
199	16,69	35,57	56,96	82,61	115,69
200	19,58	40,23	62,12	88,71	126,74
201	15,40	31,61	49,47	70,23	95,58
202	16,56	35,38	56,96	81,48	108,78
203	17,14	36,56	58,55	83,12	110,05
Average $m$	16,28693	34,44496	55,1222	79,55868	109,5863
Scope $\Delta$	5,71	10,53	12,74	18,48	31,16
Dispersion $D$	3,181196	11,74634	21,53607	34,65025	81,28929
Standard off. $\sigma$	1,783591	3,427294	4,640698	5,886446	9,016057
Coef. variations $\nu$	0,109511	0,099501	0,084189	0,073989	0,082274

It was necessary to find a range of speeds in which the run-out path did not exceed at least 500 m, the time was long enough for reliable measurement during manual notching, and the variation was small enough. The generally accepted sample indicators were assessed - sample mean, range, dispersion, standard deviation and coefficient of variation.

To reduce the requirements for road length, you can measure the run-down not to a stop, but to 20 or 30 km/h. But in the first case, the run-out path still exceeds 500 m, and in the second, the contribution of air resistance is noticeably greater. This makes the test more sensitive to changes in wind speed and less sensitive to chassis and transmission faults. It is better to limit the range from above. Two options look attractive: from 40 to 20 km/h and from 30 to 10 km/h (Table 3).

Table 3 Comparison of two possible speed ranges

Speed range, km/h	From 40 to 20	From 30 to 10
Run-down time, s	38,6	44,9
Run-out distance, m	317,3	242,6
Deceleration range, $m/s^2$	0,0723	0,0711

Both ranges are comfortable. The average run-out distance is significantly less than 500 m. The average coast-down time is large enough that the error caused by a resection delay, for example, 0.5 s, does not cause an overall error of more than 1.5% (1.3 and 1.1%). The range of deceleration in the sample is almost the same.

The digital speedometer of the Honda Civic car displays the speed in whole km/h, so one value is kept on the display for quite a long time - and a person can note the time both at the very beginning and at the end of the indication period. However, after some training, manual notching turns out to be quite accurate and gives an error from 0 to 0.35 s. The errors in turning the stopwatch on and off have the same sign, so the difference error is small - 0.1...0.2 s. The second feature of the digital speedometer is sporadic omissions of speed values, for example, after 40 immediately 38 km/h, after 33 - 31, etc., which forces you to repeat the measurements.

In the analysis of the experimental results described above, the average value  $f = 0.01124$  (for a speed of 20 km/h) was obtained. This is close to 0.01130 - at the lower limit of the field of possible values for tires of categories S and T. The highest possible values of  $f$  (the upper limit of the field for H, V and other high-speed tires) are 1.237 times higher, the smallest (the lower limit of the field for ECO tires) - 0.756 times. Omitting calculations, we present the obtained values of the path and run-down time for the considered speed ranges.

Table 4 Estimated standard values of parameters "Coasting time" and "Coasting distance" of the vehicle Honda Civic D4

Rolling resistance option	Parameter	Speed range			
		from 50 to 0	from 40 to 20	from 30 to 10	from 40 to 10
worst	Time, s	90,6	32,4	37	52,3
	Path, m	554,1	266,8	200,6	348,7
average	Time, s	106,2	37,3	43,2	60,7
	Path, m	639,2	306,7	233,6	403
best	Time, s	129,4	44,2	52,3	72,8
	Path, m	760	362,6	281,3	480,3

So, the recommended modes for checking a Honda Civic D4 with ECO tires and the standards for these modes have been established.

However, for other types of tires the standards will be different. Not being able to repeat the experiment with all tire options, we tried to calculate these options based on generally accepted models of vehicle resistance to movement. However, no combination of a constant value of  $C_x$  and the dependence  $f(v)$  produced a deceleration curve  $j(v)$  approaching the experimental one.

All that remained was to accept the version of the inconstancy of  $C_x$  and try to find fairly simple methods for calculating the parameters of the run from 50 km/h, taking into account this inconstancy. It is convenient to study the nature of the dependence  $C_x(v)$  using the method described, for example, in [4]: select two points close in speed on the experimental curve  $j(v)$  and make the assumption that, due to the small difference in speeds, the resistance values at both points are the same. Next, they create a system of two force balance equations for these two points and solve it. Then they move on to the next pair of speeds - and so on until the end of the range under study. We call this procedure the "near speed method", CSM.

Initial system of equations:

$$\begin{cases} P_{f1} + P_{xx.mp1} + kF \cdot v_1^2 = \delta \cdot m_a \cdot j_1; \\ P_{f2} + P_{xx.mp2} + kF \cdot v_2^2 = \delta \cdot m_a \cdot j_2, \end{cases} \quad (2)$$

where  $P_f$  is the rolling resistance force, N;  $P_{xx.tr}$  – transmission idle resistance force, N;  $k$  – streamlining coefficient,  $N \cdot s^2 \cdot m^{-4}$ ;  $k = 0,5 \cdot \rho \cdot C_x$  ( $\rho$  – air density,  $kg/m^3$ ;  $C_x$  – aerodynamic drag coefficient);  $F$  – frontal area of the car,  $m^2$ ;  $v_1, v_2$  – selected close velocities, m/s;  $j_1, j_2$  – decelerations at these speeds.

As stated above, it is assumed that at sufficiently close velocities the resistances are equal. However, a preliminary assessment using the example of a Honda Civic shows that the sensitivity of the three components to changes in speed is different (Table 5, Fig. 2).

Table 5 Dependence of the coasting resistance of a Honda Civic on speed (air resistance - according to the standard formula at  $\rho=1,208 \text{ kg/m}^3$ ,  $C_x=0,31$ ,  $F=2,1 \text{ m}^2$ ; rolling resistance at  $m_a=1703 \text{ kg}$ ,  $f$  – at the lower limit of the field of possible values for tires of categories S and T [1];  $P_{xx}$  – based on measurement results [5])

v	0	5	10	15	20	25	30
Pw	0,0	0,8	3,3	7,3	13,0	20,4	29,3
Pf	189,4	189,0	188,8	188,8	188,8	189,0	189,3
Pxx	0,052	0,704	1,05	1,37	2,64	3,85	4,81

v	35	40	45	50	55	60	65
Pw	39,9	52,2	66,0	81,5	98,6	117,4	137,8
Pf	189,6	190,2	190,8	191,5	192,4	193,4	194,5
Pxx	5,72	6,78	8,07	9,46	10,85	12,4	15,1

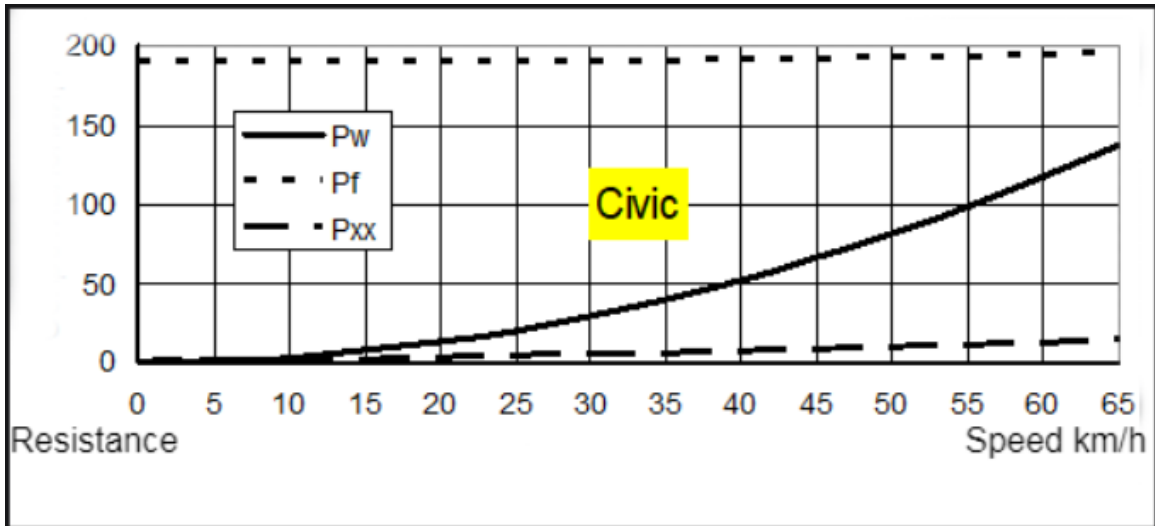


Fig. 2. Dependence of the Honda Civic coasting resistance on speed

Rolling resistance is the least sensitive; it can be considered constant in the selected speed range from  $v_1$  to  $v_2$  without compromising accuracy. ( $P_{f1} = P_{f2} = P_f$ ). The other two resistances are speed dependent. It is convenient to combine them in the form  $kF^* \cdot v^2$ . Then:

$$\begin{cases} P_f + kF^* \cdot v_1^2 = \delta \cdot m_a \cdot j_1; \\ P_f + kF^* \cdot v_2^2 = \delta \cdot m_a \cdot j_2. \end{cases} \quad (6)$$

After the simplest transformations we get:

$$kF^* = \frac{\delta \cdot m_a \cdot (j_1 - j_2)}{(v_1^2 - v_2^2)}, \quad C_x^* = \frac{2 \cdot \delta \cdot m_a \cdot (j_1 - j_2)}{\rho \cdot F \cdot (v_1^2 - v_2^2)} \quad (7)$$

or, if the speed is expressed in km/h,

$$C_x^* = \frac{25,92 \cdot \delta \cdot m_a \cdot (j_1 - j_2)}{\rho \cdot F \cdot (v_1^2 - v_2^2)}. \quad (8)$$

It is easy to find the rolling resistance coefficient.

$$\begin{cases} P_f + kF^* \cdot v_1^2 = \delta \cdot m_a \cdot j_1; \\ P_f + kF^* \cdot v_2^2 = \delta \cdot m_a \cdot j_2; \end{cases} \parallel \times v_2^2$$

$$f = \frac{\delta \cdot (j_1 \cdot v_2^2 - j_2 \cdot v_1^2)}{g \cdot (v_2^2 - v_1^2)}. \quad (9)$$

If we accept the hypothesis that the exponent  $n$  is not constant [1], then the picture will change somewhat:

$$C_x^* = \frac{2 \cdot \delta \cdot m_a \cdot (j_1 - j_2)}{\rho \cdot F \cdot (v_1^{n_1} - v_2^{n_2})}; \quad f = \frac{\delta \cdot (j_1 \cdot v_2^{n_2} - j_2 \cdot v_1^{n_1})}{g \cdot (v_2^{n_2} - v_1^{n_1})}. \quad (10)$$

As an example, we took the run-down data of the Mitsubishi Lancer 2.0 sedan (weight 1555 kg,  $\delta=1,0373$ ,  $r_k=0,318$  m; using [1] the values were calculated  $C_x=0,364$ ,  $f=0,0117$ ) and processed in two

versions: with the classical description of air resistance with a constant exponent at speed  $n=2$  and with a variable exponent  $n(v)$  according to D.V. Nikitin (Fig. 3). In Fig. 4 and 5 show the calculated dependences of the aerodynamic drag coefficient  $C_x$  and the rolling resistance coefficient  $f$  as a function of speed.

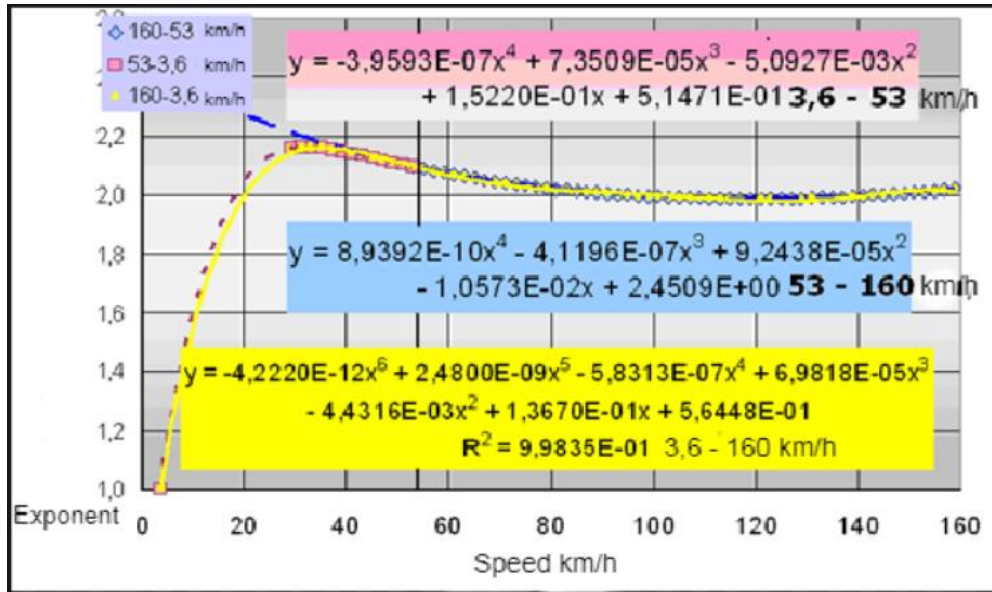


Fig. 3. Dependence of the exponent  $n$  on speed – averaged over 84 different types of passenger car models

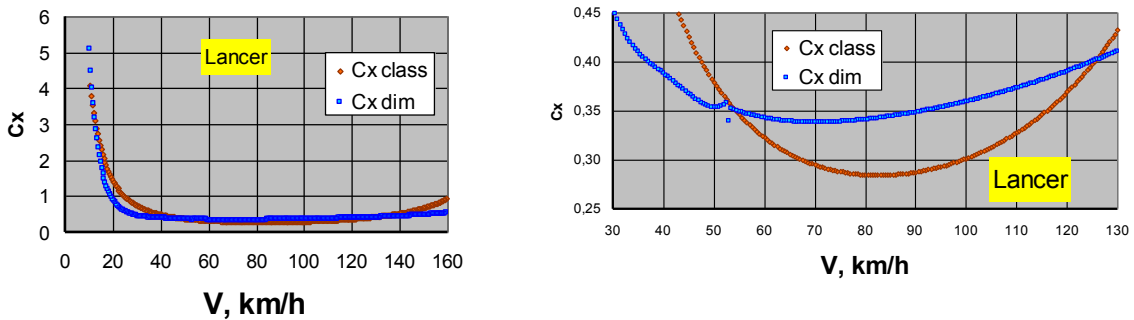


Fig. 4. Calculated dependence of the aerodynamic drag coefficient  $C_x$  on speed, obtained by the close speed method, in full (left) and operating speed ranges

### DISCUSSION OF THE RESEARCH RESULTS

What is unexpected is the decrease in rolling resistance to zero at the beginning and, especially, at the end of the diagram. A sharp drop in  $f$  at speeds below 20 km/h has already been described in the works of KhNADU [1], but it was not noted for high speeds. Most likely, this is a consequence of the imperfection of the model. However, for this study this issue is not important: coast-downs are studied here from a speed of 50 km/h.

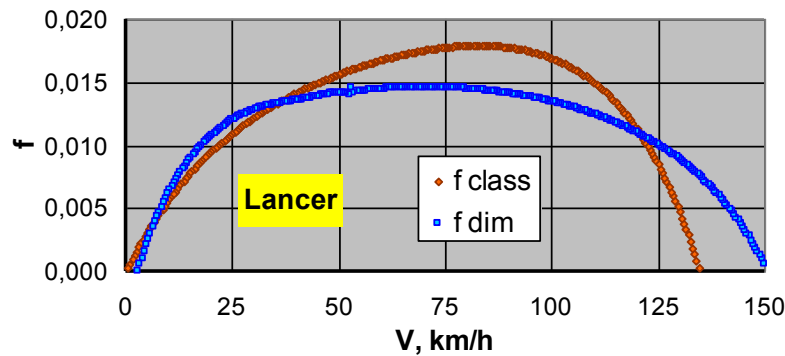


Fig. 5. Calculated dependence of the rolling resistance coefficient on speed, obtained by the close speed method



As can be seen from these diagrams, in the version with a variable exponent, CSM gives slightly more stable results. The resulting average value for the operating speed range  $C_x = 0,3656$  quite close to the value calculated by the method [1] 0.3639, and the value  $f = 0,011748$  practically coincides with  $f = 0,011706$  (at a speed of 23.75 km/h, at which it is calculated  $f$  method [1]).

The question arose: to what power should the speed be raised at this value  $C_x$ , to get the same air resistance that it gives CSM? The result of the calculation turned out to be useless: the curve of this conditional exponent ( $n'$  m/s in Fig. 6) in the low-speed zone noticeably departs from the initial one ( $n$ ), rushes to infinity and forms a gap near 3.6 km/h. This operation gave a more practical result when substituting the speed in km/h. Curve  $n'$  km/h in Fig. 6 goes more flatly in the range of operating speeds; in the area from 90 to 30 km/h this figure is almost constant (1.4135), and in the range from 50 to 20 km/h 1.418 can be taken. True, at lower speeds the calculation of air resistance at  $C_x=0,3639$  и  $n'=1,418$  gives an increasing error, but against the background of other resistances it is insignificant, and the calculation itself is based on CSM not ideal.

Similar calculations for cars with sharply different aerodynamics: Toyota Land Cruiser 200 SUV ( $C_x=0,5063$ ) and Honda Civic D4 sedan ( $C_x=0,3092$ ) gave close values  $n'=1.4396$  and  $n'=1.4228$ . The average of the three is 1.427.

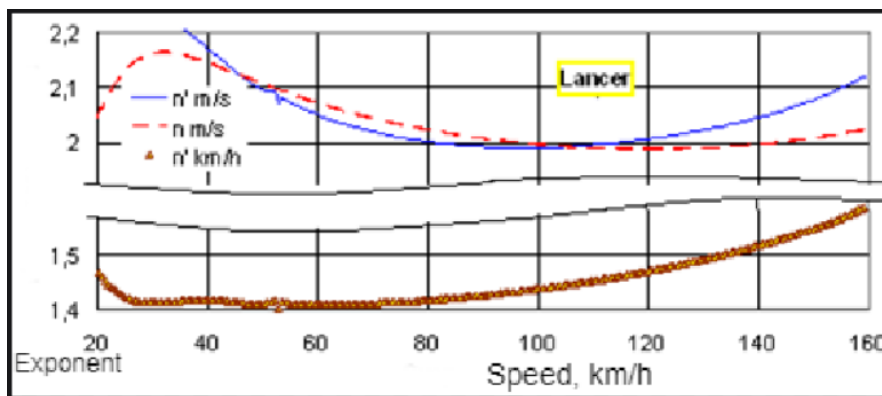


Fig. 6. Conditional exponent when calculating with  $C_x=0,3639$

Selection of empirical formulas for calculating the rolling resistance coefficient  $f$  also relied on the results of the analysis of the Mitsubishi Lancer run-down using CSM with a variable exponent. The resulting diagram  $f(v)$  is shown in Fig. 7. It was approximated by a logarithmic function, but the curve at speeds below 2 km/h went into the negative region, which has no physical meaning. Therefore, the function was adjusted by shifting the argument by 1.7 km/h.

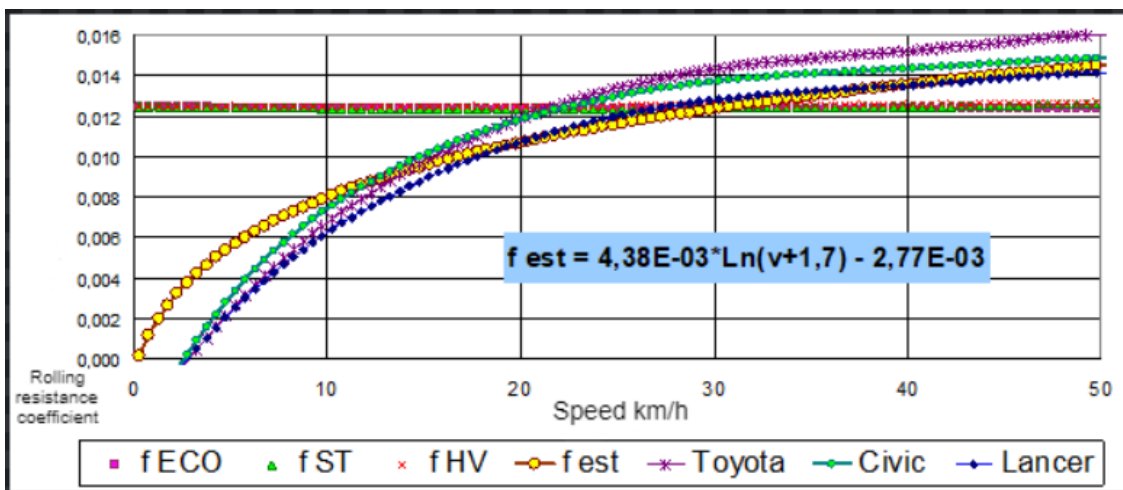


Fig. 7. Dependence of the rolling resistance coefficient  $f$  on speed, calculated by the close speed method with a variable  $[n(v)]$  exponent, reference for three groups of tires [ $f$  ECO,  $f$  ST,  $f$  HV], three cars [Lancer, Toyota, Civic] and accepted for calculation [ $f$  est]

For the other two cars considered, the shape of the fitting curve is the same, but the ordinates are higher or lower in accordance with the properties of the tire. It is convenient to correct this by the scale factor  $C_i/C_L$ , where  $C$  is the free term in the approximating expression for the dependence of the rolling resistance coefficient  $f$  on speed [1];  $i$  – index of the car in question;  $L$  – Lancer car index. Meaning  $C_L$  for the Lancer sedan it is taken along the center line for SR-TR tires (0.012467), for a Toyota SUV along the top line for HR-VR tires (0.0140095), for the Civic sedan along the center line for HR-VR tires (0.013261). The choice of  $C$  was determined by the speed category of the tire, taking into account the value  $\psi$ , obtained by processing the run-down diagram according to [1].

### CONCLUSIONS

The results of calculating the coasting parameters for three cars are presented in Table 6 with natural values and deviations from the experimental data as a percentage ( $\varepsilon$ , %).

Table 6 Coasting parameters of passenger cars, calculated by classical and proposed empirical methods, in comparison with experimental data

Data source	Speed range							
	50-1		50-20		40-20		30-10	
	Time, s / $\varepsilon$ , %	Path, m / $\varepsilon$ , %	Time, s / $\varepsilon$ , %	Path, m / $\varepsilon$ , %	Time, s / $\varepsilon$ , %	Path, m / $\varepsilon$ , %	Time, s / $\varepsilon$ , %	Path, m / $\varepsilon$ , %
sedan Mitsubishi Lancer 2,0								
Experiment	154,96	654,81	50,11	470,21	35,90	293,02	46,35	243,92
Class. calculation	101,92	667,12	56,96	540,51	40,13	330,66	61,90	240,21
$\varepsilon$ , %	-34,23	1,88	13,68	14,95	11,79	12,85	33,57	-1,52
Empirical calculation	151,93	656,17	50,85	474,92	36,79	299,65	47,48	250,63
$\varepsilon$ , %	-1,96	0,21	1,48	1,00	2,47	2,26	2,45	2,75
SUV Toyota Land Cruiser 200								
Experiment	141,91	583,95	44,30	415,06	31,83	259,54	41,65	218,58
Class. calculation	89,04	579,89	49,41	468,75	34,82	286,79	53,89	209,28
$\varepsilon$ , %	-37,26	-0,70	11,53	12,94	9,39	10,50	29,39	-4,25
Empirical calculation	134,04	573,66	44,32	413,73	32,09	261,25	41,64	219,51
$\varepsilon$ , %	-5,55	-1,76	0,03	-0,32	0,80	0,66	-0,04	0,43
sedan Honda Civic D4								
Experiment	136,91	628,58	49,33	465,50	34,98	286,44	43,27	229,77
Class. calculation	103,02	680,53	58,22	554,23	40,73	336,07	62,43	241,28
$\varepsilon$ , %	-24,75	8,26	18,01	19,06	16,44	17,33	44,27	5,01
Empirical calculation	146,05	640,92	49,93	467,42	35,97	293,38	45,89	242,72
$\varepsilon$ , %	6,68	1,96	1,23	0,41	2,85	2,42	6,05	5,63

As can be seen from the table, the proposed empirical method is much more accurate than the generally accepted classical method.

- 1) 1) measuring the run-down parameters of passenger cars from a speed of 50 km/h to a complete stop is possible only if there is a straight horizontal section of road more than 580...750 m long;
- 2) 2) the smallest variation in the run-down deceleration of the Honda Civic D4 is observed in the range from 20 to 30 km/h, the largest – from 10 km/h to a stop and from 50 to 40 km/h;
- 3) 3) depending on the length of the accessible straight horizontal section of the road, it is recommended to measure the coasting parameters of a passenger car in the speed ranges from 40 to 10, from 40 to 20 or from 30 to 10 km/h; approximate values of the Honda Civic D4 vehicle run-down standards in the specified speed ranges - according to table. 4;
- 4) 4) the travel distance and run-down time standards should be calculated using the method described here.

### REFERENCES

1. Rabinovich E.Kh., Volkov V.P., Belogurov E.A. (2010.) Estimation of resistance coefficients for vehicle movement along the run-out path // Ukrainian metrological journal. — No. 4. – P.47-52;
2. About coastdown measurement / [Electronic resource] / Access mode: [http://www.exp-rem.ru/files/faq/05-07-20\\_rem\\_faq\\_vybeg.htm](http://www.exp-rem.ru/files/faq/05-07-20_rem_faq_vybeg.htm);

3.Volkov V.P., Rabinovich E.Kh., Zybtev Yu.V. (2013). Road diagnostic modes for the Honda Civic 4d // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Automobile-tractor equipment. – Kh.: NTU “KhPI”,. – Bibliography: 12 titles;

4.Ryabkov A.I. Lavrenchenko V.N. (1984) Methodology for calculating the rolling resistance coefficient and the vehicle's loadability factor / Car industry - No. 3. - P. 19-20;

5.Rabinovich E.Kh., Volkov V.P., Zybtev Yu.V. [and others]. Measuring the moment of inertia of an automobile automatic transmission using the coasting method (2013) // Ukrainian metrological journal. — №2. — P. 28-33;

6.Alexander Divakov, Pavel Karin (2007). With a hint of... // Autoreview. – No. 13-14.

**Ю.В. Зибцев, П.А. Ворошилов. Аналіз вибігу легкового автомобіля модифікованим методом близьких швидкостей**

Контроль та діагностика технічного стану автомобілів є однією з найбільш важливих проблем. Недавні дослідження, проведені в ХНАДУ, підтверджують, що стан агрегатів трансмісії та ходової частини автомобіля можна оцінити за величиною шляху по вибігу. На цей шлях впливає безліч факторів, включаючи експлуатаційні та конструктивні особливості, а також аеродинамічні властивості та стан агрегатів. Стійке вдосконалення автомобільної техніки вимагає постійного оцінювання опору руху, що робить модифікований метод визначення близьких швидкостей актуальним. Дослідження показали, що для перевірки легкових автомобілів на вибігу зі швидкості 50 км/год до зупинки потрібна горизонтальна ділянка дороги довжиною понад 750 м, що не завжди доступно. Однак на коротших ділянках можна проводити вибіги з інших швидкостей. Також були внесені зміни в відомий метод аналізу вибігу, розроблені емпіричні формули для опорів повітря та кочення, що дозволяють розрахувати шлях і час вибігу набагато точніше, ніж за класичним методом. Результати експериментів дозволили удосконалити метод оцінки сумарних опорів при русі автомобіля по вибігу, розподіливши їх на складові: дорожні і аеродинамічні опори. Крім того, прогрес у технології транспортних засобів підкреслює важливість розробки комплексних діагностичних інструментів і процедур для забезпечення оптимальної продуктивності та безпеки. Це включає в себе інтеграцію передових датчиків і діагностичних систем у транспортні засоби для надання зворотного зв'язку про їхній стан у реальному часі, уможливлення проактивного технічного обслуговування та мінімізації ризику несподіваних збоїв.

**Ключові слова:** Вибіг автомобіля, тест автомобіля, час розгону, час руху накатом, шина, автомобіль.

*ЗИБЦЕВ Юрій Васильович*, інженер, старший викладач кафедри «Технічної експлуатації і сервісу автомобілів імені Говорущенко М.Я.» Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, e-mail: [dandz2805@gmail.com](mailto:dandz2805@gmail.com).

*ВОРОШИЛОВ Павло Андрійович*, студент, спеціальність: автомобільний транспорт, автомобільний факультет Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, e-mail: [voropasha01@gmail.com](mailto:voropasha01@gmail.com).

*Yuriy ZYBTSEV*, senior lecturer engineer, Department «Technical operation and service of cars named after prof. Govorushchenko N.Ya.» Kharkiv National Automobile and Road University, e-mail: [dandz2805@gmail.com](mailto:dandz2805@gmail.com).

*Pavlo VOROSHYLOV*, student, specialty: automobile transport, automotive faculty Kharkiv National Automobile and Road University, e-mail: [voropasha01@gmail.com](mailto:voropasha01@gmail.com).

DOI 10.36910/automash.v1i22.1346

Андрошук В.Д., Макаров В.А.  
*Вінницький Національний Технічний Університет*

## **ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ ВІДБОРУ ЗРАЗКІВ ВИКИДІВ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ІЗ СИСТЕМИ «ШИНА-ДОРОГА» АВТОМОБІЛІВ У РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ ВИПРОБУВАНЬ**

У роботі проведено аналіз впливу типів дорожнього покриття на знос та руйнування шин, а також на викиди твердих частинок під час перевезення робітників. Вивчено та порівняно різні типи покриття, такі як асфальтовані дороги, бруківка та гравійні дороги, з точки зору їх впливу на стан шин та викиди частинок. Проведений аналіз включає оцінку видів зносу та руйнування шин на різних типах доріг, враховуючи їх абразивність, гладкість та інтенсивність руху. Отримані результати дозволили вибрати найоптимальніші маршрути для перевезення робітників із місця проживання до місця роботи. Дослідження підкреслює важливість реалізації стратегій управління та підтримки дорожньої інфраструктури з метою зменшення негативного впливу на шини, дороги та довкілля в цілому.

**Ключові слова:** типи дорожнього покриття; знос шин; руйнування шин; викиди частинок; перевезення робітників; оптимальні маршрути; абразивність покриття; інтенсивність руху; аналіз впливу.

### **ВСТУП**

Тверді частинки у повітрі простору людської життєдіяльності довгий час вважаються шкідливими для навколишнього середовища та здоров'я мешканців. Зараз дорожній рух транспортних потоків автомобілів (ТПА) є основним джерелом появи таких частинок у містах. Світова тенденція до зменшення викидів вихлопних газів двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) призвела до того, що невихлопні викиди стали основним джерелом твердих частинок від дорожнього руху. Останнє особливо важливо, оскільки це джерело не підлягає жодному законодавчому регулюванню в Україні. Стандарт ISO/TS 22638 визначає лабораторний метод для визначення швидкості стирання і частинок зносу шин та руйнування дороги [1].

### **АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Шини [2] – складні композитні еластичні гумові вироби, є фінішною точкою контакту автомобіля з дорогою. Процес їх зношування визначається чотирьма основними факторами: самими шинами, транспортними засобами, умовами довкілля, станом доріг.

Трибологічні принципи, які впливають на знос гуми, включають втомний, тертєвий, адгезійний та хімічний знос. Розуміння цих механізмів є важливим для розробки методів тестування, зокрема на одноролікових стендах. Тертя та ковзання призводять до появи мікропорів і тріщин як на шинах, так і на дорозі, спричиняючи умови для інтенсифікації процесів зношування та первинного руйнування. Останнє відбувається, коли енергія тертя у зоні контакту перевищує енергію руйнування поверхні шини.

**Проблема дослідження:** перевезення робітників до ТОВ «ВІННИЦЬКА ПТАХОФАБРИКА» по дорогах з різним покриттям в сільській місцевості, що обумовлює особливо негативний викид частинок з системи «шина-дорога» в довкілля.

**Мета дослідження:** аналіз негативних викидів системи «шина-дорога» в умовах сільського довкілля.

### **ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Ціль даного дослідження полягає в аналізі впливу різних типів дорожнього покриття на знос шин, руйнування шин та викиди частинок під час перевезення робітників до ТОВ «ВІННИЦЬКА ПТАХОФАБРИКА». Для досягнення цієї цілі поставлено наступні завдання: провести дослідження зносу шин і руйнування шин на різних типах доріг; визначити вплив типу дороги на кількість викидів частинок; обрати оптимальні маршрути для перевезення робітників з урахуванням аналізу дорожніх умов; визначити фактори, які впливають на ефективність та безпеку перевезень у контексті зносу шин та викидів частинок. Подальше розглядання цих аспектів допоможе визначити оптимальні стратегії для мінімізації впливу дорожніх умов на швидкість зносу шин та руйнування шин, що є ключовими факторами забезпечення безпеки та ефективності дорожнього руху.

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Знос і руйнування шин та дорожнього покриття часто відбуваються одночасно, утворюючи близько половини загальних токсичних викидів колісного транспортного засобу (КТЗ). До викидів гуми в атмосферу відносять від 5% до 30%, при чому до 10% маси зносу шин припадає на частинки



розміром менше 10 мкм [3]. Дослідження вказують на різноманітність розмірів частинок продуктів зношування, що зумовлено відмінностями у методиках випробувань та системах вимірювання. Основними параметрами впливу на процес зношування шин є їх хімічний склад, структура, стан поверхні дороги, а також поздовжні та поперечні прискорення в зоні контакту колісного транспортного засобу з опорною поверхнею.

Для ефективного відбору факторів та вимірювання величин параметрів викидів необхідно забезпечити надійний транспорт частинок, що перевищують розмір 1 мкм, до місця збору зразків. Це необхідно з міркувань уникнення значних впливів ударів або седиментації. Різнобічний характер концентрацій твердих частинок є результатом різноманітних геометрій шин на ринку та умов руху, що ускладнюють отримання репрезентативних зразків. Особливо це стосується процесу випробувань, коли різноманітні початкові умови, такі як швидкість руху транспортного засобу та умови ТПА, переважають протягом циклу. Лише високий рівень однорідності, отриманий завдяки рівномірному розподілу частинок, забезпечує можливість відбору репрезентативних зразків, навіть при частковому їх відборі. Для досягнення цієї мети використовуються CVS системи (рисунок 1), які забезпечують подачу викинутих частинок у постійний об'ємний потік до каналу відбору зразків із вбудованим зондом. Це має вагомe значення з погляду транспортування частинок від місця їх викиду до місця їх відбору.

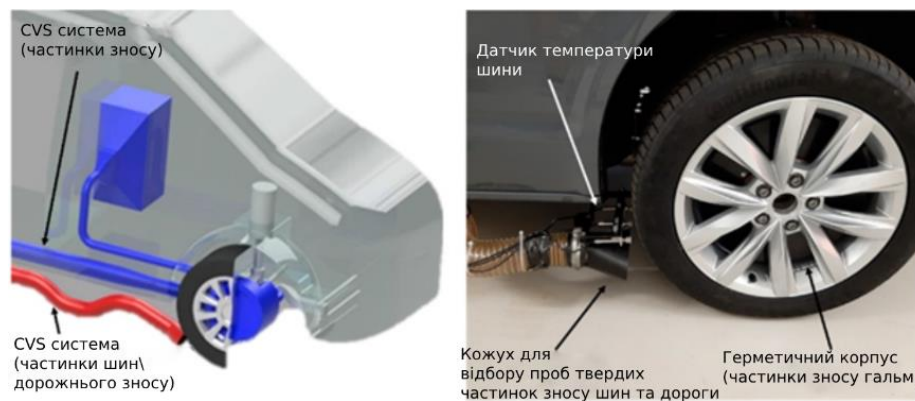


Рисунок 1 – Система щодо візуалізації потоку відбору проб для захоплення частинок зносу шини під час випробувань на дорозі: а) структура системи на автомобілі б) фрагмент системи за правим переднім колесом

Розглянемо методи відбору зразків викидів твердих частинок із автомобільних шин та дороги у різних середовищах випробувань [4].

#### Дорожнє вимірювання викидів частинок зношення шин

Для вимірювання масової концентрації частинок використовується аерозольний монітор TSI DustTrak II 8530 разом із попереднім сепаратором 10 мкм. Цей пристрій дозволяє оцінювати концентрацію частинок. Досліджувалась поведінка викидів в широкому спектрі навантажень, зокрема бічні прискорення  $\pm 0,1$  g;  $\pm 0,3$  g і  $\pm 0,5$  g на максимальних швидкостях 50 км/год. Хоча головними факторами, які впливають на рівень викидів, є маневри гальмування, збільшені значення також спостерігаються при певних прискореннях у діапазоні від 30 до 50 км/год. Найвищі концентрації спостерігаються при русі на поворотах з одночасним прискоренням або гальмуванням. Збільшення швидкості також суттєво впливає на викиди, навіть при невеликих прискореннях.

Досліджуються максимально бічні прискорення до 0,6 g на максимальних швидкостях 40 км/год з міркувань безпеки, і вони співпали з найвищими концентраціями. Тертя між шиною та дорогою перетворюється на теплову та механічну енергію, при цьому утворюються частинки розміром менше 10 мікрон. Використано TSI OPS 3330 для аналізу розмірного розподілу частинок у діапазоні від 0,3 до 10 мкм [5]. Залучає увагу збільшення концентрації частинок розміром 2–3 мкм при зростанні бічного прискорення, що пояснюється механічною енергією. Також вимірюються високі концентрації частинок  $< 1$  мкм при найвищих прискореннях. Хоча концентрації змінюються зі збільшенням напруги, діапазони розмірів частинок майже не змінюються.

Для порівняння результатів, отриманих на закритій дорозі, представлені вимірювання в циклі випробування реальних викидів. Виявлено, що значні піки концентрації не спостерігаються, оскільки поздовжні та бічні прискорення демонстрували низькі значення. Характеристики дорожнього покриття прямо відображають швидкість зносу. Величина викидів вимірюється протягом циклу випробування для оцінки впливу викидів із зовнішніх джерел. Інтенсивність тертя, що передається на



праву передню шину, порівнюється з відповідними значеннями викидів. Для спрощення враховується пропорційне співвідношення між передачею потужності та навантаженням на колесо кожної шини, використовуючи коефіцієнт статичного навантаження та динамічну зміну навантаження на шину.

Високі рівні викидів спостерігаються при низькій силі тертя, можливо, що пов'язано із забрудненням дорожнього покриття. Незважаючи на те, що реакція викидів на силу тертя менша, деякі ефекти подібні до тих, що спостерігались на тестовій доріжці (наприклад, висока концентрація при поворотах). Підвищена концентрація твердих частинок спостерігається на ділянках з підвищеною силою тертя, особливо у міських умовах (рисунок 2).

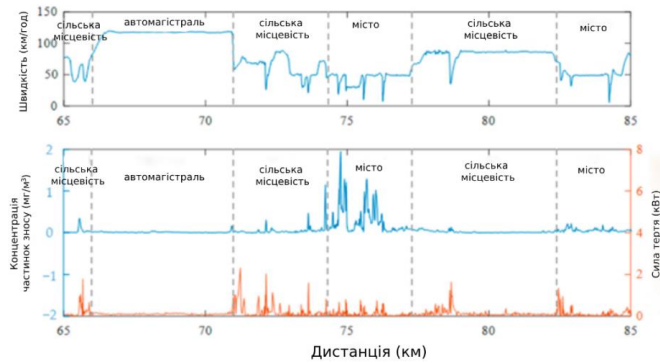


Рисунок 2 – Візуалізація кореляційної залежності між параметрами руху та виміряною масовою концентрацією твердих частинок

Відповідно до рисунку 2 рівні викидів виміряні в сільській місцевості та на ділянках шосе є значно нижчими ніж на інших типах доріг. Ділянки автомагістралі, які характеризуються набагато більш постійною швидкістю руху та меншими кутами повороту, демонструють мало піків викидів, за винятком випадків прискорення та гальмування. Підсумовуючи, велика частка викидів, виміряних під час випробувань на дорозі, є результатом роботи, спричиненої шинами, або походить від зовнішніх джерел викидів (наприклад, процеси згоряння двигуна внутрішнього згорання). Тим не менш, не можна зробити чітких висновків щодо порівняння різних джерел викидів за допомогою вимірювальної установки, оскільки їх неможливо чітко розділити. Найточнішим твердженням, яке можна було зробити щодо параметрів впливу, було те, що великий рівень інтенсивності руху ТПА та висока щільність маневрів КТЗ сприяли викиду частинок гальм, шин та асфальту.

#### Лабораторне вимірювання викидів частинок зносу шин

Даний метод використовує випробувальний стенд (рисунок 3) з одним роликом для динамічного моделювання сили й коефіцієнтів ковзання, опору руху та кутів ковзання [6].

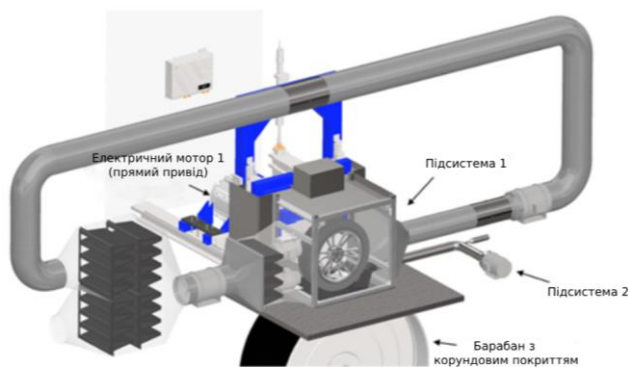


Рисунок 3 – Фрагмент випробувального стенду для аналізу швидкості зношення та коефіцієнтів викидів твердих частинок шин та дороги

Це дозволяє оцінювати окремі параметри чи цілі цикли випробувань у відтворюваних умовах, що відображають швидкість зносу та коефіцієнти викидів твердих частинок. Система подвійного розведення поєднує в собі переваги більш реалістичних умов охолодження й оптимальних умов відбору проб.

Перша підсистема використовується для охолодження шин за допомогою регульованого потоку, а друга — для всмоктування твердих частинок напряму від контакту шина-ролик і для

транспортування частинок до вимірювальної системи. Додатково, система включає фільтри перед входом у кожух шини для зменшення фонові концентрації частинок зовнішнього середовища.

У камері з фільтрованим повітрям створюється надлишковий тиск за допомогою регульованої системи вентиляторів для запобігання забрудненню частинками. Контроль температури й вологості здійснюється системою кондиціонування повітря у випробувальній камері. Для втілення динамічних реальних циклів водіння використовується обчислювальна система в реальному часі. Крім того, можна регулювати кут ковзання на  $\pm 2^\circ$  [7].

Барабан з корундовим покриттям відтворює дорожнє покриття, що дозволяє вибірково аналізувати тверді частинки. Це спрощує частину змодельованого циклу тестування для ілюстрації функціональності. Низька фонові концентрація частинок дозволяє онлайн-аналізувати найдрібніші викиди і перетворення енергії.

Дорожні умови також істотно впливають на фактичні контактні поверхні. На більш гладкій поверхні ролика спостерігається рівномірний розподіл тиску в контакт з дорогою. Контактна поверхня асфальтової дороги характеризується нерівностями, що призводить до зменшення ефективної поверхні контакту при збільшенні точності макрозіймки та контактного тиску на піках текстури. Зниження тиску в шинах збільшує ефективну площу контакту з поверхнею стелу більш значуще ніж на асфальтовій дорозі. Площа поверхні зростає зі зниженням тиску накачування шин, проте глибина проникнення між піками шорсткості зменшується через зниження контактного тиску.

### **ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Для забезпечення максимально репрезентативних та інформативних результатів дослідження викидів твердих частинок, було ретельно обрано маршрути з різними типами дорожнього покриття. Враховуючи різноманіття дорожніх умов, була визначена більша сукупність доріг для охоплення широкого спектру факторів, що впливають на процес зносу шин та викиди частинок, що досліджуються.

В процесі вибору маршрутів були враховані наступні аспекти:

- типи покриття: вибір доріг із різними типами покриття (асфальт, бруківка, гравій) дозволяє охопити різноманітність умов експлуатації, що може впливати на процеси зносу та викиди; покриття мають різні характеристики тертя та абразивності;

- інтенсивність руху ТПА: врахування доріг з різною інтенсивністю руху, включаючи як високонавантажені автомагістралі, так і менш інтенсивні місцеві дороги, дозволяє оцінити вплив об'єму транспорту на процеси зношування і руйнування шин і дороги та викиди частинок матеріалу на поля.

Для деталізації дослідження та врахування практичного досвіду водіїв, які здійснюють перевезення робітників до ТОВ «ВІННИЦЬКА ПТАХОФАБРИКА», проводилось опитування.

Опитування водіїв, здійснюючих перевезення робітників, було проведено за допомогою структурованої анкети, яка враховувала їхні враження від різних маршрутів із різними типами дорожнього покриття. Водії обрали раціональні маршрути руху для перевезення робітників, враховуючи дорожні умови, час перевезення, та загальний комфорт.

З урахуванням більшої сукупності доріг, було отримано наступні результати:

- асфальтовані дороги: 68% водіїв визначили асфальтовані дороги як оптимальні через покращену якість покриття та зручність руху;

- бруківка: 22% водіїв обрали маршрути через дороги з бруківкою, вказавши на їхню меншу інтенсивність руху, розміщення біля села робітників та естетичний вигляд;

- гравійні дороги: 10% водіїв вибрали гравійні дороги, пояснюючи це більш коротким маршрутом.

Грунтуючись на результатах опитування з дослідження були виключені дороги, які мало використовуються або мають обмежений доступ.

З урахуванням результатів опитування та аналізу дорожніх умов були визначені два найоптимальніші маршрути для перевезення робітників від Тульчина до Ладжина. Ці маршрути враховують різноманітність дорожнього покриття та інтенсивність руху, забезпечуючи комфорт та ефективність подорожі.

Обрано наступні маршрути:

- Тульчин - Холодівка - Заозерне – Ладжин; маршрут характеризується наступним: асфальтованою дорогою; інтенсивністю руху: висока; (78% водіїв визначили цей маршрут як найшвидший та найзручніший).

•Тулчин - Клебань - Богданівка – Ладжин. Маршрут характеризує типом дороги: бруківка, гравійна дорога, асфальтована дорога; інтенсивність руху середня; (22% водіїв обрали цей маршрут через меншу інтенсивність руху та більш короткий маршрут).

Ці два маршрути надають можливість враховувати вплив різних типів доріг на зношування та руйнування шин і дороги та викиди частинок під час перевезення робітників до ТОВ «ВІННИЦЬКА ПТАХОФАБРИКА».

Одним із ключових аспектів дослідження впливу різних типів дорожнього покриття на транспортні засоби є оцінка виду зносу та руйнування шин. Враховуючи різноманітність доріг із різними типами покриття, було проведено аналіз впливу кожного типу на стан шин під час перевезення робітників. Результати аналізу наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Аналіз впливу типів доріг та знос та руйнування шин

Тип дороги	Вид зносу	Руйнування шин
Асфальтовані дороги	Асфальтовані дороги, завдяки гладкому та однорідному покриттю, сприяють рівномірному виду зносу шин, забезпечуючи тривалий термін служби. Однак, висока інтенсивність руху може збільшити загальний обсяг зносу.	Мінімальний ризик руйнування, оскільки асфальт добре адаптується до шин і не створює значних ударних навантажень.
Бруківка	Бруківка може спричинити збільшений абразивний знос, особливо при високій швидкості або інтенсивному гальмуванні. Нерівномірність поверхні може призводити до різних видів зносу.	Підвищений ризик руйнування через нерівності бруківки, які можуть викликати пошкодження боковин та протектора шини.
Гравійні дороги	Гравій може викликати інтенсивний абразивний та ударний знос, зокрема на великих швидкостях. Зношені гравійні частинки можуть пошкоджувати шар протектора.	Підвищений ризик руйнування через удари та вплив великого та гострого гравію.

Проведений аналіз впливу типів доріг на знос та руйнування шин надав важливі висновки для подальших досліджень. Асфальтовані дороги виявилися найбільш сприятливими для тривалого терміну служби шин, завдяки гладкому та однорідному покриттю, при цьому маючи мінімальний ризик руйнування. Бруківка, хоча може призводити до підвищеного абразивного зносу, однак має підвищений ризик руйнування шин через нерівномірності поверхні. Гравійні дороги демонструють інтенсивний абразивний та ударний знос, що може призводити до підвищеного ризику руйнування шин. Останні два види доріг використовуються, якщо вони наближені до місця мешкання робітників.

## ВИСНОВКИ

На основі наведеної інформації можна очікувати значно меншу швидкість зношування під час випробувань на стенді з одним роликом, ніж під час випробувань на дорозі. Очікувані відхилення через обмежений кут ковзання підтвердилися вимірюванням. Хоча функціональність випробувального стенду з одним роликом для визначення ступеню кореляції була доведена, швидкість зносу відхиляється на коефіцієнт >5 від вимірювань під час реального випробування на водінні.

Отже, було проаналізовано та детально описано методи вимірювання викидів твердих частинок зношення шин та дороги у різних середовищах. Було надано результати проведених досліджень, що базувались на описаних методах.

Також було здійснено вибір оптимального маршруту для перевезення робітників, що має важливе значення для мінімізації впливу на знос та руйнування шин. Було враховано типи дорожнього покриття, інтенсивність руху та обрано найкращі маршрути на основі опитування водіїв.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1.Стандарт ISO/TS 22638 [Електронний документ]. Режим доступу: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:ts:22638:ed-1:v1:en>
- 2.Zhang, Xinfeng, Ping Chen, and Fengyang Liu. "Review of tires wear particles emission research status." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 555. No. 1. IOP Publishing, 2020.
- 3.FeiBel, T.; Kunze, M.; Hesse, D.; Ivanov, V.; Augsburg, K.; Gramstat, S. On-Road Vehicle Measurement of Tire Wear Particle Emissions and Approach for Emission Prediction. In Proceedings of the 40th Annual Meeting of the Tire Society, Akron, OH, USA, 2 September 2021.
- 4.Huang, H. Study on the Mechanism of Tire Abnormal Wear and Life Prediction. Ph.D. Thesis, Tongji University, Shanghai, China, 2007.

5. Optical Particle Sizer (OPS) 3330 [Elektronnyy dokument]. Rezhim dostupu: [https://tsi.com/products/particle-sizers/supermicron-capable-particle-sizer-spectrometers/optical-particle-sizer-\(ops\)-3330/](https://tsi.com/products/particle-sizers/supermicron-capable-particle-sizer-spectrometers/optical-particle-sizer-(ops)-3330/)

6. Wagner, S.; Hüffer, T.; Klöckner, P.; Wehrhahn, M.; Hofmann, T.; Reemtsma, T. Tire wear particles in the aquatic environment—A review on generation, analysis, occurrence, fate and effects. *Water Res.* 2018, 139, 83–100.

7. Hesse, D. Beitrag zur Experimentellen und Analytischen Beschreibung Partikelförmiger Bremsenemissionen. Ph.D. Thesis, Technische Universität Ilmenau, Ilmenau, Germany, 2020.

#### REFERENCES

1. Standart ISO/TS 22638 [Elektronnyy dokument]. Rezhim dostupa: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:ts:22638:ed-1:v1:en>

2. Zhan, Xinfeng, Ping Chen, i Fengyang Liu. "Rekomendatsiya zapisey, kotoryye sodержat emissiyu issledovaniya statistiki." IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 555. No. 1. IOP Publishing, 2020.

3. Feißel, T.; Kunze, M.; Hesse, D.; Ivanov, V.; Augsburg, K.; Gramstat, S. On-Road Vehicle Measurement of Tire Wear Particle Emissions and Approach for Emission Prediction. V protsedurakh 40-y godovshchiny poseshcheniya magazina kompanii, Akron, OH, USA, 2 September 2021.

4. Khuang, KH. Studiya na tekhnike prodolzhitel'nosti prodolzhitel'nosti zhizni i zhizni. Ph.D. Thesis, Tongji University, Shankhay, Kitay, 2007.

5. Optical Particle Sizer (OPS) 3330 [Elektronnyy dokument]. Rezhim dostupa: [https://tsi.com/products/particle-sizers/supermicron-capable-particle-sizer-spectrometers/optical-particle-sizer-\(ops\)-3330/](https://tsi.com/products/particle-sizers/supermicron-capable-particle-sizer-spectrometers/optical-particle-sizer-(ops)-3330/)

6. Wagner, S.; Hüffer, T.; Klöckner, P.; Wehrhahn, M.; Hofmann, T.; Reemtsma, T. Tire wear particles in the aquatic environment—A review on generation, analysis, occurrence, fate and effects. *Water Res.* 2018, 139, 83-100.

7. Hesse, D. Beitrag zur Experimentellen i Analytischen Beschreibung Partikelförmiger Bremsenemissionen. Ph.D. Thesis, Tekhnicheskii universitet Il'menau, Il'menau, Germaniya, 2020.

#### **Androshchuk V.D., Makarov V.A. Comparison of methods for sampling particulate matter emissions from the tire-road system of automobiles in different test environments**

The work analyzes the impact of road surface types on tire wear and tire failure, as well as on particulate matter emissions during the transportation of workers. Different types of pavement, such as asphalt roads, paved roads, and gravel roads, are studied and compared in terms of their impact on tire condition and particle emissions. The analysis includes an assessment of the types of tire wear and failure on different types of roads, taking into account their abrasiveness, smoothness and traffic volume. The results allowed us to select the most optimal routes for transporting workers from their homes to their workplaces. The study emphasizes the importance of implementing road infrastructure management and maintenance strategies to reduce the negative impact on tires, roads, and the environment as a whole.

The conducted studies demonstrate the effectiveness of the developed method for analyzing the impact of different types of road surfaces on tire wear and destruction. The proposed quantitative methodology makes it possible to assess the degree of influence of asphalt, paved, and gravel roads on tire wear and particle emissions in real conditions.

Experimental studies show that the type of road surface affects the uniformity of tire wear and destruction, as well as the amount of wear particles emitted into the environment. The results of the analysis indicate a significant impact of the road type on the condition of tires and environmental safety. The use of this methodology will allow designers and manufacturers of automobile tires and road surfaces to improve the quality of their products and reduce the negative impact on the environment.

**Key words:** types of road surfaces; tire wear; tire destruction; particle emissions; transportation of workers; optimal routes; abrasiveness of the surface; traffic intensity; impact analysis.

*АНДРОЩУК Віктор Дмитрович*, студент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, спеціальності 275 - транспортні технології, Вінницький національний технічний університет, e-mail: androshchukvictor@gmail.com. <https://orcid.org/0009-0005-1312-2132>

*МАКАРОВ Володимир Андрійович*, доктор технічних наук, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: makarov@vntu.edu.ua. <https://orcid.org/0000-0002-7012-4952>.

*Viktor ANDROSHCHUK*, student of the Department of Automobiles and Transport Management, specialty 275 - Transport Technologies, Vinnytsia National Technical University, e-mail: androshchukvictor@gmail.com. <https://orcid.org/0009-0005-1312-2132>

*Volodymyr MAKAROV*, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: makarov@vntu.edu.ua. <https://orcid.org/0000-0002-7012-4952>.

DOI 10.36910/automash.v1i22.1347



Андрусенко С.І.<sup>1</sup>, Дембіцький В.М.<sup>2</sup>, Будниченко І.В.<sup>1</sup>, Дикий В.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний транспортний університет, м.Київ, Україна,

<sup>2</sup>Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОБУСІВ НА АВТОБУСНИХ ТА ТРОЛЕЙБУСНИХ МАРШРУТАХ У МІСТАХ

Проаналізовані можливості та економічна ефективність використання різних типів транспортних засобів з електричними силовими установками та двигунами внутрішнього згоряння, які можуть працювати на міських маршрутах пасажирських перевезень з повною або частковою відсутністю контактної мережі.

Порівнювались витрати на експлуатацію електробуса Богдан Е7014; тролейбуса PTS T12309; автобусів МАЗ 203 з дизелем та газового; тролейбуса з автономним ходом PTS-T12.

Оцінювались сукупні витрати на: пальне та електроенергію на рух; амортизацію ТЗ та тягової акумуляторної батареї; додаткове будівництво і утримання контактної мережі та тягових підстанцій; заробітну плату працівників з ТО та ремонту рухомого складу та водіїв; експлуатаційні матеріали та шини.

Показано, що ТЗ на електричній тязі є більш економічними по витратам на енергоносії. Але за сукупними витратами найбільш дорогим виявився електробус із-за більшої вартості. Найдешевшим в експлуатації є газовий автобус.

При частці автономного ходу менше 50% тролейбус з автономним ходом є більш вигідним ніж дизельний автобус.

При існуючому співвідношенні вартостей окремих складових експлуатації, добування додаткової тролейбусної лінії для використання звичайного тролейбуса може бути більш вигідною ніж використання дизельного автобуса при автономному ході до 25%, і більш вигідним ніж використання електробуса до, приблизно, 45% автономного ходу. Але при всіх варіантах найбільш економічним є використання газового автобуса, потім тролейбуса з автономним ходом.

Заміна автобусів на електробуси на теперішній момент виглядає проблематичною із-за відсутності необхідної електричної потужності та зарядної інфраструктури в автобусних парках. Але є надлишок електричної потужності і інфраструктури в тролейбусних парках. Тому альтернативою електробусу є використання тролейбусів з автономним ходом, які мають тягові акумуляторні батареї значно меншої ємності, та яка може заряджатись під час руху. Таку заміну доцільно організувати особливо там, де тролейбусні маршрути частково співпадають з автобусними.

**Ключові слова:** електробус, автобус, електрочарядна інфраструктура, тролейбус, автономний хід, тягова акумуляторна батарея, витрати на експлуатацію, вибір

### ВСТУП

У відповідності до Закону України «Про деякі питання використання транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, та внесення змін до деяких законів України щодо подолання паливної залежності і розвитку електрочарядної інфраструктури та електричних транспортних засобів» [1] передбачено, що на міських автобусних маршрутах загального користування у містах із загальною чисельністю населення понад 250 тисяч осіб кількість електробусів та/або автобусів, оснащених двигунами внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням, що працюють виключно на стисненому природному газі метані, зрідженому природному газі метані або біогазі, та/або автобусів з водневим паливним елементом (коміркою) у відсотковій частці серед парку автобусів повинна становити не менше ніж 25 відсотків на 1 січня 2030 року, не менше ніж 50 відсотків на 1 січня 2033 року, якщо рішення щодо інших часток та/або інших термінів не було ухвалено органами місцевого самоврядування відповідних міст.

Також забезпечення розвитку електромобілів та інфраструктури станцій зарядки електромобілів визначається пріоритетом формування державної політики у сфері автомобільного транспорту.

Державним та комунальним комерційним підприємствам, суб'єктам господарювання державного сектору економіки до 31 грудня 2024 року предписано забезпечити існуючі об'єкти, що перебувають у власності відповідних суб'єктів або закріплені за відповідними суб'єктами на праві господарського відання, необхідною договірною потужністю та станціями зарядки електромобілів на існуючих автостоянках, у гаражах та інших місцях для паркування (крім тих, що використовуються виключно такими суб'єктами) відповідно до їх нормативної чисельності, передбаченої для подібних об'єктів у разі їх будівництва та/або реконструкції, та відповідно до програм розвитку електрочарядної інфраструктури.



До перевезень пасажирів на міських автобусних маршрутах загального користування в режимі регулярних пасажирських перевезень у містах районного та обласного значення з 1 січня 2036 року допускаються виключно електробуси (в тому числі електробуси з подовженим запасом ходу) та/або автобуси, оснащені двигунами внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням, що працюють виключно на стисненому природному газі метані, зрідженому природному газі метані або біогазі, та/або автобуси з водневим паливним елементом (коміркою), якщо рішення щодо інших термінів не було ухвалено органами місцевого самоврядування відповідних міст.

У містах з населенням понад 250 тисяч осіб:

з 1 січня 2028 року заборонено здійснювати закупівлю у сфері громадського транспорту понад 50 відсотків автобусів з двигунами внутрішнього згоряння (крім автобусів, оснащених двигунами внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням, що працюють виключно на стисненому природному газі метані, зрідженому природному газі метані або біогазі, та автобусів з водневим паливним елементом (коміркою) протягом календарного року, якщо рішення щодо інших часток та/або інших термінів не було ухвалено органами місцевого самоврядування відповідних міст;

з 1 січня 2030 року заборонено здійснювати закупівлю у сфері громадського транспорту автобусів з двигунами внутрішнього згоряння (крім автобусів, оснащених двигунами внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням, що працюють виключно на стисненому природному газі метані, зрідженому природному газі метані або біогазі, та автобусів з водневим паливним елементом (коміркою), якщо рішення щодо інших термінів не було ухвалено органами місцевого самоврядування відповідних міст.

В усіх інших населених пунктах з 1 січня 2030 року заборонено здійснювати закупівлю у сфері громадського транспорту автобусів з двигунами внутрішнього згоряння на дизельному пальному.

Постає питання визначення структурних можливостей та економічної доцільності на теперішній момент швидкого впровадження використання електробусів для регулярних перевезень у містах, а також визначення альтернатив використанню таких транспортних засобів (ТЗ).

#### **АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Аналіз відомих публікацій показує, що в останні роки виконано багато досліджень, присвячених питанням ефективності експлуатації та енергоефективності електричних і інших транспортних засобів (ТЗ), які використовуються для міських пасажирських перевезень. Аналіз цих робіт свідчить, що показники ефективності, які розглядалися, можна розділити на дві групи: технічні - відносно стабільні, які залежать переважно від фізичних властивостей ТЗ та їх складових і значно не змінюються в часі [2-8], та економічні - нестабільні, величина яких в більшій мірі залежить від економічної кон'юнктури, яка визначає зокрема, ціни на складові експлуатації ТЗ [9-16]. До першої групи відносяться такі показники, як енергоспоживання ТЗ у фізичному вимірі – кількість електроенергії або пального, спожитих в одиницю часу або на одиницю шляху. До другої групи входять, наприклад, витрати на експлуатацію ТЗ, які визначаються вартістю суттєвих складових експлуатації, таких, як вартості ТЗ, енергоносіїв, робочої сили. Ці фактори можуть суттєво змінюватись у залежності від часу та місця проведення аналізу.

**МЕТОЮ ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ** є оцінка можливості та економічної доцільності використання електробусів на автобусних та тролейбусних маршрутах у містах під час регулярних перевезень на певний момент часу.

#### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Як вже вказувалось авторами раніше [13-16], критеріями вибору напрямів розвитку транспортної інфраструктури міст та придбання рухомого складу пасажирських перевезень мають бути екологічність, економічна ефективність, зручність, надійність та перспективність обраних рішень.

Економічна ефективність у цьому дослідженні оцінювалась питомими прямими витратами на експлуатацію рухомого складу пасажирського транспорту в грн/км [13-16], а можливості – теперішнім станом інфраструктури транспорту, а також подальшими витратами і перспективами її розвитку у періоди часу, передбаченими Законом [1].

Для оцінювання економічної ефективності запропонованих заходів [1] порівнювались прямі питомі витрати на експлуатацію таких видів пасажирських транспортних засобів, як електробуси, тролейбуси з живленням від контактної мережі, тролейбуси з автономним ходом, автобуси дизельні та газові. При цьому для виключення впливу інших факторів обирався рухомий склад орієнтовно однакової маси та розмірів, який експлуатується в одному або ідентичних за обсягами діяльності

підприємствах міського пасажирського транспорту на одному або подібних маршрутах. Для усунення впливу ціни транспортного засобу на експлуатаційні витрати, яка є суттєво суб'єктивним фактором, об'єктивно і однозначно не характеризує собівартість виробництва та фізичні властивості ТЗ, прийнята орієнтовно однакова вартість різних ТЗ подібних розмірів.

Як складові експлуатаційних витрат розглядалися: витрати на паливо та електроенергію на рух; величина амортизації ТЗ та тягової акумуляторної батареї (ТАБ), як складова собівартості експлуатації; витрати на додаткове будівництво та утримання наявної контактної-кабельної мережі та тягових підстанцій для руху тролейбусів; витрати на заробітну плату з нарахуваннями працівників, які безпосередньо виконують роботи з ТО та ремонту рухомого складу, та водіїв – у разі різної заробітної плати водіїв різних видів ТЗ; витрати на експлуатаційні матеріали та шини.

Виконувався порівняльний аналіз витрат на експлуатацію таких типів рухомого складу, як: електробус типу Богдан Е7014; тролейбус типу PTS Т12309; автобус МАЗ 203 з дизелем; автобус МАЗ 203965 газовий; тролейбус з автономним ходом PTS-Т12. Розрахунок прямих витрат на експлуатацію ТЗ виконувався з використанням методики, описаної у [13].

Наведемо деякі особливості конструкції та експлуатації різних типів рухомого складу пасажирського транспорту та їх характеристики, які будуть потрібні для подальших розрахунків.

Електробуси однакової довжини з дизельними автобусами або тролейбусами мають меншу пасажиромісткість, що викликано обмеженням по масі ТЗ та навантаженню на дорогу із за великої ваги тягових акумуляторних батарей [17]. Наприклад, електробус Богдан Е701 довжиною 12 метрів важить 18,5 т і вміщує максимально 80 пасажирів, має ТАБ на 300 кВт\*год та оголошений запас ходу 250 км [18]. Дизельний автобус Богдан А70132 довжиною 12 м має повну масу 18,5 т, двигун 194 кВт, вміщує 106 пасажирів [19].

В [9,17] проаналізовані основні параметри тролейбусів з АХ, обладнаних тяговими АКБ. Показано, що за рахунок процесу рекуперації під час гальмування можна заощадити до 20 % електричної енергії порівняно з класичними тролейбусами. Те ж саме спостерігається і в електробусах. Хоча загальна вартість тролейбусів з АХ є дещо більшою, ніж традиційних тролейбусів, витрати на їх експлуатацію, зокрема на технічне обслуговування, загалом менші.

Для заряджання тягових АКБ тролейбусів з АХ енергоємністю 30–35 кВт\*год від тролейбусної мережі потужністю 120 кВт за умови середньої швидкості руху 14–18 км/год необхідні ділянки маршруту, покриті тяговою мережею, протяжністю не менше 30–35 % усієї довжини [9,17]. А при збільшенні зарядної потужності мережі до більш оптимальної у 250 кВт достатньо покриття тяговою мережею усього 20 % маршруту. Але збільшення зарядної потужності тролейбусної мережі більш ніж удвічі в багатьох випадках потребуватиме оновлення існуючої інфраструктури та відповідного фінансування.

Тролейбус БКМ-321 для забезпечення автономного руху на ділянках маршрутів протяжністю до 20 км обладнують тяговими АКБ енергоємністю 40 кВт год., маса яких 960 кг, або тяговими суперконденсаторами (СК), відповідні параметри яких 34 кВт год та маса 1400 кг [20]. Тягові АКБ типу LiFePO<sub>4</sub> тролейбусів з АХ 4-го покоління базової моделі БКМ-420 при тій же енергопотужності мають масу 650 кг. Отже, при однаковій повній конструктивній масі номінальна пасажиромісткість тролейбусів з АХ, обладнаних тяговими АКБ, більша на 6–11 чол. при розрахунковій масі 1-го пасажирів 68 кг.

За даними, наведеними у [17] вартість тягових СК енергоємністю 1,0 кВт год. становить до 2 000 дол. США, а тягових АКБ типу NiCd (нікель-кадмієвих) – 800–1500 дол. США, типу Li-Ion (літійіонних) – 600–2500 дол. США. Вартість 1,0 кВт год. тягових АКБ типу LiFePO<sub>4</sub> (літійзалізо-фосфатних), якими найчастіше обладнуються тролейбуси з АХ, зокрема, такими обладнані тролейбуси модифікації БКМ-420, 400–600 дол. США [17].

Питома усереднена витрата електроенергії на рух тролейбусів за даними, наведеними у роботі [17], для тролейбусів різних моделей становить  $0,140-0,168)10^{-3}$  кВт год/км кг. Тобто для тролейбусів довжиною 12 м і масою 18 т складе 2,52 – 3,0 кВт год/км. З урахуванням усіх витрат електроенергії на власні нужди для забезпечення надійної роботи конструктивна ємність ТАБ для електробуса на базі тролейбуса PTS-12 має бути прийнята 3,8 кВт\*год/км, що з ймовірністю 0,99 забезпечить безвідмовну роботу ТАБ [21,22].

Вихідні дані для розрахунку питомих витрат на експлуатацію різних типів рухомого складу ТЗ для пасажирських перевезень з різними енергетичними установками наведені в табл. 1.

Так як досліджувався вплив частки автономного ходу на питомі прямі експлуатаційні витрати, методика [13] удосконалена врахуванням необхідних витрат на добудову тролейбусної лінії, де вона

відсутня, і без якої звичайний тролейбус не може працювати. Тобто з'явилась можливість орієнтовно оцінити що є більш вигідним – використовувати ТЗ, які не потребують контактної мережі (автобуси, електробуси), тролейбуси з автономним ходом, або добудувати контактну мережу і використовувати звичайний тролейбус. Вартість такої добудови значно відрізняється в різних пропозиціях [23, 24] у межах 100-900 тис. євро за кілометр двосторонньої тролейбусної лінії.

Прямі витрати на експлуатацію різних видів в ТЗ проілюстровані на рис.1.

Таблиця 1 - Вихідні дані для розрахунку прямих питомих витрат на експлуатацію різних типів рухомого складу ТЗ для пасажирських перевезень з різними енергетичними установками

Показники	Тип транспортного засобу (ТЗ)				
	Тролейбус PTS T12309	Автобус дизель MAZ 203	Тролейбус з АХ PTS-T12	Електробус с Богдан Е701	Автобус MAZ 203965 газ
2	3	4	7	8	9
<b>Первісна/переоцінена вартість ТЗ, т.грн</b>	8000	8000	8000	8000	8500
Залишкова вартість ТЗ, тис.грн	800	800	800	800	850
Довжина маршруту, км	<b>10</b>				
Вартість будівництва додаткової тролейб.лінії, тис.євр	<b>100</b>				
Пасажиромісткість мах, пас.	102	105	77	80	106
Сер.швидкість на маршруті, км/год	20	20	20	20	20
Споряджена / повна маса, т.	18	18	18,6	18,5	18,5
Термін корисного використання ТЗ, рок.	10	10	10	10	10
<b>Вартість ТАБ, будівництва трол.лінії, тис.грн</b>	<b>10000</b>		1200	6000	
Ресурс, мотогодин, циклів			5000	5000	
Пробіг за 1 цикл зарядки, км			30	150	
Витрати електроенергії на тягу,квт-год/км	2,5		2,5	2,5	
Витрати пального при роботі на маршруті, л(м3)/100км		38			42
Вартість дизель/газ пального,грн/л(м3)		51			27
Вартість електроенергії, грн/квт-год	2,68		2,68	2,68	
Середньодобовий пробіг, км	168,2	168,2	168,2	168,2	168,2
Час простою ТЗ в ТО та Р на 1000км	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Коефіцієнт техн.гот. (КТГ) РС	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89
Річний пробіг одиниці РС, тис-км	54,926	54,926	54,926	54,926	54,926
<b>Частка маршруту на автономн.ході</b>	<b>0,25</b>	<b>1,00</b>	<b>0,25</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
Пит. трудоміст. ТО ТЗ,люд-год/1000км	25	15,3	25	25	18,3
Пит. Трудоміст. Ремонту ТЗ,л-год/1000км	8	11	8	8	11,85
Питома труд.ТО АКБ, л-год/1000км			0,5	0,5	
Зарплата водія, грн	16000	16000	16000	16000	16000
Зарплата контролера, грн	6700	6700	6700	6700	6700
Зарплата рем.робітника, грн	16000	16000	16000	16000	16000
Сукупна вартість 1 н-год ТО та Р, грн	137,91	137,91	137,91	137,91	137,91
Кількість колес на ТЗ	6	6	6	6	6
Вартість однієї шини, грн	4700	4700	4700	4700	4700
Норма пробігу шини, тис.км	70	70	70	70	70
Питомі витрати на утримання тягових підстанцій та конт-каб мережі, грн/км	9		9	9	
Інші питомі прямі витрати, тис.грн	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78

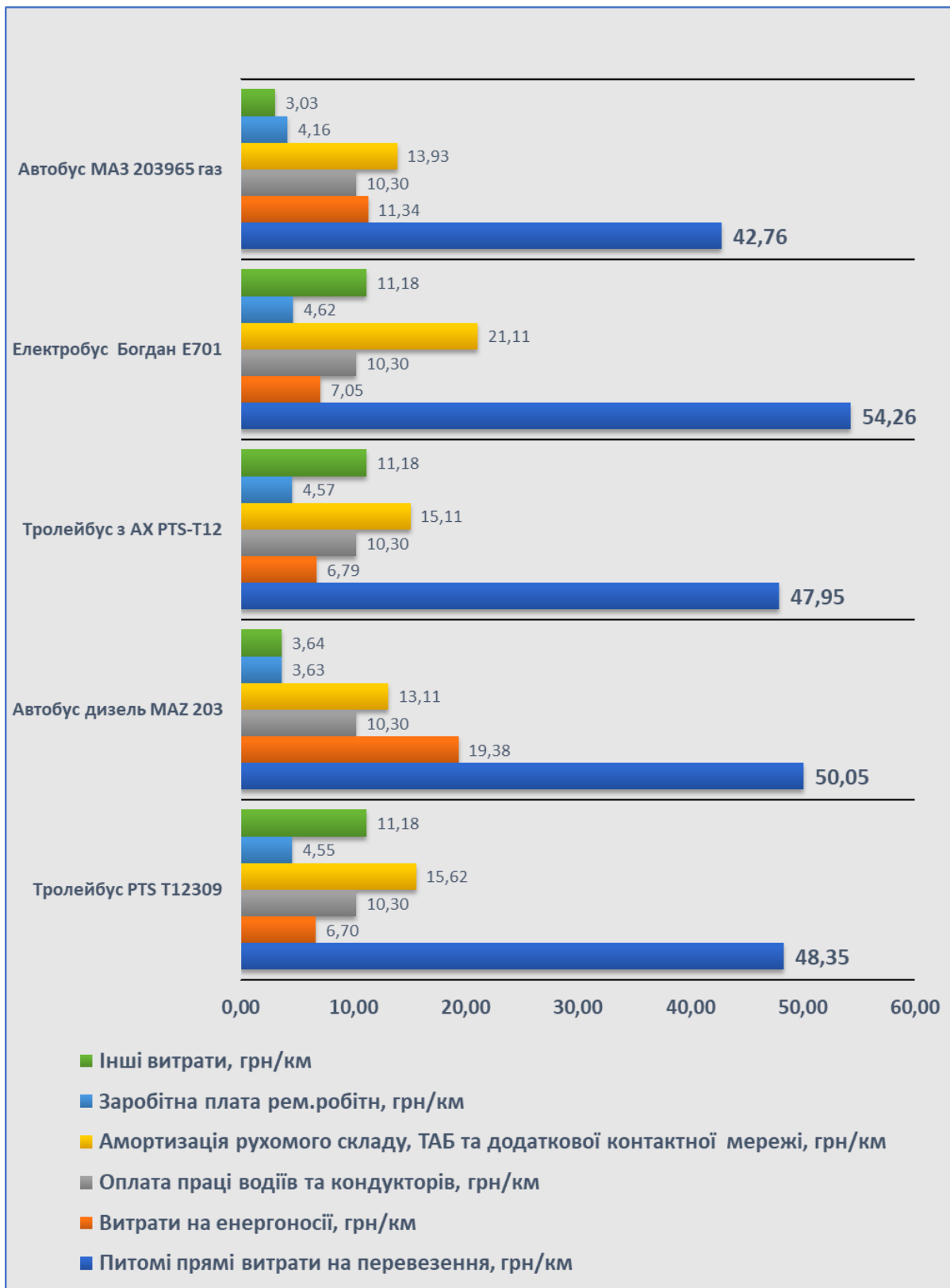


Рисунок 1 –Питомі прямі витрати на експлуатацію різних видів ТЗ та їх основні складові при 25% автономного ходу

Аналіз графіків на рис.1 показує, що в порядку збільшення сукупних прямих витрат на експлуатацію при 25% автономного ходу ТЗ розташовуються в наступному порядку: 1-автобус МАЗ газовий 42,76 грн/км; 2- тролейбус РТС з АХ 47,95 грн/км; 3- тролейбус РТС звичайний 48,35 грн/км; 4-автобус МАЗ дизельний 50,05 грн/км; 5-електробус Богдан 54,26 грн/км.

Разом з тим по витратах на енергоносії ТЗ розташовуються наступним чином: 1-тролейбус РТС звичайний 6,7 грн/км; 2-тролейбус РТС з АХ 6,79 грн/км; 3-електробус Богдан 7,05 грн/км; 4-автобус МАЗ газовий 11,34 грн/км; 5-автобус МАЗ дизельний 19,38 грн/км.

Як і очікувалось ТЗ на електричній тязі є більш економними з точки зору витрат на енергоносії, що викликано меншою ціною електроенергії у порівнянні з органічним паливом. Найбільш дорогим за сукупними витратами виявився електробус. Це пояснюється більшою вартістю як самого електробуса, так і тягової батареї, а значить і більшими амортизаційними відрахуваннями. Найдешевшим по сукупним прямим витратам в експлуатації є газовий автобус. Звичайний троллейбус не займає перших місць по причині необхідності великих витрат на будівництво додаткової троллейбусної лінії.

На рис.2. показані прямі витрати на перевезення одного пасажера різними типами рухомого складу пасажирського транспорту. Найменша вартість притаманна ТЗ, що мають найбільшу пасажиромісткість.

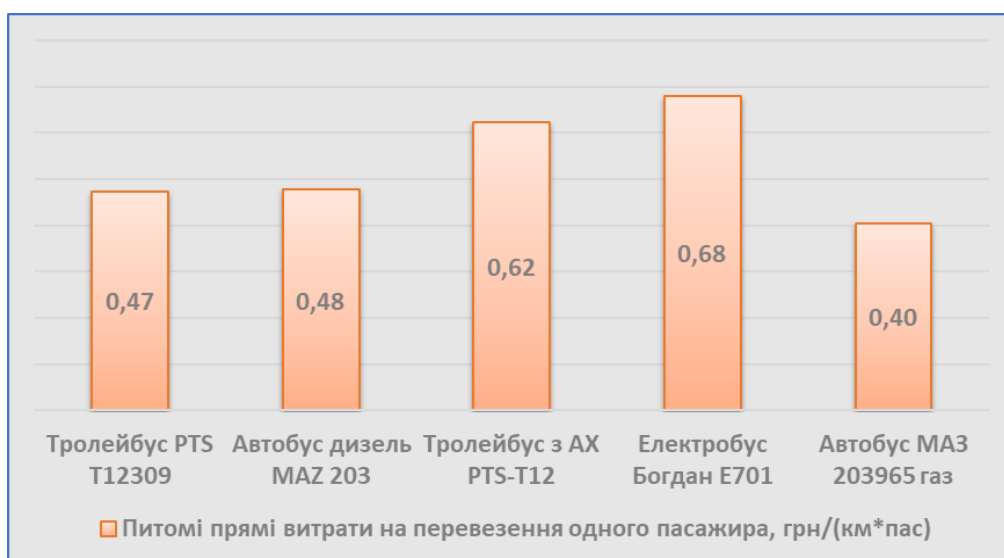


Рисунок 2 – Сукупні питомі прямі витрати на перевезення одного пасажера різними типами рухомого складу пасажирського транспорту.

Результати розрахунку питомих сукупних прямих витрат на експлуатацію пасажирських ТЗ при різних частках автономного ходу на маршруті показані на рис.3. Крім того, що було зазначено вище, необхідно відмітити наступне. Питомі витрати на експлуатацію троллейбуса з АХ підвищуються зі збільшенням частки АХ на маршруті. При досягненні 100% автономного ходу троллейбус з АХ перетворюється на електробус з однаковими витратами на експлуатацію, а при відсутності потреби в АХ троллейбус з АХ стає звичайним троллейбусом. Взагалі енергоспоживання електробуса є дещо вищим ніж у звичайного троллейбуса при відсутності автономного ходу тому що при зарядці ТАБ існують втрати, а сукупні витрати на експлуатацію є більшими із-за вищої ціни електробуса. При частці АХ 50% витрати на експлуатацію дизельного автобуса та троллейбуса з АХ є однаковими. При менших частках АХ використання троллейбусів з АХ є більш вигідним ніж дизельного автобуса.

Порівняння варіанту з будівництвом додаткової троллейбусної лінії з використанням різних ТЗ з АХ показало, що при даному співвідношенні вартостей окремих складових експлуатації, добування додаткової троллейбусної лінії для використання звичайного троллейбуса може бути більш вигідною ніж використання дизельного автобуса при АХ до 25%, і більш вигідним ніж використання електробуса до, приблизно, 45% АХ. Але при всіх варіантах найбільш вигідним є використання газового автобуса, потім троллейбуса з автономним ходом.

Для можливості визначення економічного ефекту від використання того чи іншого типу ТЗ підраховані добові прямі сукупні витрати на перевезення 6000 пасажирів на гіпотетичному маршруті 10 км за 18 год., та витрати на енергоносії. Результати таких розрахунків проілюстровані на рис.4. Як і очікувалось найбільш вигідними по споживанню енергоносіїв є троллейбус з АХ, потім електробус. Далі йдуть з деяким відривом автобуси газовий та дизельний. Але якщо оцінювати сукупні прямі витрати на експлуатацію, то при прийнятому співвідношенню цін на складові експлуатаційних витрат найбільш вигідним є використання газового автобуса.



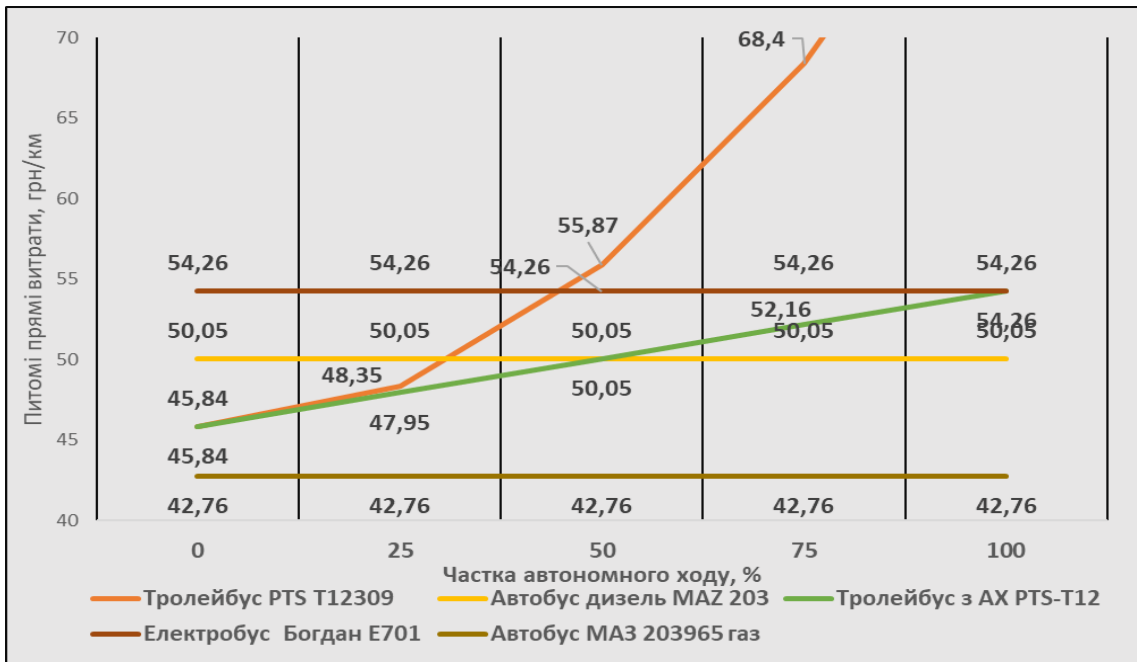


Рисунок 3 – Питомі сукупні прямі витрати на експлуатацію пасажирських ТЗ при різних частках автономного ходу на маршруті

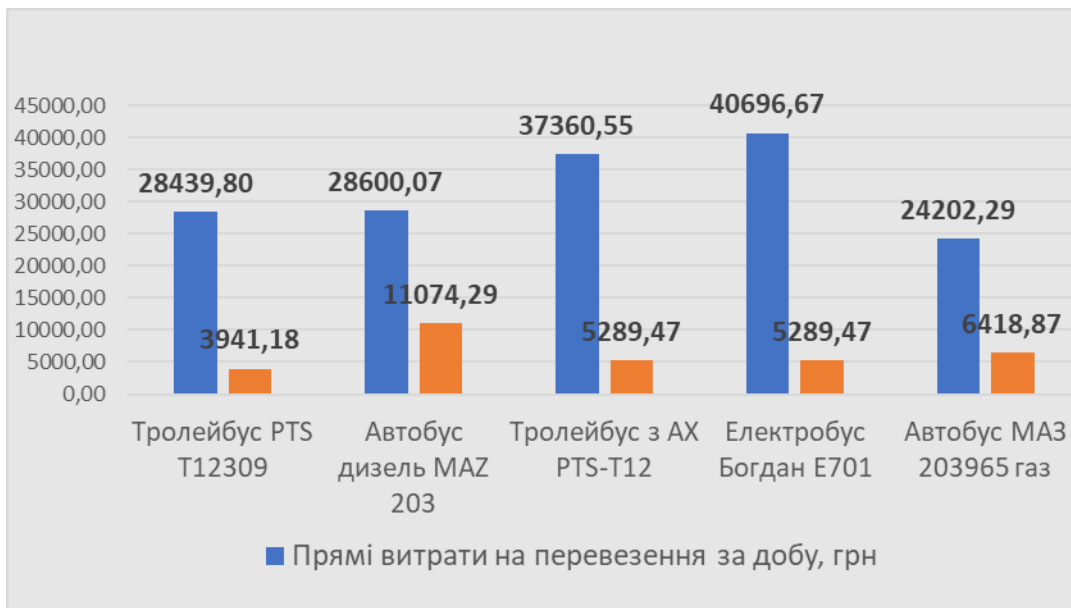


Рисунок 4 – Прямі витрати на перевезення 6000 пасажирів на маршруті 10 км за 18 год. (враховані витрати на будівництво тролейбусної лінії на частці 25% автономного ходу)

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

На теперішній момент ситуація на ринку пасажирських перевезень муніципальним транспортом у місті Києві наступна [25]. Маршрутна мережа наземного міського пасажирського транспорту складається з 160 маршрутів, а саме: 48 тролейбусних, 18 трамвайних, 86 автобусних, 8 таксомоторних маршрутів. Цю мережу обслуговує комунальне підприємство «Київпастранс».

У зв'язку з повномасштабною військовою агресією Російської Федерації проти України з 24 лютого 2022 року в Україні введено воєнний стан. Військові дії спричинили руйнування інфраструктури та масове порушення ланцюгів економічної діяльності, що, насамперед, призвело до значних економічних втрат в Україні, та на підприємстві. Зараз комунальний транспорт не здійснює перевезення пасажирів поки діє комендантська година. Також заборонено рух громадського транспорту під час повітряної тривоги. В результаті, підприємство зазнає значних збитків.

В кінці 2022 року через дефіцит електроенергії було припинено роботу наземного електротранспорту - трамваїв та тролейбусів. З метою зменшення навантаження на енергосистему та

економією електроенергії на всіх тролейбусних та трамвайних маршрутах працювали автобуси. Аби забезпечити перевезення пасажирів на маршрутах, де їздили трамваї і тролейбуси, було випущено 222 автобуси. Загалом на 124 автобусних маршрутах міста працювали 440 автобусів.

З 16 лютого 2023 відновлено роботу всіх тролейбусних та трамвайних маршрутів та фунікулеру. Збільшено випуск рухомого складу на маршрутах електротранспорту. Також відновлено роботу автобусних маршрутів за постійними схемами руху.

На кінець березня 2023 року в робочий день Київпастрас обслуговував 46 тролейбусних маршрутів з випуском 260 одиниць, 22 трамвайних маршрутів з випуском 188 одиниць та 74 автобусних маршрутів з випуском 262 одиниці.

На балансі Підприємства (станом на 01.01.2023) налічується: - 2 979 одиниць транспортних засобів для перевезення пасажирів, у тому числі 505 трамвайних вагонів, 630 тролейбусів, 1844 автобуси. Також на балансі Київпастрасу є 229,0 км трамвайних колій, 2 019,1 км контактної мережі, 91 тягова підстанція загальною потужністю 342,3 тис.кВА, які здійснюють електропостачання трамвайного і тролейбусного рухів.

У 2021 році за результатами діяльності КП Київпастрас сукупний пробіг тролейбусів склав 20743 тис. машино кілометрів, а автобусів - 29760 тис. машино кілометрів. У 2022 році ці цифри зменшились для тролейбусів до 8318 тис. машино кілометрів, а для автобусів до 18634 тис. машино кілометрів. Тобто у 2022 році в порівнянні з аналогічним періодом минулого року обсяги транспортної роботи (тис.маш-км) у звичайному режимі руху зменшились на 47,4%, в т.ч. по трамваю на 50,4%, тролейбусу на 59,9%, та автобусу на 37,4%.

Не зважаючи на значне скорочення транспортної роботи електричного транспорту електричної енергії все одно не вистачає, але спостерігається надлишок електричної потужності інфраструктури тролейбусних та трамвайних парків.

Тому заміна автобусів на електробуси виглядає проблематичною із-за відсутності необхідної кількості електричної енергії та потужності зарядної інфраструктури в автобусних парках.

Варіантом вирішення проблеми є використання тролейбусів з автономним ходом, які мають ТАБ значно меншої ємності ніж електробус, та яка може заряджатись під час руху. Таку заміну доцільно організувати особливо там, де тролейбусні маршрути частково співпадають з автобусними.

До цього слід додати, що автобусні парки не мають інфраструктури для зарядки електробусів, а в тролейбусних парках така інфраструктура вже існує, як і необхідні електричні потужності.

## **ВИСНОВКИ**

Виконаний порівняльний аналіз можливостей та економічної ефективності використання різних типів транспортних засобів з електричними силовими установками та двигунами внутрішнього згоряння, які можуть працювати на міських маршрутах пасажирських перевезень з повною або частковою відсутністю контактної мережі який показав наступне.

Економічна ефективність у цьому дослідженні оцінювалась питомими прямими витратами на експлуатацію рухомого складу пасажирського транспорту, а можливості – теперішнім станом інфраструктури транспорту, а також подальшими витратами і перспективами її розвитку.

Як складові експлуатаційних витрат розглядалися: витрати на паливе та електроенергію на рух; величина амортизації ТЗ та тягової акумуляторної батареї (ТАБ); витрати на додаткове будівництво та утримання наявної контактної-кабельної мережі та тягових підстанцій для руху тролейбусів; витрати на заробітну плату з нарахуваннями працівників, які безпосередньо виконують роботи з ТО та ремонту рухомого складу, та водіїв; витрати на експлуатаційні матеріали та шини.

Виконувався порівняльний аналіз витрат на експлуатацію таких видів рухомого складу, як: електробус Богдан Е7014; тролейбус PTS Т12309; автобус МАЗ 203 з дизелем; автобус МАЗ 203965 газовий; тролейбус з автономним ходом PTS-Т12.

Розрахунок прямих витрат на експлуатацію ТЗ виконувався з використанням методики [13], яка розроблена авторами і удосконалена врахуванням необхідних витрат на добудову тролейбусної лінії, де вона відсутня.

Розрахунки показали, що ТЗ на електричній тязі є більш економічними з точки зору витрат на енергоносії. Але за сукупними витратами найбільш дорогим виявився електробус. Це пояснюється значною вартістю як самого електробуса, так і тягової батареї, а значить, і більшими амортизаційними відрахуваннями. Найдешевшим по сукупним прямим витратам в експлуатації є газовий автобус. Звичайний тролейбус не займає перших місць по причині необхідності великих витрат на будівництво додаткової тролейбусної лінії на маршруті з частковим автономним ходом.

Питомі витрати на експлуатацію тролейбуса з АХ підвищуються зі збільшенням частки АХ на маршруті. При досягненні 100% автономного ходу тролейбус з АХ перетворюється на електробус, а при відсутності потреби в АХ тролейбус з АХ стає звичайним тролейбусом. Взагалі енергоспоживання електробуса є дещо вищим ніж у звичайного тролейбуса при відсутності автономного ходу тому що при зарядці ТАБ існують втрати, а сукупні витрати на експлуатацію є більшими із-за вищої ціни електробуса. При частці АХ 50% витрати на експлуатацію дизельного автобуса та тролейбуса з АХ приблизно однакові. При менших частках АХ використання тролейбусів з АХ є більш вигідним ніж дизельного автобуса.

Порівняння варіанту з будівництвом додаткової тролейбусної лінії з використанням різних ТЗ з АХ показало, що при даному співвідношенню вартостей окремих складових експлуатації, будова додаткової тролейбусної лінії для використання звичайного тролейбуса може бути більш вигідною ніж використання дизельного автобуса при АХ до 25%, і більш вигідним ніж використання електробуса до, приблизно, 45% автономного ходу. Але при всіх варіантах найбільш економічним є використання газового автобуса, потім тролейбуса з автономним ходом.

Широке впровадження електробусів на міських маршрутах на теперішній момент не є найкращим рішенням з економічної точки зору.

Не зважаючи на значне скорочення транспортної роботи електричного транспорту електричної енергії все одно не вистачає, але спостерігається надлишок електричної потужності інфраструктури тролейбусних та трамвайних парків.

Тому заміна автобусів на електробуси виглядає проблематичною із-за відсутності необхідної електричної потужності та зарядної інфраструктури в автобусних парках.

Варіантом вирішення проблеми може бути використання тролейбусів з автономним ходом, які мають ТАБ значно меншої ємності ніж електробус, та яка може заряджатись під час руху. Таку заміну доцільно організувати особливо там, де тролейбусні маршрути частково співпадають з автобусними.

До цього слід додати, що автобусні парки не мають інфраструктури для зарядки електробусів, а в тролейбусних парках така інфраструктура вже існує, як і необхідні електричні потужності. Використання такої технології забезпечить виконання Закону [1] та зробить поліпшення екологічного стану міст більш швидким та економічно вигідним.

#### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Закон України Про деякі питання використання транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, та внесення змін до деяких законів України щодо подолання паливної залежності і розвитку електрзарядної інфраструктури та електричних транспортних засобів. {Із змінами, внесеними згідно із Законом № 3220-IX від 30.06.2023}. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2956-20#Text>
2. Андрусенко С.І. Математична модель енергетичної ємності тягової акумуляторної батареї / С.І. Андрусенко, В.Б. Будниченко, В.С. Подпіснєв // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2021. – Вип. 3 (50). – С. 3–10. – (doi.org/10.33744/2308-6645-2021-3-50-003-010).
3. Андрусенко С.І. Оптимізація параметрів тягової акумуляторної батареї у тролейбусах із частковим автономним ходом / С.І. Андрусенко, В.Б. Будниченко, В.С. Подпіснєв // Науково-виробничий журнал «Автошляховик України» (Автомобільний транспорт). – 2021. – № 3 (267)'2021. – С. 15–21. – (doi.org/10.33868/0365-8392-2021-3-267-15-21).
4. Витрати електроенергії трамвайними вагонами та тролейбусами. Нормативи. Метод розрахунку: ГKN 02.07.005-2001. – [Чинний від 2002-01-01]. Київ: ДП НДКТІ МГ, 2002. – 28 с. – (Державний комітет житлово комунального господарства України).
5. Вимоги до методів визначення та оптимізації витрат електроенергії трамвайними вагонами та тролейбусами на рух: СОУ ЖКГ 09.05 - 009:2010.–[Чинний від 2010-05-01]. Київ: ДП НДКТІ МГ, 2010. – 27 с. – (Державний комітет житлово комунального господарства України).
6. 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).
7. Valerii Dembitskyi, Vitalij Grabovets, Modeling of a power consumption by bus in the real operating conditions, Transportation Engineering, Volume 14, 2023, 100216, ISSN 2666-691X, <https://doi.org/10.1016/j.treng.2023.100216>.

8. Будніченко В.Б., Гордієнко М.М. (2019). Аналіз показника енерговитрат транспортних засобів з електричним двигуном. Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура. 3. 149. 158-163 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nbuv.gov.ua/UJRN,doi:10.33042/2522-1809-2019-3-149-158-163>.
9. Wolek M., Wolanski M., Bartłomiejczyk M., Wyszomirski O., Grzelec K., Hebel K. Ensuring sustainable development of urban public transport: A case study of the trolleybus system in Gdynia and Sopot (Poland). Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 279. 14 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123807>.
10. Van Mulders F., Timmermans M., McCaffrey Z., Van Mierlo J., Van den Bossche P. Supercapacitor Enhanced Battery Traction Systems – Concept Evaluation. The World Electric Vehicle Journal. 2008. Vol. 2 (2). P. 32-45. DOI: <https://doi.org/10.3390/wevj2020120>.
11. Bartłomiejczyk M., Połom M. Sustainable Use of the Catenary by Trolleybuses with Auxiliary Power Sources on the Example of Gdynia. Infrastructures. 2021. Vol. 6 (61). 17 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/infrastructures6040061>.
12. Андрусенко С.І. Оцінка вартостей експлуатації транспортних засобів з різними типами силових установок / Андрусенко С.І., Бугайчук О.С., Лобода А.В., Савостін-Косяк Д.О. // Технічна інженерія: науковий журнал. – Ж.: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. – №2 (86) – С.3 – 12.
13. Андрусенко С.І. Розробка методики визначення експлуатаційних витрат автобусів та тролейбусів з різними видами силових установок / С.І. Андрусенко, В.Б. Будниченко, В.С. Подпіснєв // Науково-виробничий журнал «Автошляховик України» (Автомобільний транспорт). – 2022. – № 2 (270). – С. 15-25. – DOI: <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2022-2-270-15-25>.
14. Андрусенко С.І. Вибір рухомого складу міського пасажирського транспорту на основі оптимізації витрат на експлуатацію та ризиків / С.І. Андрусенко, О.С. Бугайчук, В.С. Подпіснєв, О.Д. Пилипівський // Міжнародна конференція «Покращення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів і машин». Збірник тез доповідей (16-17 листопада 2022 р.). – К.: НТУ, 2022. – 186 с. (с. 64-66). – DOI: <https://doi.org/10.33744/978-966-632-316-6-2022-1>
15. Андрусенко С.І. Особливості вибору рухомого складу міського пасажирського транспорту за сучасних умов в Україні./С.І.Андрусенко, О.М.Іванушко, В.С. Подпіснєв, І.В. Будниченко// Вісник Національного транспортного університету, 2023 | Стаття в журналі, DOI: [10.33744/2308-6645-2023-1-55-012-023](https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-1-55-012-023).
16. Андрусенко С.І. Підбір рухомого складу для пасажирських перевезень по міському маршруту/ Андрусенко С.І., Подпіснєв В.В.; Будниченко І.В.; Дикий В. С.// Вісник Національного транспортного університету, 2023 | Стаття в журналі . DOI: [10.33744/2308-6645-2023-3-57-003-019](https://doi.org/10.33744/2308-6645-2023-3-57-003-019).
17. Войтків С. Економічні та соціальні аспекти розвитку та застосування тролейбусів з автономним рухом в Україні [Електронний ресурс] / Станіслав Войтків // Соціально-економічні проблеми і держава. — 2022. — Вип. 2 (27). — С. 3-14. — Режим доступу: <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2022/22vsrvvu.pdf>
18. Електробус Богдан. Електронний ресурс. Дата звернення 12.02.2024 р. Режим доступу: [https://www.google.com/search?q=%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%81+%D0%91%D0%BE%D0%B3%D0%B4%D0%B0%D0%BD&sca\\_esv=f917e2823a31333e&source=hp&ei=MEPLZa3PIKqFxc8PrZSFgAs&iflsig=ANes7DEAAAAAZctRQC7GL7TraJ3vdKwSGz4CdIUUpMIu&udm=&oq=&gs\\_lp=Egdnd3Mtd2l6IlgBIAFAAWABwAHgAkAEAmAEAoAEAggEAuAESyAEA-AEG&gs\\_ivs=1&sclient=gws-wiz#vhid=1mxd9A9fX0njM&vssid=1](https://www.google.com/search?q=%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%81+%D0%91%D0%BE%D0%B3%D0%B4%D0%B0%D0%BD&sca_esv=f917e2823a31333e&source=hp&ei=MEPLZa3PIKqFxc8PrZSFgAs&iflsig=ANes7DEAAAAAZctRQC7GL7TraJ3vdKwSGz4CdIUUpMIu&udm=&oq=&gs_lp=Egdnd3Mtd2l6IlgBIAFAAWABwAHgAkAEAmAEAoAEAggEAuAESyAEA-AEG&gs_ivs=1&sclient=gws-wiz#vhid=1mxd9A9fX0njM&vssid=1)
19. Богдан-Авто. [Богдан А701 Характеристики – Богдан-Авто](https://bogdanauto.com.ua) Електронний ресурс. Дата звернення 12.02.2024 р. Режим доступу: [bogdanauto.com.ua](https://bogdanauto.com.ua)
20. ВКМ Holding. Інновації у міському пасажирському транспорті / ТОВ "БКМ-Україна". 19 с. URL: <https://bkm.com.ua/wp-content/uploads/2020/09/bkm-ukrayina-prezentacziya-ukr> .
21. Андрусенко С.І. Методика оцінки споживання енергії електробусом та параметрів тягової акумуляторної батареї в умовах експлуатації / С.І. Андрусенко, В.Б. Будниченко, В.С. Подпіснєв // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології. – 2022. – № 22 (2022). – С. 64-71. – (doi.org/10.30977/VEIT.2022.22.0.8 ). – Режим доступу: <http://veit.khadi.kharkov.ua/article/view/268300/266081>
22. [Проект «Міський громадський транспорт в Україні» Електронний ресурс. Дата звернення 12.02.2024 р. Режим доступу: https://mtu.gov.ua/news/27947.html?PrintVersion](https://mtu.gov.ua/news/27947.html?PrintVersion)



23. "Львівелектротранс" адекватно формує ціну на реконструкцію кабельних ліній, "Львівавтодор – ні", – Антон Лягушкін Проект «Міський громадський транспорт в Україні» Електронний ресурс. Дата звернення 12.02.2024 р. <https://zahid.espreso.tv/lvivelektrotrans-adekvatno-formue-tsinu-na-rekonstruktsiyu-kabelnikh-liniy-lvivavtodor-ni-anton-lyagushkin>

24. Звіт з управління КП «Київпастрас» за 2022 рік. Електронний ресурс. Дата звернення 12.02.2024 р. Режим доступу: [https://kpt.kyiv.ua/uploads/u/1/37exsY14-elEnKUMd\\_xfxaGGtSG7dGfH.pdf](https://kpt.kyiv.ua/uploads/u/1/37exsY14-elEnKUMd_xfxaGGtSG7dGfH.pdf)

25. Примітки до фінансової звітності КП «Київпастрас» за 1 квартал 2023 року. Електронний ресурс. Дата звернення 12.02.2024 р. Режим доступу: <https://kpt.kyiv.ua/uploads/u/1/kLJ1XaK3CWbu9l2heva-Jqkp1f7raq0Q.pdf>

## REFERENCES

1. The Law of Ukraine On Some Issues of Using Vehicles Equipped with Electric Engines and Amendments to Some Laws of Ukraine Regarding Overcoming Fuel Dependence and Development of Electric Charging Infrastructure and Electric Vehicles. {With changes introduced in accordance with Law No. 3220-IX dated 06.30.2023}. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2956-20#Text>

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

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

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

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

6. Valery Dembitskyi. Research of energy indicators of vehicles with an electric drive. Monograph / by general ed. D.V. Lomotka - Academy of Technical Sciences of Ukraine. – Ivano-Frankivsk: Publisher H.M. Kushnir. – 2022. T1 – 216 p. (pp. 77-114).

7. Valerii Dembitskyi, Vitalij Grabovets, Modeling of a power consumption by bus in the real operating conditions, Transportation Engineering, Volume 14, 2023, 100216, ISSN 2666-691X, <https://doi.org/10.1016/j.treng.2023.100216>.

8. Budnichenko V.B., Gordienko M.M. (2019). Analysis of the energy consumption indicator of vehicles with an electric motor. Communal management of cities. Series: Technical sciences and architecture. 3. 149. 158-163 [Electronic resource]. – Access mode: <http://nbuv.gov.ua/UJRN,doi:10.33042/2522-1809-2019-3-149-158-163>.

9. Wołek M., Wolanski M., Bartłomiejczyk M., Wyszomirski O., Grzelec K., Hebel K. Ensuring sustainable development of urban public transport: A case study of the trolleybus system in Gdynia and Sopot (Poland). Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 279. 14. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123807>.

10. Van Mulders F., Timmermans M., McCaffrey Z, Van Mierlo J., Van den Bossche P. Supercapacitor Enhanced Battery Traction Systems – Concept Evaluation. The World Electric Vehicle Journal. 2008. Vol. 2 (2). R. 32-45. DOI: <https://doi.org/10.3390/wevj2020120>.

11. Bartłomiejczyk M., Połom M. Sustainable Use of the Catenary by Trolleybuses with Auxiliary Power Sources on the Example of Gdynia. Infrastructures. 2021. Vol. 6 (61). 17. DOI: <https://doi.org/10.3390/infrastructures6040061>.

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

13. Andrusenko S.I. Development of a methodology for determining operating costs of buses and trolleybuses with various types of power plants / S.I. Andrusenko, V.B. Budnychenko, V.S. Podpisnov // Research and production journal "Automobile of Ukraine" (Automotive transport). – 2022. – No. 2 (270). - pp. 15-25. - DOI: <https://doi.org/10.33868/0365-8392-2022-2-270-15-25>.



14. Andrusenko S.I. Selection of urban passenger transport rolling stock based on optimization of operating costs and risks / S.I. Andrusenko, O.S. Bugaichuk, V.S. Podpisnov, O.D. Pylypivskiy // International conference "Improvement of constructive and operational indicators of cars and machines". Collection of theses of reports (November 16-17, 2022). - K.: NTU, 2022. - 186 с. (с. 64-66). – DOI: <https://doi.org/10.33744/978-966-632-316-6-2022-1>
15. Andrusenko S.I. Peculiarities of the choice of rolling stock of urban passenger transport under modern conditions in Ukraine./S.I. Andrusenko, O.M. Ivanushko, V.S. Podpisnov, I.V. Budnychenko// Bulletin of the National Transport University, 2023 | Journal article, DOI: 10.33744/2308-6645-2023-1-55-012-023 .
16. Andrusenko S.I. Selection of rolling stock for passenger transportation on the city route / Andrusenko S.I., Podpisnov V.V.; I.V. Budnychenko; V. S. Dykiy// Bulletin of the National Transport University, 2023 | Article in the magazine. DOI: 10.33744/2308-6645-2023-3-57-003-019.
17. Voitkiv C. Economic and social aspects of the development and application of trolleybuses with autonomous movement in Ukraine [Electronic resource] / Stanislav Voitkiv // Social and economic problems and the state. — 2022. — Issue 2 (27). — P. 3-14. — Access mode: <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2022/22vsrvvu.pdf>
18. Electric bus Bohdan. Electronic resource. Application date 02/12/2024 Access mode: [https://www.google.com/search?q=%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%81+%D0%91%D0%BE%D0%B3%D0%B4%D0%B0%D0%BD&sca\\_esv=f917e2823a31333e&source=hp&ei=MEPLZa3PIKqFxc8PrZSFgAs&iflsig=ANes7DEAAAAAZctRQC7GL7TraJ3vdKwSGz4CdIUUpMIu&udm=&og=&gs\\_lp=Egdnd3Mtd2l6IgbIAFAAWABwAHgAkAEAmAEAoAEAqgEAuAESyAEA-AEG&gs\\_ivs=1&scient=gws-wiz#vhid=1mxd9AyfX0njM&vssid=1](https://www.google.com/search?q=%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B1%D1%83%D1%81+%D0%91%D0%BE%D0%B3%D0%B4%D0%B0%D0%BD&sca_esv=f917e2823a31333e&source=hp&ei=MEPLZa3PIKqFxc8PrZSFgAs&iflsig=ANes7DEAAAAAZctRQC7GL7TraJ3vdKwSGz4CdIUUpMIu&udm=&og=&gs_lp=Egdnd3Mtd2l6IgbIAFAAWABwAHgAkAEAmAEAoAEAqgEAuAESyAEA-AEG&gs_ivs=1&scient=gws-wiz#vhid=1mxd9AyfX0njM&vssid=1)
19. Bohdan-Avto. Bohdan A701 Characteristics - Bohdan-Auto Electronic resource. Application date: February 12, 2024. Access mode: [bogdanauto.com.ua](http://bogdanauto.com.ua)
20. VKM Holding. Innovations in urban passenger transport / BKM-Ukraine LLC. 19 p. URL: <https://bkm.com.ua/wp-content/uploads/2020/09/bkm-ukrayina-prezentacziya-ukr.>
21. Andrusenko S.I. Methodology for estimating energy consumption by an electric bus and traction battery parameters under operating conditions / S.I. Andrusenko, V.B. Budnychenko, V.S. Podpisnov // Automobile and electronics. Modern technology. – 2022. – No. 22 (2022). - С. 64-71. – (doi.org/10.30977/VEIT.2022.22.0.8). – Access mode: <http://veit.khadi.kharkov.ua/article/view/268300/266081>
22. Project "Urban Public Transport in Ukraine" Electronic resource. Application date 02/12/2024 Access mode: <https://mtu.gov.ua/news/27947.html?PrintVersion>
23. "Lvivelectrotrans" adequately forms the price for the reconstruction of cable lines, "Lvivavtodor - no", - Anton Lyagushkin Project "Urban public transport in Ukraine" Electronic resource. Application date 02/12/2024 <https://zahid.espresso.tv/lvivelectrotrans-adekvatno-formue-tsinu-na-rekonstruktsiyu-kabelnikh-liniy-lvivavtodor-ni-anton-lyagushkin>
24. Report on the management of KP "Kyivpastrans" for 2022. Electronic resource. Application date: February 12, 2024. Access mode: [https://kpt.kyiv.ua/uploads/u/1/37cxsY14-elEnKUmd\\_xfxaGGtSG7dGIh.pdf](https://kpt.kyiv.ua/uploads/u/1/37cxsY14-elEnKUmd_xfxaGGtSG7dGIh.pdf)
25. Notes to the financial statements of KP "Kyivnastrans" for the 1st quarter of 2023. Electronic resource. Application date: February 12, 2024. Access mode: <https://kpt.kyiv.ua/uploads/u/1/kLJ1XaK3CWBu9l2heva-Jqkp1f7raq0Q.pdf>

***Andrusenko S.I., Dembitskyi V.M., Budnychenko I.V., Dykiy V.S. Research on the feasibility of using electric buses on bus and trolleybus routes in cities***

The possibilities and cost-effectiveness of using different types of vehicles with electric power plants and internal combustion engines, which can work on urban passenger transportation routes with a complete or partial absence of a contact network, are analyzed.

The costs of operating the Bohdan E7014 electric bus were compared; trolleybus PTS T12309; buses MAZ 203 with diesel and gas; PTS-T12 self-propelled trolleybus.

Total costs for: fuel and electricity for movement were estimated; depreciation of vehicles and traction battery; additional construction and maintenance of contact and cable network and traction substations; salaries of workers in maintenance and repair of rolling stock and drivers; operating materials and tires.

It is shown that vehicles with electric traction are more economical in terms of energy costs. But in terms of total costs, the electric bus turned out to be the most expensive due to its higher cost. The cheapest to operate is a gas bus.

If the share of autonomous driving is less than 50%, a trolleybus with autonomous driving is more profitable than a diesel bus.

With the existing ratio of the costs of individual components of operation, the completion of an additional trolleybus line for the use of a conventional trolleybus can be more profitable than the use of a diesel bus with an autonomous operation of up to 25%, and more profitable than the use of an electric bus up to approximately 45% of an autonomous operation. But with all options, the most economical is the use of a gas bus, then a trolleybus with autonomous operation.

The replacement of buses with electric buses at the moment looks problematic due to the lack of the necessary electric power and charging infrastructure in bus fleets. But there is a surplus of electric power and infrastructure in trolleybus parks. Therefore, an alternative to an electric bus is the use of trolleybuses with autonomous operation, which have traction batteries of a much smaller capacity, and which can be charged while driving. It is expedient to organize such a replacement, especially where trolleybus routes partially coincide with bus routes.

**Keywords:** electric bus, bus, electric charging infrastructure, trolleybus, autonomous drive, traction battery, operating costs, choice.

*АНДРУСЕНКО Сергій Іванович*, кандидат технічних наук, професор кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, Національний транспортний університет, e-mail: [sergeandrusenko@gmail.com](mailto:sergeandrusenko@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-9914-0200>.

*ДЕМБІЦЬКИЙ Валерій Миколайович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, ЛНТУ, e-mail: [dvm2@meta.ua](mailto:dvm2@meta.ua), <https://orcid.org/0000-0002-1006-9218>

*БУДНИЧЕНКО Ігор Валерійович*, аспірант, Національний транспортний університет, e-mail: [igor.v.budnichenko@gmail.com](mailto:igor.v.budnichenko@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0003-3073-4913>.

*ДИКИЙ Владислав Сергійович*, магістр, Національний транспортний університет, Київ, Україна, [vladislav.dykyi@gmail.com](mailto:vladislav.dykyi@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0003-7084-8672>

*Serhii ANDRUSENKO*, Ph.D in Engineering, Professor of department of technical operation of cars and car service, National Transport University, e-mail: [sergeandrusenko@gmail.com](mailto:sergeandrusenko@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-9914-0200>.

*Valerii DEMBITSKYI*, Ph.D. in Engineering associate professor of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: [dvm2@meta.ua](mailto:dvm2@meta.ua), <https://orcid.org/0000-0002-1006-9218>

*Igor BUDNYCHENKO* Postgraduate, National Transport University, e-mail: [igor.v.budnichenko@gmail.com](mailto:igor.v.budnichenko@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0003-3073-4913>.

*Vladyslav DYKYI*, Master, National Transport University, Kyiv, Ukraine, [vladislav.dykyi@gmail.com](mailto:vladislav.dykyi@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0003-7084-8672>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1348

Барабаш Р.І., Шарибура А.О., Рис В.І., Левчук О.В.  
*Львівський національний університет природокористування, Львів, Україна*

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ JAC N80**

Підвищення ефективності виробництва, його інтенсифікація досягаються значною мірою завдяки використанню нових прогресивних технологій і технологічних процесів. Розглядаючи у загальному вигляді технологію технічного впливу як спосіб і прийоми, методи зміни технічного стану автомобіля з метою забезпечення його працездатності. Прийнято визначати перелік технологічних операцій, що входять до неї, базуючись на конструкції об'єкта обслуговування та вимогах до надійності агрегатів і систем автомобіля. Однак конструкція та технологія повинні піддаватися ретельному аналізу.

Технологічний процес (ТП) є сукупністю операцій, виконуваних планомірно і послідовно у часі та просторі над автомобілем. Технологічний процес технічного обслуговування (ТО) - це частина виробничого процесу, що складається з підсистем предметів праці, виробничо-технічної бази, виконавців, які здійснюють процес і керують ним, і документації для зміни стану предметів праці в цих умовах виробництва відповідно до вимог нормативно-технічної документації.

Метою обґрунтування виробничої структури станцій технічного обслуговування автомобілів JAC N80 є розгляд можливості досягнення їх заданої продуктивності за рахунок трьох видів ресурсів, а саме: зміни чисельності робітників, обладнання та постів. Дослідження опирається на моделюванні технологічних процесів ТО з використанням основних положень теорії графів і розкладів. Запропоновано метод моделювання з використанням евристичного алгоритму розподілу усієї множини операцій ТО певного виду між робітниками на постах станцій технічного обслуговування (СТО) з урахуванням кількості обладнання, з метою отримання розкладу виконання операцій, який мінімізував тривалість циклу. Результатами моделювання є залежність тривалості технологічного процесу щоденного технічного обслуговування автомобілів JAC N80 від кількості залучених робітників, обладнання та постів, а також залежності між кількістю різних залучених ресурсів та показниками ефективності їх використання. Аналіз результатів дослідження показав, що збільшення кількості робітників скорочує тривалість технологічного процесу ЩТО автомобілів JAC N80, а також підвищує коефіцієнти використання фондів часу робітників та обладнання.

**Ключові слова:** автомобілів JAC, технічне обслуговування, технологічний процес, моделювання, параметри та показники ефективності.

### **ВСТУП**

Виробничий процес – це сукупність технологічних процесів ТО та ремонту. Виробничий процес є сукупністю всіх процесів і знарядь виробництва, необхідних для підтримки технічної готовності рухомого складу автомобільного транспорту. Під організаційними формами технологічного процесу (ОФТП) розуміється розподіл робіт виробничих підрозділів по зонах, робочих місцях відповідно до технологічних особливостей операцій ТО та послідовності проведення робіт у процесі технічних впливів на автомобіль.

Традиційно вся послідовність робіт, що виконуються при технічному обслуговуванні автомобіля, розглядалася як одне завдання відомої трудомісткості і в більшості випадків виконується одним робітником. У випадках, коли для скорочення часу обслуговування залучалася більша кількість робітників, загальна сума трудомісткості ділилася порівно між ними. Цей розподіл не враховував неминучих простоїв робітників через часові та просторові обмеження.

Тому скорочення тривалості робіт, оснащення робочих місць та постів високопродуктивним обладнанням для підвищення механізації виробничих процесів ТО рухомого складу слід розглядати як один із головних напрямів удосконалення виробничого процесу на СТО.

### **АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Аналіз літературних джерел у визначенні норм часу на виконання різних видів робіт з технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів здійснюється за допомогою методів порівняння, хронометражу, фотохронометражу, досвідно - статистичним, розрахунково-аналітичним та аналітично-дослідницьким, які дозволяють точно визначити час необхідний для виконання конкретної операції. Отже, ці методи відіграють важливу роль у формуванні норм часу для ефективного технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів [4-6].

Деякі основні питання системи технічного обслуговування і ремонту машин, основною функцією яких є гарантійне та післягарантійне обслуговування, були розглянуті М.В. Молодиком [7].

Проблеми забезпечення ефективного технічного сервісу машин досліджена досить широко, особливо стосовно ремонту машин [9].

У праці [10] висвітлено питання доцільності проведення процесів технічного обслуговування автомобілів категорії N2 за організаційно-технологічною сумісністю спеціалізацій. Розвиток багатопредметної як поліпредметної, так і політехнологічної, є надзвичайно важливим для забезпечення ефективних процесів технічного сервісу.

Численні дослідження були проведені для обґрунтування параметрів та показники ефективності технологічних процесів технічного сервісу, що виконуються на стаціонарних постах [11, 12]

### ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Оптимізації виробничих процесів, мінімізація витрат на ТО та вибір станцій технічного обслуговування (СТО) автомобілів має велике значення для забезпечення ефективного функціонування автотранспорту України. У сучасних умовах, коли існує велика кількість приватних підприємств з невеликим автомобільним парком і обмеженими фінансовими ресурсами ефективно використання СТО стає ще більш важливим.

Оскільки ефективність технологічних процесів (ТП) технічного сервісу значною мірою зумовлюється досягнутим рівнем відповідності між їх технологічною (регламентованим переліком операцій ТО) та виробничою (технічними засобами їх реалізації) структурами, тому важливо встановити залежності між параметрами та показниками ефективності ТП ТО автомобілів JAC, для різних варіантів виробничих структур СТО.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Просторові зв'язки  $Z$  визначають місце розташування робітника відносно об'єкта ремонту чи обслуговування під час виконання операцій. Це місце визначають робочі зони. *Робоча зона* – це частина простору навколо об'єкта ремонту чи обслуговування, де для виконання операцій ТП одночасно з міркувань безпеки праці та з урахуванням антропометричних даних працівників може одночасно знаходитись лише один робітник. Таким чином, кількість робочих зон  $K_z$  залежатиме від габаритних розмірів об'єкта ремонту чи обслуговування (рис. 1), а також рівня його агрегатування (кожен агрегат чи вузол, який від'єднують, є генератором додаткового набору робочих зон).

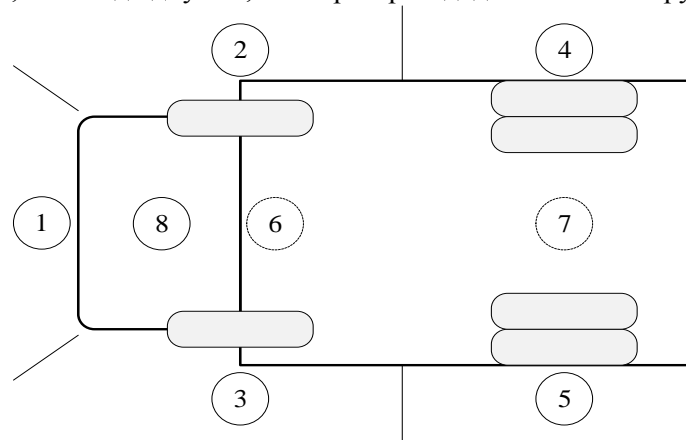


Рисунок 1 – Схема розміщення робочих зон для виконання операцій ЩТО автомобілів JAC N80

На підставі аналізу конструкції, а також антропометричних даних людини сформовано навколо автомобілів JAC N80 вісім робочих зон для розміщення виконавців під час планових технічних обслуговувань (див. рис. 1).

Для забезпечення зручності виконання робітником операцій у зонах, під час їх формування враховують дані табл. 1. Суміжні зони не повинні накладатися. Для цього означають умовні межі зон.

Таблиця 1 – Характеристика зручності зон обслуговування

Розміщення зони обслуговування	Віддаль від виконавця до крайніх точок зони, мм	Характеристика
Зручне	+600	Зберігається вільне положення тіла виконавця, повністю простежується робоча зона

Малозручне	+(600 – 800)	Положення тіла виконавця напружене. Утруднений огляд робочої зони
Незручне	більше +800	Виконавець вимушений переходити вздовж зони за межі півкола, описаного радіусом його руки; можливості огляду робочої зони порушені

Як бачимо з (табл. 2), із збільшенням кількості постів (фронту технічного обслуговування) ефективність технологічного процесу ТО зростає, уможливлене скорочення тривалості ЩТО та зменшення коефіцієнта технологічності  $K_{mex}$  і відповідно, збільшення продуктивності СТО.

Таблиця 2 – Параметри технологічної складової функціональної структури процесів технічного обслуговування автомобілів JAC N80

Модель машини	Вид ТО	Фронт технічного обслуговування $f$	К-сть операцій $N_{ЕТО}$	Сумарна тривалість операцій	Максимальна к-сть робітників	$T_{Пmin}$	Коефіцієнт технологічності $K_{mex}$
JAC N80	ЩТО	$f=1$	31	2,7	3	1,15	0,08
		$f=2$	62	5,4	5	1,35	0,06
		$f=3$	93	8,1	6	1,79	0,05
		$f=4$	124	10,8	7	2,24	0,04

На підставі упорядкованих моделей для ЩТО встановлено сумарну тривалість усіх операцій ТП  $\Sigma t$ , а також важливий динамічний показник ремонтно-придатності – мінімально можливу тривалість ТП  $T_{Пmin}$  (див. табл. 2).

Моделювання ТП ТО полягало у формуванні для заданої кількості постів  $f$  СТО, заданої кількості робітників  $u$  та заданої кількості основного РТО усіх  $R_{max}$  потрібних типів  $K_r$  взаємозумовлених розкладів виконання операцій  $S_f$ ,  $S_u$  та відповідно  $S_r$ . Для кожного ТО розклади  $S_f$ ,  $S_u$  і  $S_r$  формували шляхом розподілу всього масиву операцій між робітниками та обладнанням постів СТО з урахуванням обмежень на можливу послідовність їх виконання, що задана невпорядкованою моделлю ТП ЩТО, з використанням автоматизованої системи проєктування. На підставі сформованих розкладів виконання операцій для заданих  $f$ ,  $u$  і  $K_r$  визначали тривалості процесу  $T_{П}$  ЩТО автомобілів JAC N80.

Синтез розкладу виконання операцій відомою кількістю виконавців  $u$  здійснюють за евристичним алгоритмом моделювання. Розподіл операцій між робітниками здійснювали із дотриманням наступних обмежень: по-перше, в одній робочій зоні одночасно може виконувати операції лише один виконавець, тому операції, які належать одній робочій зоні, у впорядкованій моделі можуть виконуватись лише послідовно; по-друге, розподіл операцій між виконавцями здійснюють з урахуванням орієнтуючих та без порушення часових зв'язків. Критерієм ефективності алгоритму була мінімізація тривалості процесу  $T_{П}$  для заданого варіанту виробничої структури (кількості постів  $K_p$  і обладнання різних типів  $K_r$ ) та прийнятої кількості виконавців  $u$ .

За результатами синтезу розкладу виконання операцій ТО, розкладів праці робітників та обладнання розраховували показники ефективності:

1) тривалість технологічного процесу  $T_{П}$  – інтервал часу від початку та до завершення усіх технологічних дій;

2) коефіцієнт використання фондів робочого часу робітників

$$\eta_u = \frac{\sum t_u}{U \cdot T_{m.n}}; \quad (1)$$

де  $\sum t_u$  – загальна тривалість технологічних операцій ТО, які виконуються робітниками, хв.;

3) коефіцієнт використання фондів робочого часу обладнання  $r$ -го типу



$$\eta_r = \frac{\sum t_r}{K_r \cdot T_{m,n}}; \quad (2)$$

де  $\sum t_r$  – загальна тривалість операцій, які виконуються обладнанням  $r$ -го типу, хв.;

Результати визначення впливу збільшення кількості постів при ЩТО автомобілів JAC N80 (фронті технічного обслуговування  $f$ ) на зміну тривалостей технологічного процесу  $T_{TP}$  і технологічного циклу  $T_{Ц}$  подано на (рис. 2).

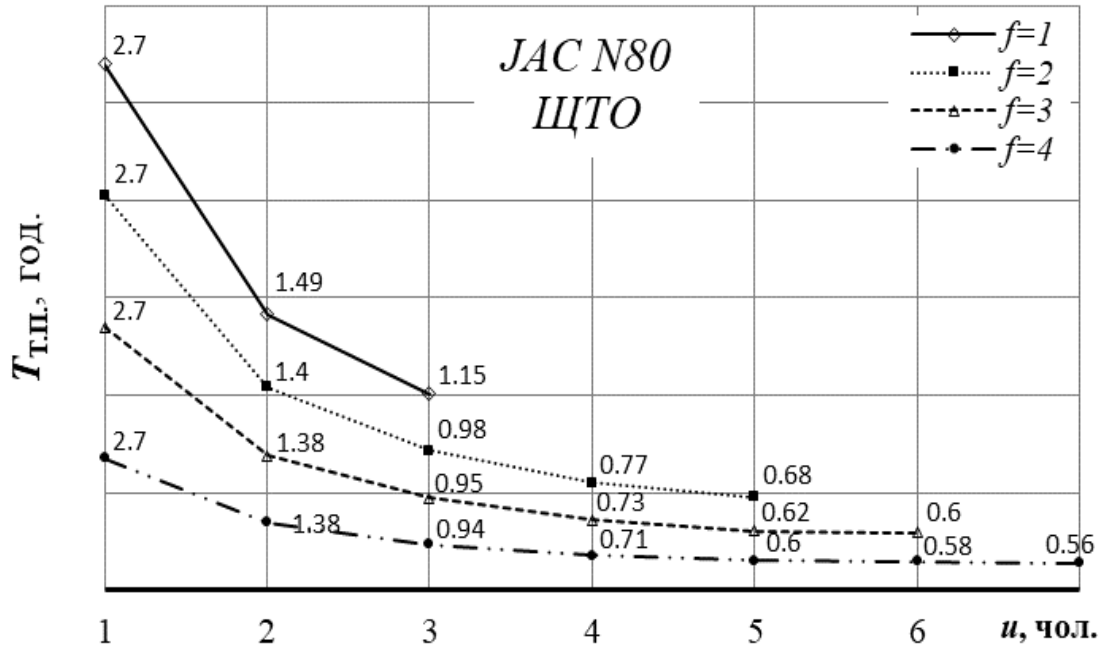


Рисунок 2 – Залежності тривалості ТП ЩТО автомобілів JAC N80 від кількості працівників  $u$  для різної кількості постів  $f$

На (рис. 2) представлено залежність тривалості ТП ЩТО від кількості працівників  $u$  для різної кількості постів  $f$ . Як видно з (рис. 2) максимальна кількість робітників  $u_{\max}$ , що може бути залучена до проведення ТП ЩТО при фронті технічного обслуговування  $f=1$  становить  $u_{\max}=3$  чол., при збільшенні фронту ТО  $f=2$  цей показник зростає та буде рівний  $u_{\max}=5$  чол., при  $f=3$ ,  $u_{\max}=6$  чол. та  $f=4$ ,  $u_{\max}=7$  чол. Із збільшенням працівників  $u$  кількість яких наближається до  $\max$  значення, скорочення тривалості ТП  $T_{TP}$  все менше, аж до абсолютної стабілізації їх показників на рівні  $\min$  допустимих. Збільшення кількості постів  $f$  не впливає на  $T_{TP}$  ЩТО автомобілів JAC, утім, за дотримання умови  $u \geq f$ , дещо зменшує тривалість технологічного циклу  $T_{Ц}$ , що рівноцінне зростанню продуктивності ПТО.

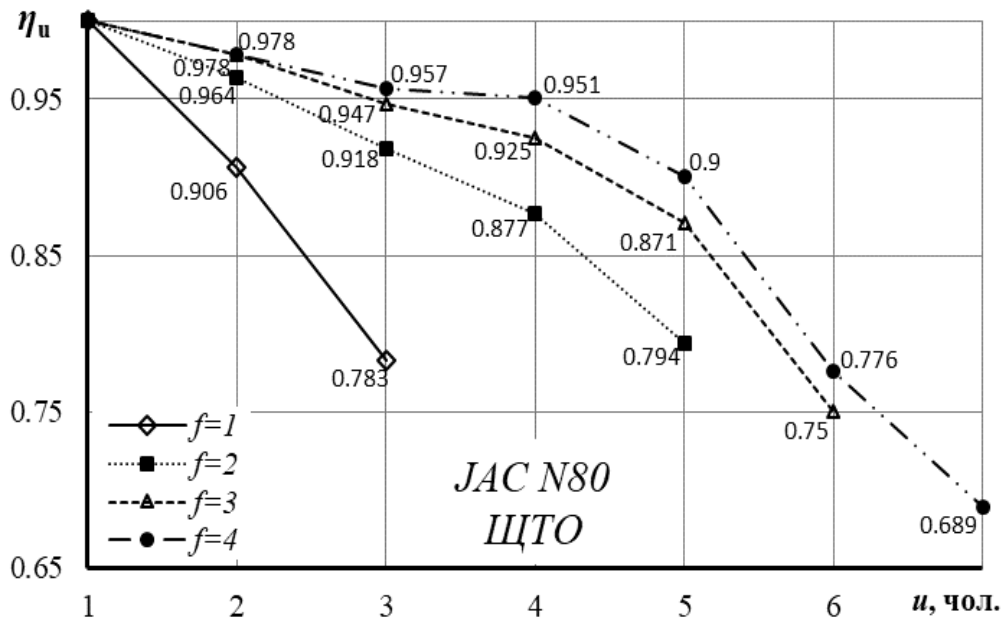


Рисунок 3 – Залежності коефіцієнтів використання фондів робочого часу працівників  $\eta_u$  від їхньої кількості  $u$  для ТП ЩТО автомобілів JAC N80 для різної кількості постів  $f$

Збільшення кількості робітників  $u$  зменшує значення коефіцієнтів використання фондів їхнього робочого часу  $\eta_u$  незалежно від кількості постів  $f$  СТО. Водночас для заданої кількості робітників  $u$  збільшення кількості постів  $f$  призводить до збільшення значень  $\eta_u$  (рис. 3).

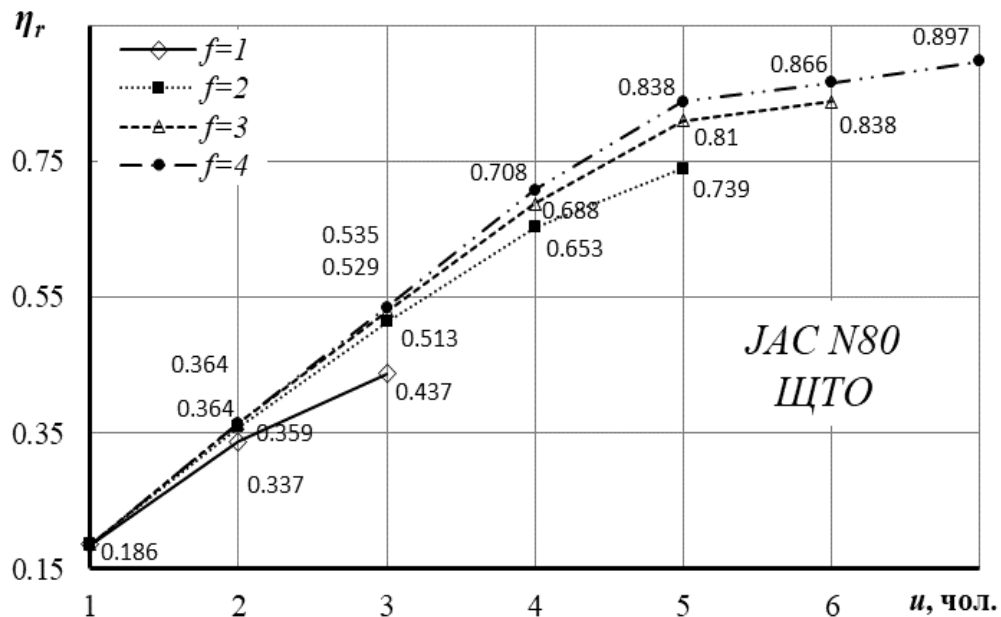


Рисунок 4 – Залежності коефіцієнтів використання фондів робочого часу обладнання  $\eta_r$  від кількості працівників  $u$  для ТП ЩТО автомобілів JAC N80 для різної кількості постів  $f$

Зростання кількості робітників  $u$  збільшує значення коефіцієнтів використання фондів робочого часу  $\eta_r$  основного РТО усіх типів, а збільшення кількості постів  $f$  ПТО підсилює цей вплив (рис. 4).

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Стосовно досліджених ТП ТО автомобілів JAC N80, які виконуються на стаціонарних постах, отримали підтвердження фундаментальні положення про те, що збільшення кількості будь-якого ресурсу (кількості робітників, обладнання та постів) не покращує показників використання цих ресурсів (відповідно коефіцієнтів використання фондів часу робітників, обладнання та постів), однак не погіршує показників ефективності використання інших ресурсів.

Отримані результати є підставою для формування параметричних рядів виробничих структур фірмових СТО автомобілів JAC різної продуктивності.

### ВИСНОВКИ

За результатами моделювання встановлено, що найвагомим чинником скорочення тривалості процесів ТО автомобілів JAC N80 (в 2,4...4,8 разів) і, відповідно, підвищення значень коефіцієнта їх технічного використання, є збільшення кількості залучених робітників  $u$ . Оптимальним значенням залучення необхідної чисельності працівників  $u$  та кількості постів  $f$  для проведення ЩТО автомобілів JAC N80 з урахуванням коефіцієнтів використання фондів робочого часу працівників  $\eta_u$  та обладнання  $\eta_f$  становитиме  $u=4$  чол.

Встановлено, що, окрім зміни кількості робітників, додатковим ресурсом впливу на показники ефективності ТП ЩТО є збільшення кількості постів (фронту технічного обслуговування). Збільшення кількості постів СТО автомобілів не впливає на тривалість процесів ЩТО, а тому не може розглядатись як чинник підвищення значень коефіцієнта готовності. Водночас збільшення кількості постів уможливує за певних умов скорочення тривалості технологічного циклу і, відповідно, збільшення продуктивності СТО.

### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Інструкція з ремонту та обслуговування для вантажних автомобілів серії HFC1041. / JAC-2013082001N3301. JAC. 2020. 664 с.
2. Правила надання послуг з технічного обслуговування і ремонту колісних транспортних засобів, затверджені наказом Міністерства інфраструктури України № 615 від 28.11.2014, зареєстровані в Міністерстві юстиції України від 17 грудня 2014 за № 1609/26386.
3. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту затверджене наказом Міністерства транспорту України № 102 від 30.03.1998, зареєстровані в Міністерстві юстиції України від 28 квітня 1998 за № 268/2708.
4. Методика розробки та типові норми часу на технічне обслуговування автомобілів / І.М. Демчак, Ю.Д. Усик, В.В. Сушко та ін. Київ. НДІ «Укראгропромпродуктивність». 2011. 192 с.
5. Мошковський С.О. Коригування питомих трудомісткостей ТО і ремонту легкових автомобілів під час технологічного розрахунку СТО / С.О. Мошковський, В.І. Павлюк, В.М. Дембіцький // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. Луцьк: Луцький НТУ, 2017, № 1 (8). с. 94 – 99.
6. Нестеренко С.А., Агєєва І.В., Сурженко Н.В. Організація виробництва: Нормування праці. Навчальний посібник. URL: <http://feb.tsatu.edu.ua/ebook/mn/ov/page5.html>.
7. Молодик М. В. Наукові основи системи технічного обслуговування і ремонту машин. Кіровоград: КОД, 2009. 180 с.
8. Кузьмінський Р. Д., Соколовський О. Р. Алгоритм проектування технологічних процесів, які виконуються на стаціонарних постах. *Сільськогосподарські машини*: зб. наук. статей. Луцьк, 2011. Вип. 21, т. 1. С. 228-235.
9. Кузьмінський Р. Структура, параметри та ефективність технологічних процесів ремонту // Вісник ЛДАУ: Агроінженерні дослідження. Львів. 2005. №9. С.50–60.
10. Барабаш Р., Шарибура А., Гошко З., Кудриницький Р. Організаційно-технологічна сумісність процесів технічного обслуговування автомобілів категорії N2. Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. 2022. № 26. С. 109–113. <https://doi.org/10.31734/agroengineering.2022.26.005>
11. Барабаш Р. І., Шарибура А. О., Кудриницький Р. Б., Буртак В. В., Рис В. І. Обґрунтування параметрів і показників ефективності технологічного процесу ТО-1 вантажних автомобілів MAN TGL. Механіка та автоматика агропромислового виробництва : загальнодержавний збірник. ІМА АПВ НААН «ІМЕСГ». Глеваха, 2022. Вип. № 1 (115). С. 206-217. <https://doi.org/10.37204/2786-7765-2023-1-23>.
12. Кузьмінський Р., Барабаш Р. Параметри та показники ефективності технологічних процесів технічного сервісу, що виконуються на стаціонарних постах // Вісник ЛДАУ: Агроінженерні дослідження. Львів. 2006. №10. С.66–73.
13. Y. Royko, Y. Fornalchyk, I. Kernytskyy O. Hrytsun R. Bura, P. Osinski, A. Markiewicz, T. Wierzbicki R. Barabash. Public Transport Prioritization and Descriptive Criteria-Based Urban Sections Classification on Arterial Streets. Sustainability 2023, 15, 2363. <https://doi.org/10.3390/su15032363>.

## REFERENCES

1. Repair and maintenance instructions for trucks of the HFC1041 series. / JAC-2013082001N3301. JAC. 2020. 664 p.
2. Rules for the provision of services for maintenance and repair of wheeled vehicles, approved by order of the Ministry of Infrastructure of Ukraine No. 615 dated 28.11.2014, registered in the Ministry of Justice of Ukraine dated December 17, 2014 under No. 1609/26386.
3. Regulations on maintenance and repair of road vehicles of road transport approved by order of the Ministry of Transport of Ukraine No. 102 dated 30.03.1998, registered in the Ministry of Justice of Ukraine dated April 28, 1998 under No. 268/2708.
4. Development methodology and typical time norms for car maintenance / I.M. Demchak, Yu.D. Usyk, V.V. Sushko et al. Kyiv. Research Institute "Ukragroproduktvyvystivnost". 2011. 192 p.
5. Moshkovsky S.O. Adjustment of the specific labor costs of maintenance and repair of passenger cars during the technological calculation of service stations / S.O. Moshkovskiy, V.I. Pavlyuk, V.M. Dembitskiy // Modern technologies in mechanical engineering and transport. Scientific journal. Lutsk: Lutsk National Technical University, 2017, No. 1 (8). with. 94-99.
6. Nesterenko S.A., Ageeva I.V., Surzhenko N.V. Organization of production: Labor rationing. Tutorial. URL: <http://feb.tsatu.edu.ua/ebook/mn/ov/page5.html>.
7. Molodik M. V. Scientific basis of the system of maintenance and repair of machines. Kirovohrad: KOD, 2009. 180 p.
8. Kuzminskiy R.D., Sokolovskiy O.R. Algorithm for designing technological processes performed at stationary stations. Agricultural machines: collection of science articles Lutsk, 2011. Vol. 21, vol. 1. pp. 228-235.
9. Kuzminsky R. Structure, parameters and efficiency of repair technological processes // Bulletin of LDAU: Agroengineering research. Lviv. 2005. No. 9. P.50–60.
10. Barabash R., Sharybura A., Goshko Z., Kudrynetskiy R. Organizational and technological compatibility of N2 category car maintenance processes. Bulletin of the Lviv National Agrarian University: Agricultural engineering research. 2022. No. 26. P. 109–113. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2022.26.005>
11. Barabash R. I., Sharybura A. O., Kudrynetskiy R. B., Burtak V. V., Rys V. I. Justification of parameters and efficiency indicators of technological process TO-1 of MAN TGL trucks. Mechanics and automation of agro-industrial production: national collection. IMA APV NAAS "IMESG". Glevakha, 2022. Issue No. 1 (115). P. 206-217. <https://doi.org/10.37204/2786-7765-2023-1-23>.
12. Kuzminskiy R., Barabash R. Parameters and efficiency indicators of technological processes of technical service performed at stationary posts // Bulletin of LDAU: Agroengineering research. Lviv. 2006. No. 10. P.66–73.
13. Y. Royko, Y. Fornalchyk, I. Kernytskiy, O. Hrytsun, R. Bura, P. Osinski, A. Markiewicz, T. Wierzbicki, R. Barabash. Public Transport Prioritization and Descriptive Criteria-Based Urban Sections Classification on Arterial Streets. Sustainability 2023, 15, 2363. <https://doi.org/10.3390/su15032363>.

***R. Barabash, A. Sharibura. Improving the efficiency of the technological process of maintenance of JAC N80 vehicles.***

Increasing the efficiency of production, its intensification is achieved to a large extent thanks to the use of new progressive technologies and technological processes. Considering in a general way the technology of technical influence as a method and techniques, methods of changing the technical condition of the car in order to ensure its operability. It is accepted to determine the list of technological operations included in it, based on the design of the service facility and the requirements for the reliability of the units and systems of the car. However, the design and technology must be carefully scrutinized.

A technological process (TP) is a set of operations performed systematically and consistently in time and space over a car. The technological process of maintenance (TO) is a part of the production process, which consists of subsystems of work items, production and technical base, performers who carry out the process and manage it, and documentation for changing the state of work items in these production conditions in accordance with the requirements of regulatory technical documentation.

The purpose of substantiating the production structure of JAC N80 car service stations is to consider the possibility of achieving their given productivity at the expense of three types of resources, namely: changes in the number of workers, equipment and posts. The study is based on the modeling of maintenance technological processes using the basic principles of the theory of graphs and schedules. A modeling method

is proposed using a heuristic algorithm for the distribution of the entire set of maintenance operations of a certain type among workers at service station posts (SSO) taking into account the number of equipment, with the aim of obtaining a schedule of operations that minimizes the duration of the cycle. The results of the simulation are the dependence of the duration of the technological process of the daily maintenance of JAC N80 cars on the number of involved workers, equipment and posts, as well as the dependence between the number of different resources involved and the efficiency indicators of their use. Analysis of the research results showed that increasing the number of workers reduces the duration of the JAC N80 maintenance process, and also increases the utilization rates of workers' time funds and equipment.

**Key words:** JAC cars, maintenance, technological process, modeling, parameters and performance indicators.

*БАРАБАШ Руслан Іванович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу імені професора Олександра Семковича, Львівський НУП, e-mail: [rbarabash@ukr.net](mailto:rbarabash@ukr.net). <http://orcid.org/0000-0001-5615-8067>

*ШАРИБУРА Андрій Остапович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу імені професора Олександра Семковича, Львівський НУП, e-mail: [ascharibura@gmail.com](mailto:ascharibura@gmail.com). <http://orcid.org/0000-0001-7329-8774>

*РИС Василь Іванович* кандидат технічних наук, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу імені професора Олександра Семковича, Львівський НУП, e-mail: [rysvasyl@gmail.com](mailto:rysvasyl@gmail.com). <http://orcid.org/0009-0002-2392-5906>

*ЛЕВЧУК Олександр Васильович*, кандидат технічних наук, в.о. доцента кафедри агроінженерії та технічного сервісу імені професора Олександра Семковича, Львівський НУП, e-mail: [levchukov@lnup.edu.ua](mailto:levchukov@lnup.edu.ua). <http://orcid.org/0000-0001-6344-9356>

*Ruslan BARABASH*, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of the Department of Agricultural Engineering and Technical Service named after Professor Oleksandr Semkovich, Lviv National University of Technology, e-mail: [rbarabash@ukr.net](mailto:rbarabash@ukr.net). <http://orcid.org/0000-0001-5615-8067>

*Andrii SHARYBURA*, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of the Department of Agricultural Engineering and Technical Service named after Professor Oleksandr Semkovich, Lviv National University of Technology, e-mail: [ascharibura@gmail.com](mailto:ascharibura@gmail.com). <http://orcid.org/0000-0001-7329-8774>

*Vasyl RYS*, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of the Department of Agricultural Engineering and Technical Service named after Professor Oleksandr Semkovich, Lviv National University of Technology, e-mail: [rysvasyl@gmail.com](mailto:rysvasyl@gmail.com). <http://orcid.org/0009-00022392-5906>

*Oleksandr LEVCHUK*, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of the Department of Agricultural Engineering and Technical Service named after Professor Oleksandr Semkovich, Lviv National University of Technology, e-mail: [levchukov@lnup.edu.ua](mailto:levchukov@lnup.edu.ua). <http://orcid.org/0000-0001-6344-9356>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1349



Будниченко І.В., Харламов С.А.  
Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

## МЕТОДИКА ОЦІНКИ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОБУСОМ ТА ПАРАМЕТРІВ ТЯГОВОЇ АКУМУЛЯТОРНОЇ БАТАРЕЇ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У статті пропонується методика визначення реальної питомої витрати електроенергії при експлуатації електробуса та обґрунтування ємності тягової акумуляторної батареї (ТАБ) для забезпечення терміну її використання з заданою ймовірністю для роботи на маршруті відомої довжини.

У статті зазначається актуальність запропонованої методики особливо в наш час, коли необхідно економне використання енергоресурсів.

Важливо, що на основі проведеного аналізу відомих публікацій авторами звертається увага на питання оптимізації параметрів електробусів, тягових акумуляторних батарей, інфраструктури та умов їх використання для зменшення експлуатаційних витрат електричних транспортних засобів.

Метою даного дослідження є визначення реальних витрат електроенергії та необхідної ємності тягової акумуляторної батареї для електробуса, а також запланований термін роботи тягової акумуляторної батареї.

З точки зору обґрунтування авторами конструктивної енергоємності ТАБ електробуса для заданих умов експлуатації дослідження було визначено витрати електричної енергії під час його руху маршрутом.

У результаті дослідження авторами встановлено реальні витрати електроенергії та необхідної ємності тягової акумуляторної батареї для електробуса.

Очевидно, що отриманий результат забезпечить з ймовірністю не менше 95% рух на маршруті на протязі доби та запланований термін роботи тягової акумуляторної батареї.

Зазначено, що була отримана вибірка даних про пробіг та витрати електроенергії за добу на підставі результатів спостереження, за якими були обчислені питомі витрати електроенергії в (кВт·год)/км.

Акцентовано увагу на важливість виконання умов, що обґрунтовують енергетичну ємність ТАБ.

Показано, що ємність ТАБ має бути достатньою для компенсації витрат енергії на рух, сталих витрат електроенергії на живлення допоміжних кіл (системи опалення, кондиціонування тощо) та враховувати з ймовірністю 0,95 або 0,99 потрібну додаткову ємність, яка забезпечить не перевищення гранично допустимого розряду ТАБ, встановленого її виробником.

У майбутньому подальше дослідження має бути спрямовано на визначення конкретних значень ємності ТАБ для інших моделей електробусів.

Методика може бути використана для визначення реальних значень питомих витрат електроенергії та ємності ТАБ для довільних моделей електробусів.

**Ключові слова:** електроенергія, питомі витрати, тягова акумуляторна батарея, ємність, ймовірність безвідмовної роботи, електробус.

### ВСТУП

Проблеми енергозбереження у світі потребують мобілізації усіх зусиль в різних напрямках, зокрема, політичному, законодавчому, науковому, економічному, технічному, технологічному, господарчому та інших. Енергозбереження регулюється у країнах світу на державному рівні, оскільки є питанням національної безпеки.

Особливо в наш час вирішення проблеми енергозбереження є важливим для України, як енергозалежної держави.

За інформацією із загальнодоступних джерел Україна забезпечена своїми паливно-енергетичними ресурсами до 47 %, решта 53 % покриваються за рахунок імпорту.

В структурі витрат близько 35 % споживає промисловість, 20 % - житлово-комунальне господарство, а 9 % - транспорт. Це свідчить про високу актуальність вирішення питань енергозбереження. Запропонована методика оцінки споживання енергії електробусом та параметрів тягової акумуляторної батареї в умовах експлуатації особливо актуальна в наш час, коли необхідно економне використання енергоресурсів.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Аналіз відомих нам публікацій показав, що питанню оптимізації параметрів електробусів, тягових акумуляторних батарей, інфраструктури та умов їх використання з метою зменшення експлуатаційних витрат та покращення якості експлуатації присвячено багато робіт.

Так, у роботі [1] вирішується задача гармонізації роботи транспортної мережі міста при запровадженні використання електробусів як таких, що мають певні особливості експлуатації.

Запропоновані пропозиції для створення єдиної моделі організації перевезень. Цільовою функцією оптимізації системи перевезень має бути мінімізація капітальних вкладень в парк електротранспорту та загальних витрат та функціонування всієї транспортної мережі.

У роботі [2] наведено детальний огляд трьох категорій електричних автобусів: гібридних, на паливних елементах та акумуляторах. Розглядалися економічні, експлуатаційні, енергетичні та екологічні характеристики кожної технології на основі імітаційних моделей. Показано, що автобус з ТАБ є найбільш підходящою альтернативою, враховуючи очікувані поліпшення технології акумуляторів і тенденцію до використання стійких джерел у виробленні електроенергії.

У роботі [3] розроблена модель для оптимізації графіків підзарядки електричних автобусів, яка визначає як планові, так і операційні рішення, які мінімізують загальні річні витрати. Використання моделі дозволяє надати рекомендації щодо використання електричних автобусів та розробки системи швидкої зарядки. Виконаний порівняльний аналіз показав, що використовувати електричні автобуси більш економічно і екологічно, ніж дизельні автобуси.

Розрахункові та експериментальні дослідження, виконані у Харкові [4] показали, що мікроавтобус, переобладнаний в електробус найкраще підходить для використання у місті. В якості джерела енергії використовувався ультраконденсатор.

В дослідженнях [5,6] представлено методичний підхід, який може бути застосований для визначення стратегії зарядки парку електричних автобусів у міських автобусних перевезеннях. Цей метод використовує еволюційні алгоритми з багатоцільовою оптимізацією з метою зниження витрат на електроенергію та старіння батареї з урахуванням технічних обмежень (наприклад, піковий попит на навантаження, технологія зарядки). Такий підхід визначає оптимальну стратегію зарядки, яка мінімізує вартість старіння батареї (витрати на заміну батареї, розподілені на термін служби батареї).

В роботах [7,8] оцінюються ключові фактори, що впливають на енергоспоживання електробусів. Була розроблена імітаційна модель універсального електричного автобуса. Згідно з результатами моделювання, високий рівень допоміжної потужності (холодні і спекотні кліматичні умови) значно збільшує енергоспоживання. Також було відзначено, що існує сильна лінійна кореляція між агресивністю водіння та споживанням енергії. Оцінюється зниження енергоспоживання використанням алюмінієвого шасі, кузова з низькою підлогою, шин низького опору, теплового насоса та прогностичного водіння.

Робота [9] присвячена вивченню соціальних витрат, загальної вартості володіння, використання енергії, шуму під час прискорення. Було встановлено, що значна економія соціальних витрат і загальна вартість володіння в порівнянні з дизельними і біогазовими автобусами, досягається головним чином через зниження шуму, відсутність викидів при експлуатації і зменшення використання енергії. Показано, що навантаження на електробус, топографія маршруту, температура на відкритому повітрі, кількість стартів/зупинок та поведінка водія мають великий вплив на витрати енергії для електричних автобусів. Проведені заміри використання енергії на рух, обігрів або кондиціювання салону.

Також досліджувались [10] можливості збільшення терміну служби батареї при експлуатації електробусів за рахунок як внутрішнього контролю електроспоживання на борту, так і врахуванням зовнішніх факторів. У даній роботі був запропонований оптимальний метод планування на основі динамічного програмування для мінімізації витрат на заміну батареї протягом усього терміну служби автопарків електробусів. Запропонований метод зменшує інвестиції на заміну батареї на 20% для всієї системи парку електричних автобусів.

У дослідженні [11] розглядається мінімізація споживання енергії електричним мікроавтобусом, що працює в міському середовищі. Показано, що можна зменшити енергоспоживання приблизно на 7-12% за умови якщо транспортний засіб підтримує постійну швидкість між зупинками, з короткими фазами прискорення і уповільнення з використанням оптимізованого профіля швидкості, що генерується за допомогою генетичного алгоритму.

У [12] вивчався вплив конструктивних характеристик акумуляторно-електричних автобусів, а також операційних, топологічних і зовнішніх параметрів на споживання енергії при перевезеннях в міських умовах. Результати показали значний вплив класу та стану дороги, початкового заряду, завантаження пасажирів, агресивності водіння, середньої швидкості та щільності зупинок на маршруті на споживання енергії електробусом.

Визначенню оптимальної ємності ТАБ для тролейбуса з частковим автономним ходом за умов підзарядки від мережі під час руху на маршруті присвячені роботи [13, 14].

Але дослідження, спрямовані на визначення споживання електроенергії та параметрів тягової ТАБ електробусів, які забезпечують запланований термін її використання з наперед заданою ймовірністю для конкретних умов експлуатації нам невідомі.

У містах світу все більше розповсюдження для перевезення пасажирів отримує електричний транспорт, який приходить на заміну автобусів з дизельними та газовими двигунами. При цьому збільшується використання електробусів. Така еволюція міського транспорту викликана зниженням запасів та збільшенням вартості викопного палива та погіршенням екологічного стану міст, особливо мегаполісів. У зв'язку з цим важливими завданнями у цій сфері є визначення ефективності такої заміни з точки зору її впливу на екологію та вартість придбання, володіння і використання електричних транспортних засобів на протязі їх життєвого циклу. Важливим елементом електробусів є джерело енергії – тягова акумуляторна батарея (ТАБ). Перед виробниками постає задача оптимізації конструкції електробусів, важливою складовою якої є визначення оптимальних параметрів ТАБ для конкретних умов експлуатації такого транспортного засобу. Тому вирішенню цих задач присвячено багато досліджень.

### МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даного дослідження є визначення реальних витрат електроенергії та необхідної ємності тягової акумуляторної батареї для електробуса, яка забезпечить з ймовірністю не менше 95% рух на маршруті на протязі доби, та запланований термін роботи тягової акумуляторної батареї.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Обґрунтування конструктивної енергоемності ТАБ електробуса для заданих умов експлуатації потребує визначення витрати електричної енергії під час його руху маршрутом. Значення цього показника можна отримати виконав спостереження за витратами енергії тролейбуса такої ж самої моделі, яка буде використана для виготовлення електробуса. Такий підхід оснований на тому, що у даному випадку тролейбус та електробус мають однакову тягову електричну установку та кузов. На підставі вищезазначеного вимірювання витрат енергії виконувалися на тролейбусах типу PTS-12 (див.рис.1), які перебувають в експлуатації в м. Харків та мають характеристики, які впливають на витрати електроенергії, що подані у таблиці 1.



Рисунок 1 – Загальний вид тролейбуса типу PTS-12, що перебуває в експлуатації в м. Харків

Таблиця 1- Технічні характеристики тролейбусів

Параметр, характеристика	Значення показника
Маса у спорядженому стані, кг	12700
Технічно припустима максимальна маса, кг	19 000
Максимальна швидкість з технічно припустимою максимальною масою, км/год	65
Тип двигуна	Асинхронний
Потужність, кВт	180 т
Система керування	Імпульсний частотний тяговий інвертор на IGBT транзисторах типу СТТ-01
Сумарна потужність системи опалення відділення водія та салону	20 кВт
Сумарна потужність кондиціонеру відділення водія	28,5* кВт
<b>Примітка «*» фактично задіюється 50%</b>	

Витрати електроенергії визначалися за показами віртуального лічильника енергії, що входить до складу монітора пульта водія (див.рис.2).



Рисунок 2 – Монітор з віртуальним лічильником витрати електроенергії за добу

За результатами спостереження отримана вибірка даних про пробіг та витрати електроенергії за добу, за якими обчислені питомі витрати електроенергії в (кВт\*год) /км. Результати спостережень та розрахунку подані у таблиці 2. Досліджувалась робота 50 тролейбусів типу PTS-12 на різних маршрутах м.Харків. Така сукупність маршрутів є типовою для умов експлуатації у м.Харків.

Таблиця 2 – Питомі витрати електроенергії тролейбусом типу PTS-12

Номер реєстрації	Добова витрата електричної енергії, кВт*год	Добовий пробіг, км	Питома витрата електроенергії, (кВт*год)/км	Номер реєстрації	Добова витрата електричної енергії, кВт*год	Добовий пробіг, км	Питома витрата електроенергії, (кВт*год)/км
1	103	90	1,144	31	301	261	1,153
2	425	290	1,466	32	149	139	1,072
3	357	249	1,434	33	277	202	1,371
4	220	153	1,438	34	576	484	1,19
5	118	83	1,422	35	138	126	1,095
6	420	263	1,597	36	277	212	1,307
7	39	27	1,444	37	276	235	1,174
8	138	114	1,211	38	271	200	1,355
9	254	190	1,337	39	286	250	1,144
10	236	184	1,283	40	262,7	182	1,443
11	134	124	1,081	41	139	124,5	1,116
12	252,7	178	1,42	42	417	359,4	1,16
13	341	420	0,812	43	101,7	89	1,143
14	130	121	1,074	44	119	107	1,112
15	101	89	1,135	45	249	182	1,368



16	289	262	1,103	46	190	140	1,357
17	286	262	1,092	47	243	170	1,429
18	426	433	0,984	48	156	143	1,091
19	142	120	1,183	49	345	279	1,237
20	191	155	1,232	50	204	160	1,275
21	262	318	0,824	51	161,6	124,2	1,301
22	91	74	1,23	52	320	308	1,039
23	990	690	1,435	53	276	200	1,38
24	290	195	1,487	54	264	278	0,95
25	264	187	1,412	55	530	262	2,023
26	89	64	1,391	56	464	406	1,143
27	284	197	1,442	57	258	183	1,41
28	163	147	1,109	58	194	168	1,155
29	131	118	1,11	59	186	135	1,378
30	207	124	1,669	60	168	136	1,235

Статистичні характеристики вибірки питомих витрат електроенергії транспортного засобу подані у таблиці 3.

Таблиця 3 – Статистичні характеристики вибірки питомих витрат електроенергії

Характеристика та її позначення	Питомі витрати енергії за добу, кВт*год/км
Дисперсія, $s^2$	0,0409
Стандартне відхилення, $s$	0,2121
Середнє значення	1,26

Перевірка показала, що значення вибірки питомих витрат енергії відповідають нормальному закону розподілу.

Обґрунтування енергетичної ємності ТАБ має будуватися на виконанні наступних умов. Оскільки витрата електроенергії транспортним засобом, що живиться від ТАБ має мінливий характер то :

-максимальна витрати витрата електроенергії має бути в межах робочого діапазону ТАБ, що забезпечує її ресурс встановлений виробником ТАБ з одного боку, як мінімум з ймовірністю 0,95

-з іншого боку випадки, коли максимальна витрата робочого діапазону перевищує робочий діапазон ТАБ, то з ймовірністю 0,99 вона не повинна бути більшою ніж гранично допустимий розряд ТАБ, який також визначений її виробником.

Тоді ці умови можуть бути записані так:

$$C = \max \begin{cases} C_p = L \cdot X_{0,95}^{\max} + \beta = k_2 C \\ C_d = L \cdot X_{0,99}^{\max} + \beta = k_1 C \end{cases} \quad (1)$$

Де  $C_p$  – робочий діапазон розряду ТАБ, кВт\*год за яким зберігається її ресурс.

$C_d$  – допустимий діапазон розряду ТАБ кВт\*год за яким забезпечується її працездатний стан, вихід за який призводить до відмови ТАБ чи переривання кола живлення від неї;

$X_{0,95}^{\max}$  та  $X_{0,99}^{\max}$  – границі одностороннього довірчого інтервалу для питомих витрат електроенергії в (кВт\*год) / км, який обчислюється згідно з ДСТУ ISO 2602 для довірчої рівня 0,95 та 0,99;

$L$  – пробіг транспортного засобу за час роботи на маршруті, коли він живиться від ТАБ, км.

$k_1$  – відношення граничного діапазону енергетичної ємності ТАБ до її конструктивної енергетичної ємності;

$k_2$  – відношення робочого діапазону енергетичної ємності ТАБ до її конструктивної енергетичної ємності;

$C$  – конструктивна енергетична ємність ТАБ, кВт\*год;

$\beta$  – сталі питомі витрати електроенергії на живлення допоміжних кіл (опалювачів салону та відділення водія, а також кондиціонерів, кВт\*год/км.



Границі однобічного довірчого інтервалу для питомих витрат електроенергії визначають згідно з ДСТУ ISO 2602 , а саме:

$$X_{0,95}^{MAX} < \bar{x} + t_{0,95} \cdot s \text{ для довірчого рівня } 0,95 \tag{2}$$

та

$$X_{0,99}^{MAX} < \bar{x} + t_{0,99} \cdot s \text{ для довірчого рівня } 0,99. \tag{3}$$

$t_{0,95}, t_{0,99}$  це величини розподілу Стьюдента з  $v=n-1$  ступенями вільності , значення яких подані у таблиці 1 ДСТУ ISO 2602.

Сталі питомі витрати електроенергії ( $\beta$ ) –на живлення допоміжних кіл (опалювачів салону та відділення водія, а також кондиціонерів), в кВт\*год/км, можуть бути визначені так.

$$\beta = \frac{N \cdot T}{L} \tag{4}$$

або

$$\beta = \frac{N}{V_{сп}} \tag{5}$$

де  $T$  - час роботи, в год., системи опалення чи системи кондиціонування під час руху транспортного засобу маршрутом, коли споживається енергія ТАБ.

$V_{сп}$  - швидкість сполучення на маршруті, км/год.

$N$  – потужність системи опалення чи системи кондиціонування транспортного засобу.

Згідно технічних характеристик транспортного засобу , що подані у таблиці 1, система кондиціонування має потужність більшу ніж система опалення але вона працює періодично під час руху транспортного засобу маршрутом , тому в середньому використовує 50% своєї потужності, а значить її середня потужність буде не 28 кВт а 14 кВт і поступається потужності системи опалення яка, як правило, в холодний період року часу задіяна на повну потужність протягом часу роботи транспортного засобу на маршруті. Тобто значення  $\beta$  має обчислюватися для потужності системи опалення транспортного засобу

Оскільки пробіг транспортного засобу за час роботи а маршруті протягом доби має бути визначений змовником транспортного засобу , то вираз 1 краще записати так:

$$C_y = \max \begin{cases} C_y = \frac{X_{0,95}^{MAX} + \frac{N}{V_{сп}}}{k_2} \\ C_y = \frac{X_{0,99}^{MAX} + \frac{N}{V_{сп}}}{k_1} \end{cases} \tag{6}$$

Де  $C_y = C/L$  – питома конструктивна енергетична ємність ТАБ, (кВт\*год)/км.

Для отриманої вибірки даних про питомі витрати енергії значення  $X_{0,95}^{MAX}$  та  $X_{0,99}^{MAX}$  будуть такими:

$$X_{0,95}^{MAX} = 1,26 + 1,673 \cdot 0,2121 = 1,6148, \text{ (кВт*год)/км}$$

$$X_{0,99}^{MAX} = 1,26 + 2,393 \cdot 0,2121 = 1,7676, \text{ (кВт*год)/км}$$

Для сталих питомих витрат електроенергії ( $\beta$ ) на живлення системи опалення потужністю 20 кВт та швидкістю сполучення 15 км/год значення  $\beta$  буде дорівнюватися

$$\beta = \frac{10}{15} = 0,6667 \text{ кВт*год/км}$$

Відношення робочого діапазону енергетичної ємності ТАБ до її конструктивної ємності , як правило, для групи літій іонних ТАБ дорівнюється  $k_2 = 0,6$ .

Відношення граничного діапазону енергетичної ємності ТАБ до її конструктивної енергетичної ємності, як правило, для групи літій іонних ТАБ дорівнюється  $k_1 = 0,7$ .

Тоді вираз 6 буде мати такий вид:

$$C_y = \max \begin{cases} C_y = \frac{1,6148 + 0,6667}{0,6} = 3,4776 \text{ (кВт * год)/км} \\ C_y = \frac{1,7676 + 0,6666}{0,7} = 3,797 \text{ (кВт * год)/км} \end{cases} \tag{7}$$

На підставі результату обчислення (7) питома конструктивна ємність ТАБ для електробуса на базі тролейбуса PTS-12 має бути прийнята 3,797 кВт\*год/км, що з ймовірністю 0,99 забезпечить безвідмовну роботу ТАБ.

В результаті для заданої довжини маршруту  $L$  може бути підрахована необхідна ємність ТАБ

$$C = C_y \cdot L$$

яка забезпечує безвідмовну експлуатацію ТАБ з ймовірністю 0,99.

## ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

В цілому дослідження дають загальне уявлення про показники витрат енергії, але в реальних умовах експлуатації електричного транспортного засобу, особливо, коли є ряд зовнішніх факторів, таких як умови руху, кваліфікація водія, рух інтенсивність, погодні умови тощо, значення споживаної енергії може сильно змінюватися.

Сучасні електробуси та тролейбуси обладнані спеціальними приладами, які контролюють витрати електричної енергії під час руху та надають інформацію про кількість витраченої енергії під час роботи транспортного засобу на маршруті.

З точки зору обґрунтування авторами конструктивної енергоємності ТАБ електробуса для заданих умов експлуатації дослідження потребувало визначити витрати електричної енергії під час його руху маршрутом.

Об'єктом дослідження, що стосувалося наукового обґрунтування, був транспортний засіб типу PTS-12, а у даному випадку тролейбус та електробус мають однакову тягову електричну установку та кузов. Це факт був покладений в основу проведеного дослідження.

Отже, дослідження щодо вимірювання витрат енергії виконувалися авторами на тролейбусах типу PTS-12, які перебувають безпосередньо в експлуатації в м. Харків та мають характеристики, які впливають на витрати електроенергії. Для отримання значення цього показника було здійснено спостереження за витратами енергії тролейбуса такої ж самої моделі, яка буде використана для виготовлення електробуса.

Отримані авторами результати дослідження показали, що ємність ТАБ має бути достатньою для компенсації витрат енергії на рух, сталих витрат електроенергії на живлення допоміжних кіл (системи опалення, кондиціонування тощо) та враховує з ймовірністю 0,95 або 0,99 потрібну додаткову ємність, яка забезпечить не перевищення гранично допустимого розряду ТАБ, визначеного її виробником.

Методика може бути використана для визначення реальних значень питомих витрат електроенергії та ємності ТАБ для довільних моделей електробусів.

### **ВИСНОВКИ**

У статті вирішено актуальну науково-технічну задачу стосовно методики оцінки споживання енергії електробусом та параметрів тягової акумуляторної батареї в умовах експлуатації.

У результаті виконання роботи отримано такі основні результати:

1. Встановлено визначення реальних витрат електроенергії та необхідної ємності тягової акумуляторної батареї для електробуса, яка забезпечить з ймовірністю не менше 95% рух на маршруті на протязі доби та запланований термін роботи тягової акумуляторної батареї.

2. За результатами спостереження була отримана вибірка даних про пробіг та витрати електроенергії за добу, за якими були обчислені питомі витрати електроенергії в (кВт·год) /км. Перевірка показала, що значення вибірки питомих витрат енергії відповідають нормальному закону розподілу

3. Оскільки витрата електроенергії транспортним засобом, що живиться від ТАБ має мінливий характер то обґрунтування енергетичної ємності ТАБ має будуватися на виконанні наступних умов:

-максимальна витрата електроенергії має бути в межах робочого діапазону ТАБ, що забезпечує її ресурс встановлений виробником ТАБ з одного боку, як мінімум з ймовірністю 0,95

-з іншого боку випадки, коли максимальна витрата робочого діапазону перевищує робочий діапазон ТАБ, то з ймовірністю 0,99 вона не повинна бути більшою ніж гранично допустимий розряд ТАБ, який також визначений її виробником.

В результаті дослідження запропонована методика визначення реальної питомої витрати електроенергії при експлуатації електробуса, та обґрунтування ємності тягової акумуляторної батареї для забезпечення терміну її використання з заданою ймовірністю для роботи на маршруті відомої довжини.

У майбутньому подальше дослідження має бути спрямовано на визначення конкретних значень ємності ТАБ для інших моделей електробусів.

### **ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. CHEN Xiaohongb. Optimizing Battery Electric Bus Transit Vehicle Scheduling with Battery Exchanging: Model and Case Study ZHU Chaoa. 13th COTA International Conference of Transportation Professionals (ICTP 2013). <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.306>

2. Mohamed, M., Garnett, R., Ferguson, M. & Kanaroglou, P. (2016). Electric Buses: A Review of Alternative Powertrains. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 62. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.019>

3. YushengWang<sup>ab</sup>YongxiHuang<sup>b1</sup>JiupingXu<sup>a</sup>NicoleBarclay<sup>c</sup> Optimal recharging scheduling for urban electric buses: A case study in Davisio [Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review Volume 100](#), April 2017, Pages 115-132 <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.01.001>
- 4.Hnatov A., Arhun, Shch., Ponikarovska, S. Energy saving technologies for urban bus transport.International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. No14(4). 4649-4664. <https://doi.org/10.15282/ijame.14.4.2017.5.0366>
- 5.Houbbadi, A., Trigui R., Pelissier S., Bouton T. & Eduardo R.-I.(2017).Multi-Objective Optimisation of the Management of Electric Bus Fleet Charging. <https://doi.org/10.1109/VPPC.2017.8331015>
- 6.Houbbadi, A.,Trigui, R.,Pelissier, S., Redondo-Iglesias, E.& Bouton, T. (2019). Optimal Scheduling to Manage an Electric Bus Fleet Overnight Charging. Energies. <https://doi.org/10.3390/en12142727>
- 7.Lajunen, A., Kivekaes, K., Baldi, F., Vepsae-laeinen, J. & Tammi, K. (2018). Different Approaches to Improve Energy Consumption of Battery Electric Buses. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC).1-6. <https://doi.org/10.1109/VPPC.2018.8605024>
- 8.Kivekäs, K., Lajunen, A., Baldi, F., Vepsäläinen, J. & Tammi, K. (2019). Reducing the Energy Consumption of Electric Buses With Design Choices and Predictive Driving. IEEE Tran-sactions on Vehicular Technology. 11409-11419. <https://doi.org/10.1109/TVT.2019.2936772>
- 9.Borén, S. Electric buses' sustainability effects, noise, energy use, and costs. 956-971. (2019). <https://doi.org/10.1080/15568318.2019.1666324>
- 10.Wang, J., Kang, L. & Yongzhong, L. (2020). Optimal scheduling for electric bus fleets based on dynamic programming approach by considering battery capacity fade. Renewable and Sustainable Energy Reviews. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109978>
- 11.Torabi, S., BelloneM. & WahdeM. (2020). Energy minimization for an electric bus using a genetic algorithm. <https://doi.org/10.1186/s12544-019-0393-1>
- 12.Hatem, A. & Moataz M. (2021). A Prediction Model for Battery Electric Bus Energy Consumption in Transit. Energies, 14(10), 2824. <https://doi.org/10.3390/en14102824> .
- 13.Андрусенко С.І. Математична модель енергетичної ємності тягової акумуляторної батареї / С.І. Андрусенко, В.Б. Будниченко, В.С. Подпіснєв // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2021. – Вип. 3 (50) ). – С. 3–10.– (doi.org/10.33744/2308-6645-2021-3-50-003-010)–Режимдоступу: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/50/003-010.pdf>
- 14.Андрусенко С.І. Оптимізація параметрів тягової акумуляторної батареї у тролейбусах із частковим автономним ходом / С.І. Андрусенко, В.Б. Будниченко, В.С. Подпіснєв // Науково-виробничий журнал «Автошляховик України» (Автомобільний транспорт). – 2021. – № 3 (267)2021. – С. 15–21. – (doi.org/10.33868/0365-8392-2021-3-267-15-21) .

#### REFERENCES

- 1.CHEN Xiaohongb. Optimizing Battery Electric Bus Transit Vehicle Scheduling with Battery Exchanging: Model and Case Study ZHU Chaoa. 13th COTA International Conference of Transportation Professionals (CICTP 2013). <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.306>
- 2.Mohamed, M.,Garnett, R.Ferguson, M.& Kanaroglou, P. (2016). Electric Buses: A Review of Alternative Powertrains. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 62. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.019>
3. YushengWang<sup>ab</sup>YongxiHuang<sup>b1</sup>JiupingXu<sup>a</sup>NicoleBarclay<sup>c</sup> Optimal recharging scheduling for urban electric buses: A case study in Davisio [Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review Volume 100](#), April 2017, Pages 115-132 <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.01.001>
- 4.Hnatov A., Arhun, Shch., Ponikarovska, S. Energy saving technologies for urban bus transport.International Journal of Automotive and Mechanical Engineering. No14(4). 4649-4664. <https://doi.org/10.15282/ijame.14.4.2017.5.0366>
- 5.Houbbadi, A., Trigui R., Pelissier S., Bouton T. & Eduardo R.-I.(2017).Multi-Objective Optimisation of the Management of Electric Bus Fleet Charging. <https://doi.org/10.1109/VPPC.2017.8331015>
- 6.Houbbadi, A.,Trigui, R.,Pelissier, S., Redondo-Iglesias, E.& Bouton, T. (2019). Optimal Scheduling to Manage an Electric Bus Fleet Overnight Charging. Energies. <https://doi.org/10.3390/en12142727>
- 7.Lajunen, A., Kivekaes, K., Baldi, F., Vepsae-laeinen, J. & Tammi, K. (2018). Different Approaches to Improve Energy Consumption of Battery Electric Buses. IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC).1-6. <https://doi.org/10.1109/VPPC.2018.8605024>
- 8.Kivekäs, K., Lajunen, A., Baldi, F., Vepsäläinen, J. & Tammi, K. (2019). Reducing the Energy Consumption of Electric Buses With Design Choices and Predictive Driving. IEEE Tran-sactions on Vehicular Technology. 11409-11419. <https://doi.org/10.1109/TVT.2019.2936772>
- 9.Borén, S. Electric buses' sustainability effects, noise, energy use, and costs. 956-971. (2019). <https://doi.org/10.1080/15568318.2019.1666324>

10. Wang, J., Kang, L. & Yongzhong, L. (2020). Optimal scheduling for electric bus fleets based on dynamic programming approach by considering battery capacity fade. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109978>

11. Torabi, S., Bellone M. & Wahde M. (2020). Energy minimization for an electric bus using a genetic algorithm. <https://doi.org/10.1186/s12544-019-0393-1>

12. Hatem, A. & Moataz M. (2021). A Prediction Model for Battery Electric Bus Energy Consumption in Transit. *Energies*, 14(10), 2824. <https://doi.org/10.3390/en14102824> .

13. Andrusenko S.I. Mathematical model of the energy capacity of the traction battery / S.I. Andrusenko, V.B. Budnychenko, V.S. Podpisnov // *Bulletin of the National Transport University. Series "Technical Sciences"*. Scientific and technical collection. - K.: NTU, 2021. - Issue 3 (50) . – P. 3–10. – (doi.org/10.33744/2308-6645-2021-3-50-003-010) – Access mode: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/50/003-010.pdf>

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

### ***Budnychenko I.V., Kharlamov S.A. Method of assessment of energy consumption by electric bus and parameters of traction accumulatory battery under operational conditions***

The article proposes a method for determining the real specific consumption of electricity during the operation of an electric bus, and substantiating the capacity of a traction battery (TAB) to ensure the term of its use with a given probability for work on a route of a known length.

The article notes the relevance of the proposed methodology, especially in our time, when economical use of energy resources is necessary.

It is important that, based on the analysis of well-known publications, the authors pay attention to the issue of optimizing the parameters of electric buses, traction batteries, infrastructure and conditions of their use in order to reduce the operating costs of electric vehicles.

The purpose of this study is to determine the real electricity consumption and the required capacity of the traction battery for an electric bus, as well as the planned period of operation of the traction battery.

From the point of view of substantiation by the authors of the constructive energy capacity of the TAB electric bus for the specified operating conditions, the study determined the consumption of electrical energy during its movement along the route.

As a result of the research, the authors determined the real consumption of electricity and the required capacity of the traction battery for the electric bus.

It is obvious that the obtained result will ensure with a probability of at least 95% the movement on the route during the day and the planned period of operation of the traction battery.

It is shown that the capacity of the TAB should be sufficient to compensate for energy costs for movement, constant electricity costs for powering auxiliary circuits (heating systems, air conditioning, etc.) and take into account with a probability of 0.95 or 0.99 the required additional capacity, which will ensure that the maximum permissible TAB grade set by its manufacturer.

In the future, further research should be aimed at determining specific values of TAB capacity for other models of electric buses.

The method can be used to determine the real values of specific electricity consumption and TAB capacity for arbitrary models of electric buses.

**Key words:** electricity, specific costs, traction battery, capacity, probability of failure-free operation, electric bus.

*БУДНИЧЕНКО І.В.*, Національний транспортний університет, Київ, Україна, [repair2006@ukr.net](mailto:repair2006@ukr.net), [orcid.org/0000-0003-3073-4913](https://orcid.org/0000-0003-3073-4913)

*ХАРЛАМОВ С.А.*, аспірант, Національний транспортний університет, Київ, Україна, [stanyслав.kharlamov@gmail.com](mailto:stanyслав.kharlamov@gmail.com), <http://orcid.org/0009-0005-2358-850X>

*Igor BUDNYCHENKO*, National Transport University, [repair2006@ukr.net](mailto:repair2006@ukr.net), [orcid.org/0000-0003-3073-4913](https://orcid.org/0000-0003-3073-4913)

*Stanyслав KHARLAMOV*, postgraduate, National Transport University, e-mail: [stanyслав.kharlamov@gmail.com](mailto:stanyслав.kharlamov@gmail.com), <http://orcid.org/0009-0005-2358-850X>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1350



Вакуленко К. Є., Соколова Н. А., Шилле Н. В., Грекова А. В.  
*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*

## УДОСКОНАЛЕННЯ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У МІСТАХ ЧЕРЕЗ ВПРОВАДЖЕННЯ ЛОГІСТИЧНОЇ КОНЦЕПЦІЇ "ЧАСОВЕ ВІКНО"

Робота присвячена удосконаленню вантажних перевезень у містах через впровадження логістичної концепції «часове вікно». Війна в Україні створила низку перешкод для нормального функціонування транспортної та логістичної системи, кардинально змінила логістичні ланцюги постачань у міжнародному, державному, міському та міжміському сполученнях. Переміщення людей на більш безпечні території призвело до утворення негативних транспортних ефектів. Так на 2020 р. населення Валківської громади складало 30791 осіб та у зв'язку з воєнними діями на території України кількість мешканців громади за рахунок переселенців збільшилась на 20 000 осіб. Така ситуація загострила існуючі транспортні проблеми: підвищення рівня автомобілізації, масове хаотичне паркування транспортних засобів, неналежне паркування та розвантаження вантажних автомобілів тощо в підсумку сприяло перевантаженню центральної частини міста, несвоєчасності доставки товарів, перешкодам та обмеженню руху міського, міжміського, особистого, спеціалізованого транспорту, впливаючи на зниження рівня безпеки руху, підвищення рівня забруднення навколишнього середовища. Все це вплинуло на зниження якості життя та невдоволення мешканців м. Валки.

Головна мета функціонування міста – підвищення якості життя його мешканців та гостей. Тому забезпечення безперервних поставок товарів та вантажів є життєво необхідним для задоволення їх потреб. Запропоновано вирішення існуючих проблем організації руху міських вантажопотоків в м. Валки, що впливають на якість життя населення міста, шляхом впровадження логістичної концепції «часове вікно». Проведене моделювання функціонування транспортної мережі при застосуванні логістичної концепції «часове вікно» та отримана зміна параметрів міських вантажопотоків свідчать, доцільність застосування даної концепції.

Годинні обмеження, що впроваджуються в рамках концепції «часове вікно» можуть призвести до позитивних ефектів, а також можуть сприяти виникненню проблем для бізнесу з точки зору гнучкості у плануванні поставок та експлуатаційних витрат. Знаходження балансу між цими чинниками має значення для створення стійких та ефективних міських логістичних систем.

**Ключові слова:** вантажний транспорт, транспортна мережа, логістична концепція «часове вікно», вантажонапруженість, транспортна робота.

### ВСТУП

Міський вантажний транспорт (далі МВТ) важливий для функціонування міського господарства: доставка документів, посилок та інших предметів постачання до офісів, вивезення побутових відходів з міських територій, поповнення запасів продуктів харчування та інших роздрібних товарів у магазинах, МВТ грає важливу роль в економічному добробуті міст і, отже, підтримує міську економіку [1].

Війна в Україні створила низку перешкод для нормального функціонування транспортної та логістичної системи, кардинально змінила логістичні ланцюги постачань у міжнародному, державному, міському та міжміському сполученнях. Переміщення людей на більш безпечні території призвело до утворення негативних транспортних ефектів: підвищення рівня автомобілізації, масове хаотичне паркування особистих транспортних засобів, неналежне паркування та завантаження/розвантаження вантажних транспортних засобів тощо, що в підсумку спричиняючи перевантаження центральних частин міст, впливаючи на безпеку руху, забруднення навколишнього середовища та якості життя в цілому.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Ефективна доставка товару в розумно стислі терміни є одним з найважливіших завдань для логістичної компанії, щоб досягти мети комплексної логістики та задовольнити потреби клієнтів, необхідні своєчасні, недорогі, високоякісні послуги з доставки вантажів. На практиці доставка товарів із кількох складів до торгових точок (наприклад, мережних магазинів) за обмеженням у часовому вікні (тобто врахування своєчасної доставки) є ключовим питанням під час управління логістичними системами, такими як роздрібні корпорації, поштові служби, компанії зі збору сміття та служби шкільних автобусів. Таким чином, ефективне вирішення проблеми маршрутизації транспортних засобів за допомогою часових вікон може зменшити річні витрати на розподіл матеріального потоку, що становлять значну частку загальних операційних витрат у логістичній системі [1, 2]. Логістична концепція "часове вікно" у вантажних перевезеннях полягає в тому, щоб забезпечити доставку вантажу в певний часовий проміжок, що задається контрактом або угодою між сторонами. Ця концепція передбачає встановлення оптимального часового інтервалу для перевезення вантажу, щоб забезпечити максимальну ефективність та економічність у виконанні логістичних операцій (рис.1) [1].

«Часові вікна» можуть впливати на параметри вантажопотоків. Впровадження «часових вікон» для вантажних автомобілів, що здійснюють доставку вантажів по місту, може призвести до зменшення заторів на дорогах в години пікового навантаження на транспортну мережу, збільшення швидкості руху, зменшення



негативного впливу на довкілля, підвищення продуктивності та зниження логістичних витрат, що призводить до покращення якості обслуговування та задоволеності клієнтів [3, 4].

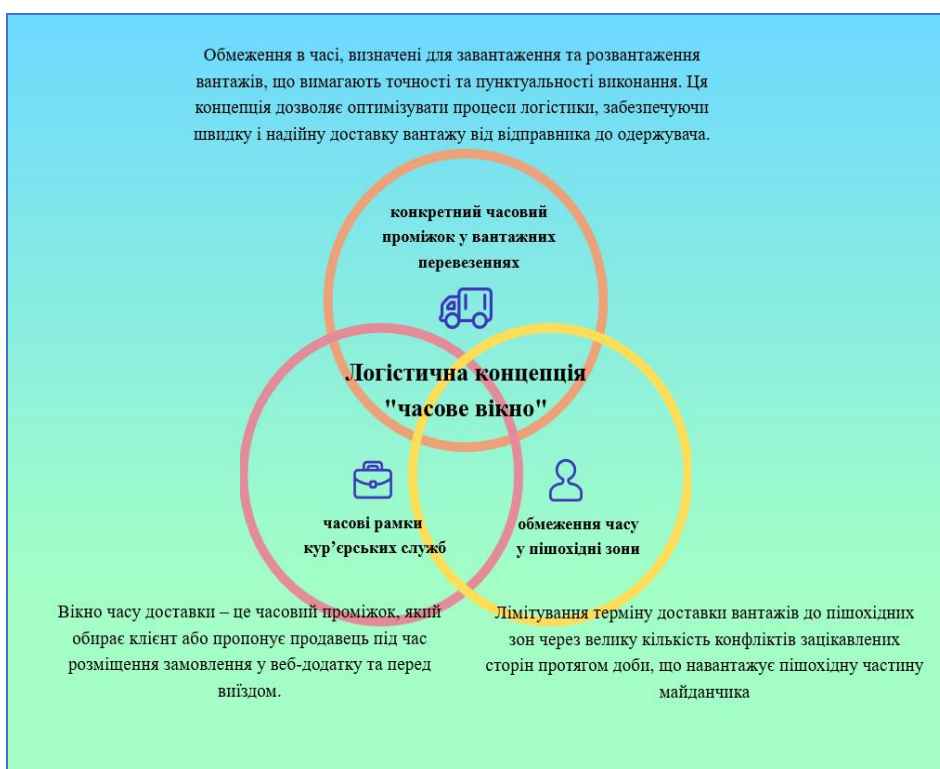


Рисунок 1 - Різновиди методу часового вікна при організації міських вантажних перевезень

Часові обмеження міських вантажних перевезень можуть мати як позитивний, так і негативний вплив на логістику та транспортування [5, 7, 8]. В якості негативного впливу можна розглядати проблеми для бізнесу, особливо для малих та середніх підприємств. Обмеження їх гнучкості у плануванні поставок та самовивозі може призвести до збільшення експлуатаційних витрат або труднощів задоволення попиту клієнтів. Адаптація до нових графіків постачання в деяких випадках може вплинути на структуру зайнятості та життєздатність бізнесу [5, 9].

Аналіз закордонного досвіду втілення заходів з удосконалення міської логістики показав, що логістична концепція «часове вікно» впроваджена у містах: Беллуно, Падуя, Ровіго, Тревизо, Венеція, Верона, Віченца (Італія) та в місті Любляна (Словенія) [3, 9]. Під час проведення аналізу розглянуто унікальне дослідження з запровадження логістичної концепції «часове вікно» на початку епідемії COVID-19 у м. Чунцін (Китай) та український досвід, що був здійснений у м. Київ.

У 2019 році, у зв'язку з розповсюдженням вірусу COVID-19, уряд Китаю закрити зони спалаху, щоб зменшити ризик передачі вірусу. Основним викликом для уряду став розподіл предметів першої необхідності серед жителів закритих територій, для цього були створені «Маршрути екстреної допомоги». Було здійснено дослідження, результати якого свідчили про те, що стратегія логістичної концепції «часове вікно» та аналізу розподілення зможуть зменшити ризик передачі вірусу COVID-19 та максимізувати використання транспортних засобів [5, 6]. Україна також має досвід запровадження «часових вікон» у період епідемії COVID-19 у м. Києві під час пікового навантаження на дорогах. Запровадження часових вікон дозволило покращити екологічну ситуацію й забезпечило розвантаження вулично-дорожньої мережі, створило додатковий простір для руху міського пасажирського транспорту, підвищило рівень пропускної спроможності вулиць та доріг столиці України.

Дослідження щодо удосконалення вантажних перевезень через впровадження концепції «часове вікно» проводилось для м. Валки, Богодухівського району, Харківської області. Історично сформована забудова м. Валки, наявна інфраструктура, особливо у центральній частині міста, має низьку пропускну спроможність та не передбачає інтенсивного руху вантажного транспорту. На 2020 р. населення Валківської громади складало 30791 осіб. У зв'язку з воєнними діями на території України кількість мешканців громади за рахунок переселенців збільшилась на 20 000 осіб, що загострило існуючі транспортні проблеми: зростання кількості автомобілів на дорогах, масове хаотичне паркування транспортних засобів, неякісна інвентаризація місць для паркування, не налагоджений механізм притягнення порушників до відповідальності, які в підсумку спричиняють перевантаження центральної частини міста, перешкоди та обмеження руху міського, міжміського, особистого та спеціалізованого транспорту та впливають на безпеку руху (рис. 2).



Рисунок 2 - Проблеми організації руху міських вантажопотоків в м. Валки

Така ситуація має значний негативний вплив на громаду, бізнес та владу: *для громади*: відсутність вільних місць для паркування та неправомірні дії водіїв; перешкоди для руху машин швидкої допомоги, пожежної охорони, поліції тощо, які обслуговують не тільки м. Валки, а й низку сіл та селищ Валківської громади; *для бізнесу*: ситуація призводить до нерентабельності, неможливості підвозу, розвантаження продукції; *для влади* – це безумовно зниження надходжень до бюджету.

### ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

В рамках дослідження було сформовано мету – доцільність впровадження логістичної концепції "часове вікно" для удосконалення вантажних перевезень у містах на прикладі м. Валки (Україна).

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні задачі:

- аналіз вантажопотоків та основних транспортних проблем у м. Валки;
- оцінка впливу «часових вікон» на параметри міських вантажопотоків.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У м. Валки зосереджується привабливий комерційний центр, оточений житловими районами, роздрібними та оптовими торговельними підприємствами (рис. 3, 4). У місті розташовані підприємства виробничої діяльності: Валківський завод будівельних матеріалів, хлібозавод «Валки-Хліб», молокозавод, м'ясокомбінат. Культурний центр розміщує в собі музей та парки, культурні пам'ятки і є привабливим середовищем для мешканців міста та громади. Місто має розвинену мережу роздрібної торгівлі, мережу закладів громадського харчування, що мають значний вплив на економіку міста, заклади освіти, лікарню (рис. 3, 4). Найбільша концентрація роздрібних магазинів, ринків, адміністративних будівель зосереджена у центральній частині міста, саме ці об'єкти слугують центрами тяжіння для мешканців міста, сіл та селищ громади, що прагнуть здійснити культурно-побутові та трудові поїздки. Для задоволення попиту покупців та забезпечення функціонування роздрібних підприємств необхідна своєчасна та регулярна робота вантажного транспорту (рис. 4).



Рисунок 3 - Діаграма відношення інфраструктурних об'єктів

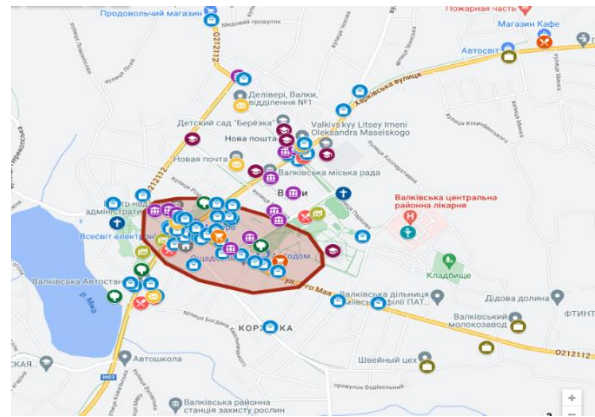


Рисунок 4 - Ділянка, де спостерігається найбільше накопичення автомобілів

Проаналізувавши години роботи підприємств, пропонується ввести декілька «часових вікон» задля безперешкодного доступу вантажного транспорту на частині вул. 1-го Травня, де спостерігається найбільша концентрація транспортних засобів у м. Валки: «6:00 – 8:45» і «20:00 – 22:45», що зменшить навантаження на транспортну мережу, зведе до мінімуму кількість негативних ефектів та конфліктів між зацікавленими сторонами.

В рамках проведеного дослідження було сформовано SWOT-аналіз впровадження логістичної концепції «часове вікно» у м. Валки (рис. 5).



Рисунок 5 – SWOT-аналіз впровадження логістичної концепції «часове вікно» у м. Валки

Для оцінки впливу «часових вікон» на параметри міських вантажопотоків проведено моделювання функціонування транспортної мережі до та після впровадженні логістичної концепції «часове вікно» за допомогою програмного забезпечення PTV Visum.

На першому етапі моделювання функціонування транспортної мережі (ТМ) в центральній частині міста визначено дуги мережі, що мають критично неприйнятні рівні обслуговування (Е, F) під час максимального навантаження на ТМ (ранковий час пік) (рис. 6).



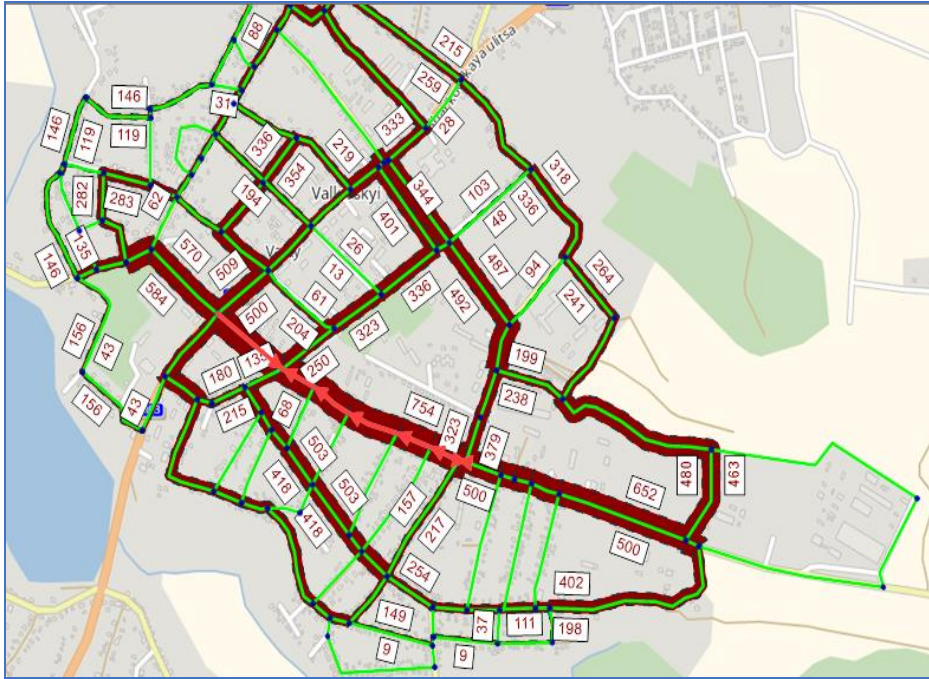


Рисунок 6 - Дуги мережі з критично неприйнятними рівнями обслуговування

Показники функціонування транспортної мережі, отримані за допомогою програмного забезпечення RTV Visum Uni 2023 (табл. 1), доводять, що стан найбільшого завантаження транспортної мережі та найбільшої роботи вантажного транспорту – ранковий час пік. Отримані результати моделювання вказують на можливість впровадження «часових вікон» в період найменшого завантаження ТМ, що збігається з запропонованими періодами впровадження «часових вікон»: з 6:00 до 8:45 та з 20:00 до 22:45.

Таблиця 1 – Показники функціонування транспортної мережі

Стан ТМ	Ранковий час пік	Мінімальне навантаження на ТМ	Вечірній час пік
Кількість ланок розрахунку, од.	291	291	291
Кількість автомобілів різної вантажопідйомності, авт.	3т	5127	1335
	5т	3695	788
	10т	3534	753
	20т	2570	548
Обсяг перевезень на ділянці, т	108536,4	23791,5	108255
Сумарна довжина ТМ, км	51,56	51,56	51,56
Транспортна робота, ткм	5596137	1226689,74	5581612
Вантажна напруженість, т/км	2105,05	461,43	2099,59
Коефіцієнт динамічного використання вантажопідйомності	0,9	0,9	0,9

На наступному етапі дослідження проведено моделювання функціонування ТМ під час впровадження логістичної концепції «часове вікно» (рис. 8 - 10).

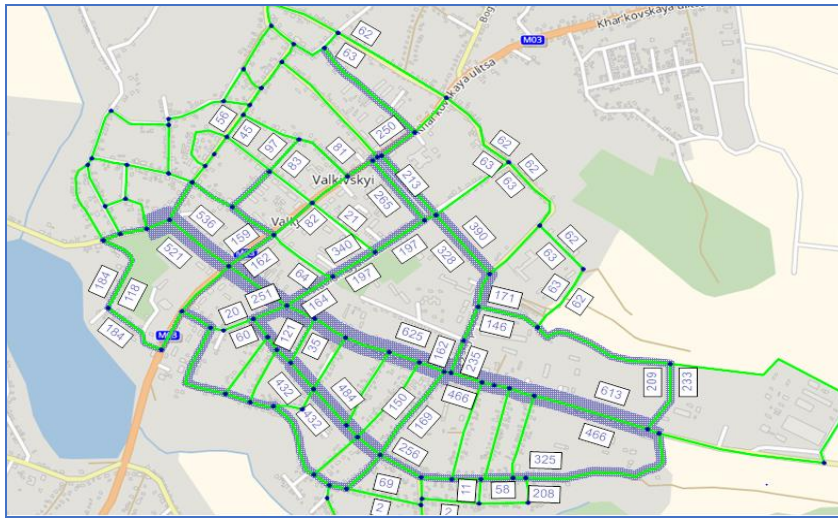


Рисунок 8 - Моделювання навантаження на ТМ під час дії «часового вікна»

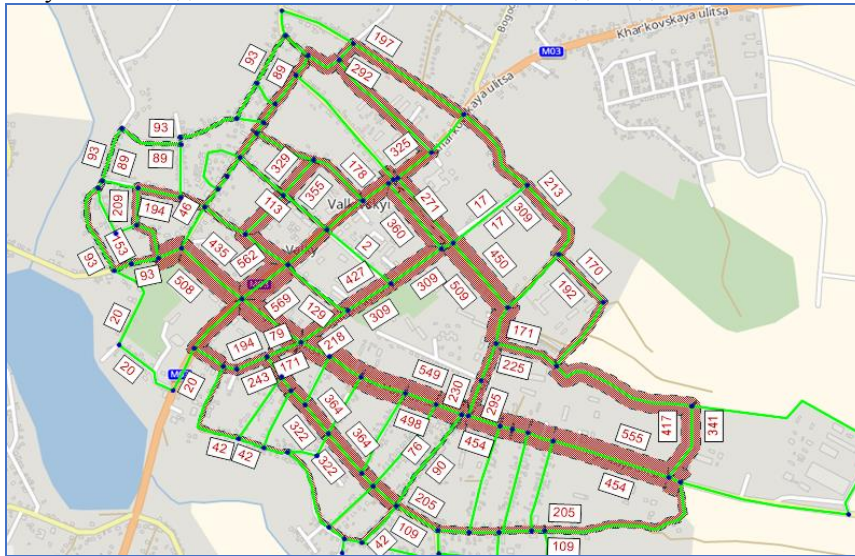


Рисунок 9 - Моделювання ТМ з заборобою на пересування вантажних автомобілів у транспортних районах, з рівнем обслуговування Е, F, у час максимального навантаження рухом

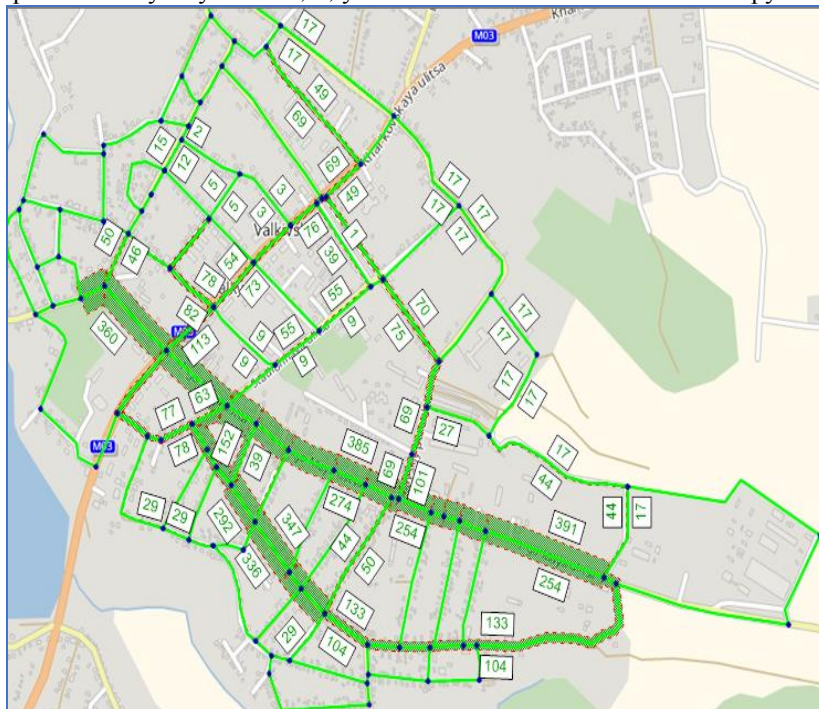


Рисунок 10 - Модель руху вантажопотоку у дозволені часові інтервали



Під час дії «часових вікон» 264 ділянки руху припадає під коефіцієнт рівня завантаження А, 8 - В, 3 - С, 16 - D, коефіцієнти Е та F відсутні, у години заборони на пересування вантажного транспорту у 1-4-х транспортних районах 259 ділянок руху відносяться до рівня завантаження А, 15 - В, 14 - С, 2 D, коефіцієнти Е та F відсутні. Стан транспортної мережі після впровадження логістичної концепції «часове вікно» покращився.

Тенденція зміни транспортної роботи «до» та «після» застосування «часових вікон» представлена на рис. 11.

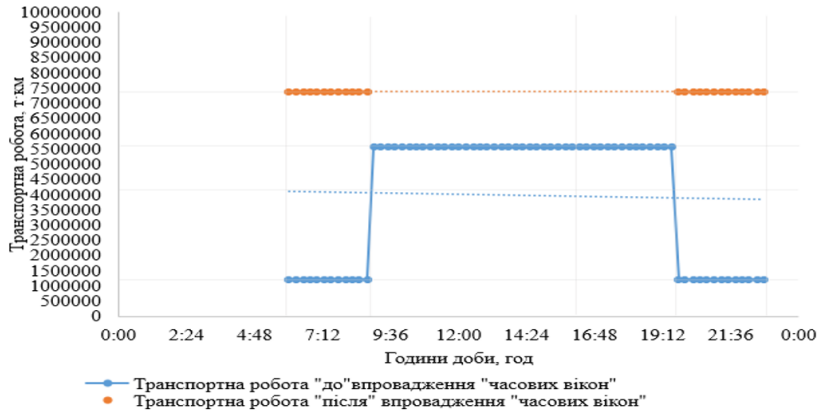


Рисунок 11 - Тенденція зміни транспортної роботи до та після впровадження «часового вікна»

Тенденція зміни вантажонапруженості «до» та «після» застосування «часових вікон» представлена на рис. 12.

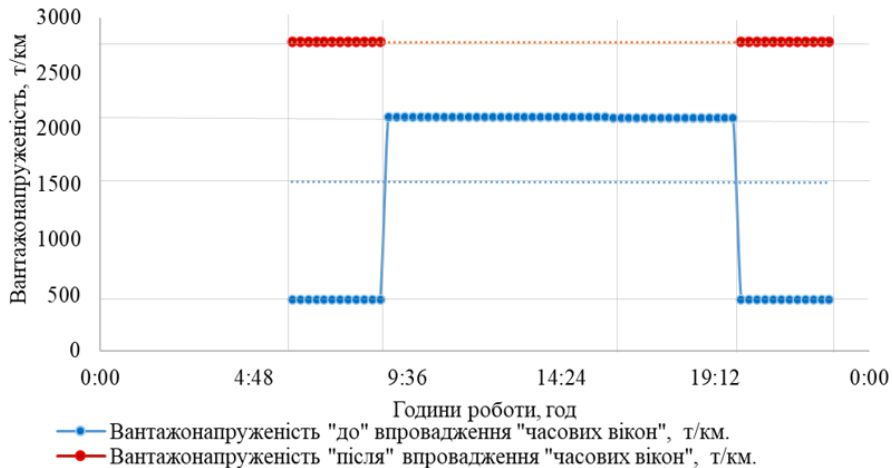


Рисунок 12 - Тенденція зміни вантажонапруженості до та після впровадження «часового вікна»

Застосування логістичної концепції «часове вікно», впливає на завантаження транспортної мережі протягом доби: перерозподіл роботи вантажного транспорту в періоди мінімального навантаження рухом транспортної мережі сприяє зменшенню інтенсивності руху транспортних засобів в години пік, уникнення критично негативних коефіцієнтів завантаження рухом (Е, F), що доводить доцільність застосування даної концепції.

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз світового досвіду впровадження концепції "часове вікно" для удосконалення міських вантажних перевезень показує, що введення такої ініціативи має позитивний вплив на зменшення транспортних проблем, сприяє зменшенню транспортних заторів, оптимізації роботи транспортної інфраструктури та покращенню якості життя мешканців. В рамках визначеної мети та задач дослідження, проведено аналіз основних транспортних проблем міста, досліджено рух та склад транспортних потоків, визначені найбільш завантажені ділянки транспортної мережі, проаналізовані години роботи підприємств, що дозволило сформувати SWOT-аналіз впровадження логістичної концепції «часове вікно» в м. Валки. Аналіз сильних (S) та слабких (W) сторін, можливостей (O) та

загроз (Т) свідчить про те, що успішне впровадження "часових вікон" в місті може бути ефективним рішенням для подолання транспортних проблем та покращенню якості життя населення. Такий підхід може принести значні вигоди як громаді, зменшуючи проблеми з паркуванням, покращуючи безпеку руху, так і бізнесу та владі, сприяючи підвищенню ефективності роботи та доходів малого та середнього бізнесу, що має вплив на економіку міста.

Для оцінки впливу «часових вікон» на параметри міських вантажопотоків проведено моделювання функціонування транспортної мережі до та після впровадженні логістичної концепції «часове вікно» за допомогою програмного забезпечення PTV Visum. Проведене моделювання функціонування транспортної мережі при застосуванні логістичної концепції «часове вікно» та отримана зміна параметрів міських вантажопотоків свідчать, що перерозподіл роботи вантажного транспорту впливає на завантаженість транспортної мережі протягом доби, сприяє зменшенню інтенсивності руху транспортних засобів в години пік, уникненню критично негативних коефіцієнтів завантаження рухом, що доводить доцільність застосування даної концепції.

### ВИСНОВКИ

В роботі проаналізований позитивний та негативний досвіди країн світу щодо впровадження логістичної концепції «часове вікно», при вирішенні питань удосконалення вантажних перевезень в містах. Практичне застосування даної концепції представлено на прикладі м. Валки, Богодухівського району, Харківської області. Отримані тенденції зміни транспортної роботи, вантажонапруженості до та після впровадження «часового вікна» свідчить про те, що даний підхід сприяє удосконаленню вантажних перевезень в м. Валки.

Підсумовуючи, можна сказати, що, хоча обмеження часових вікон можуть призвести до позитивних ефектів, вони також можуть створювати проблеми для бізнесу з точки зору гнучкості у плануванні поставок та відповідних витрат. Знаходження балансу між цими чинниками має значення для створення стійких та ефективних міських логістичних систем.

### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1.Christopher M. Logistics and supply chain management. Pearson Uk, 2022.
- 2.Zhang D., He R., Li S., Wang Z. A multimodal logistics service network design with time windows and environmental concerns. *PLoS One*, 2017. Vol. 12(9). DOI: [10.1371/journal.pone.0185001](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185001)
- 3.Ольхова М. В., Рославцев Д. М. Оцінювання заходів міської логістики: моделювання потоку вантажних транспортних засобів: монографія. Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2021. 99 с.
- 4.Gonzalez-Feliu J., Semet F., Routhier J. L. Sustainable urban logistics: Concepts, methods and information systems. *Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg*. 2014. URL: [https://www.researchgate.net/publication/281249742\\_Sustainable\\_urban\\_logistics\\_Concepts\\_methods\\_and\\_information\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/281249742_Sustainable_urban_logistics_Concepts_methods_and_information_systems) (дата звернення 12.04.2024)
- 5.Liu X., Liu J., Zhang Y. Impacts of Time Window Restrictions on Freight Operations and Emissions in Urban Areas. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2021. 95, 102823.
- 6.Fu X., Qiang Y., Liu X., Jiang Y., Cui Z., Zhang D., Wang J. Will multi-industry supply chains' resilience under the impact of COVID-19 pandemic be different? A perspective from China's highway freight transport. *Transport Policy*. 2022. Vol. 118, P. 165-178.
- 7.Huan N. C., Yi S. L., Jen. H. C. Two approaches to solving the multi-depot vehicle routing problem with time windows in a time-based logistics environment. *Production Planning & Control*. 2006. Vol. 17, P. 480-493. DOI: [10.1080/09537280600765292](https://doi.org/10.1080/09537280600765292)
- 8.Wang Y., Wang X., Fan J., Wang G., Zhen L. Emergency logistics network optimization with time window assignment. *Expert Systems with Applications*. 2023. Vol. 214, P. 119-145.
- 9.Wang Z., Dessouky M., Van Woensel T., Ioannou P. Pickup and delivery problem with hard time windows considering stochastic and time-dependent travel times. *Transportation Research Part B: Methodological*. 2016. Vol. 91, P. 598-618.
- 10.Yan Q., Zhang Q. The Optimization of Transportation Costs in Logistics Enterprises with Time-Window Constraints. *Discrete Dynamics in Nature and Society*. 2015. Vol. 2015, P. 1-10. DOI: [10.1155/2015/365367](https://doi.org/10.1155/2015/365367)

### REFERENCES

- 1.Christopher M. (2022) Logistics and supply chain management. Pearson Uk.

2. Zhang, D., He, R., Li, S., & Wang, Z. (2017) A multimodal logistics service network design with time windows and environmental concerns. *PLoS One*, 12(9), e0185001. DOI: [10.1371/journal.pone.0185001](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185001)
3. Ol'khova M. V., Roslavtsev D. M. (2021) Otsinyuvannya zakhodiv mis'koyi lohistyky: modelyuvannya potoku vantazhnykh transportnykh zasobiv: monohrafiya, 99.
4. Gonzalez-Feliu J., Semet F., Routhier J. L. (2014) Sustainable urban logistics: Concepts, methods and information systems. *Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg*. URL: [https://www.researchgate.net/publication/281249742\\_Sustainable\\_urban\\_logistics\\_Concepts\\_methods\\_and\\_information\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/281249742_Sustainable_urban_logistics_Concepts_methods_and_information_systems) (data zvernennya 12.04.2024)
5. Liu, X., Liu, J., & Zhang, Y. (2021) Impacts of Time Window Restrictions on Freight Operations and Emissions in Urban Areas. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 95, 102823.
6. Fu X., Qiang Y., Liu X., Jiang Y., Cui Z., Zhang D., Wang J. (2022) Will multi-industry supply chains' resilience under the impact of COVID-19 pandemic be different? A perspective from China's highway freight transport. *Transport Policy*, 118, 165-178.
7. Huan N. C., Yi S. L., Jen. H. C. (2006) Two approaches to solving the multi-depot vehicle routing problem with time windows in a time-based logistics environment. *Production Planning & Control*, 17, 480-493. DOI: [10.1080/09537280600765292](https://doi.org/10.1080/09537280600765292)
8. Wang Y., Wang X., Fan J., Wang G., Zhen L. (2023) Emergency logistics network optimization with time window assignment. *Expert Systems with Applications*, 214, 119-145.
9. Wang Z., Dessouky M., Van Woensel T., Ioannou P. (2016) Pickup and delivery problem with hard time windows considering stochastic and time-dependent travel times. *Transportation Research Part B: Methodological*, 91, 598-618.
10. Yan Q., Zhang Q. (2015) The Optimization of Transportation Costs in Logistics Enterprises with Time-Window. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2015, 1-10. DOI: [10.1155/2015/365367](https://doi.org/10.1155/2015/365367)

**K. Vakulenko, N. Sokolova, N. Schille, A. Hrekova Improving freight operations in urban areas through the implementation of the "time window" logistics concept**

The war in Ukraine has created a series of obstacles for the normal functioning of the transportation and logistics system, fundamentally altering the logistics supply chains in international, national, urban, and interurban connections. The displacement of people to safer territories has led to the formation of negative transportation effects. So, in 2020, the population of the city of Valky (Ukraine) community was 30,791 people, and due to military actions on the territory of Ukraine, the number of community residents increased by 20,000 people due to resettlement. This situation has exacerbated existing transportation problems: increased levels of motorization, massive chaotic parking of vehicles, improper parking and unloading of freight vehicles, timeliness of delivery of goods, etc., ultimately contributing to the overload of the central part of the city, hindrances, and restrictions on the movement of urban, interurban, personal, and specialized transport, affecting the decrease in the level of traffic safety, increasing the level of environmental pollution. All of this has led to a decrease in the quality of life and dissatisfaction among the residents of the city of Valky.

The main goal of the urban area functioning is to improve the quality of life of its residents and city guests. Therefore, ensuring uninterrupted supply of goods and cargo is vital to meet their needs. A solution to the existing problems of organizing the movement of urban freight flows in the city of Valk, which affects the quality of life of the city's population, is proposed by introducing the logistics concept of "time window". The conducted modeling of the functioning of the transport network when applying the logistics concept "time window", the resulting change in the parameters of urban freight flows indicates that the redistribution of freight transport work affects the congestion of the transport network during the day, helps reduce the intensity of vehicle traffic during peak hours, and avoids critically negative traffic load factors, which justifies the feasibility of introducing this concept. Hourly restrictions implemented under the time window concept can lead to positive effects but can also create challenges for the business in terms of flexibility in supply planning and operating costs. Finding a balance between these factors is important for creating sustainable and efficient urban logistics systems.

**Key words:** freight transport, transport network, logistics concept, time window, freight intensity, transport work.

*ВАКУЛЕНКО Катерина Євгеніївна*, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова e-mail: [vakulenko.e@ukr.net](mailto:vakulenko.e@ukr.net). <http://orcid.org/0000-0003-0164-9437>

*СОКОЛОВА Надія Анатоліївна*, асистент кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова e-mail: [nad\\_s@ukr.net](mailto:nad_s@ukr.net). <http://orcid.org/0009-0005-6832-0881>

*ШИЛЛЕ Наталя Вікторівна*, асистент кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова e-mail: [natasha.shille@gmail.com](mailto:natasha.shille@gmail.com)

*ГРЕКОВА Альона Вадимівна*, магістр зі спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами)» освітньо-наукова програми «Розумний транспорт та логістика для міст», Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова e-mail: [grekova93@gmail.com](mailto:grekova93@gmail.com)

*Kateryna VAKULENKO*, associate professor of transport systems and logistics department, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv e-mail: [vakulenko.e@ukr.net](mailto:vakulenko.e@ukr.net). <http://orcid.org/0000-0003-0164-9437>

*Nadiia SOKOLOVA*, assistant of transport systems and logistics department, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv e-mail: [nad\\_s@ukr.net](mailto:nad_s@ukr.net). <http://orcid.org/0009-0005-6832-0881>

*Natalya SHILLE*, assistant of transport systems and logistics department, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv e-mail: [natasha.shille@gmail.com](mailto:natasha.shille@gmail.com)

*Alyona HREKOVA*, master's degree in specialty 275 "Transport technologies (by type)" educational and scientific program "Smart transport and logistics for cities", O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv e-mail: [grekova93@gmail.com](mailto:grekova93@gmail.com)

DOI 10.36910/automash.v1i22.1351

УДК 656.13: 004  
UDC 656.13: 004

Волков В. П.<sup>1</sup>, Грицук І. В.<sup>2</sup>, Онищук В.П.<sup>3</sup>, Волкова Т.В.<sup>1</sup>, Стельмашук В.В.<sup>3</sup>, Збицький Д.Д.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
<sup>2</sup>Херсонська державна морська академія  
<sup>3</sup>Луцький національний технічний університет

## УДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО – ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВТОМОБІЛІВ В ПІДПРИЄМСТВІ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Метою статті є удосконалення інформаційно – програмного комплексу для контролю роботоздатного стану автомобілів в підприємстві автомобільного транспорту. Поступовий розвиток нових видів перевезень призвело до збільшення часу перебування автомобілі далеко від основної виробничої бази, і, внаслідок цього, підвищувалася роль профілактичного ТО автомобілів. Тому створення гнучкої "адаптивної" системи контролю та управління технічним станом автомобіля з елементами індивідуального підходу до кожного конкретного автомобіля стало першочерговим завданням. У зв'язку з тим, що основна частина автомобілів в Україні зосереджена в невеликих за розміром і кількістю підприємств автомобільного транспорту та неможливістю придбання ними відповідного обладнання і мати технічну службу, яка відповідає за технічний стан автомобілів виконано удосконалення ППК «Віртуальний механік «HADI - 12» і «Service Fuel Eco «NTU-HADI - 12». Таке удосконалення дозволяє механіка (диспетчера) використовувати запропоновані ППК для оцінки роботоздатного стану автомобілів в різних за кількістю і призначенням підприємствах автомобільного транспорту. Використання удосконалених ППК «Віртуальний механік «HADI - 12» і «Service Fuel Eco «NTU-HADI - 12» дозволяє перейти до «адаптивної» системи ТО і Р автомобілів, ключовим моментом якої є наявність аналогічних комплексів, що забезпечують шляхом моніторингу дистанційне отримання необхідної поточної інформації від автомобілів, її обробку і вироблення коригувальних впливів при проведенні ТО і Р. На основі інтеграції комплексу технічних засобів у запропоновану раніше транспортно-інформаційну систему моніторингу «ХНАДУ-ТЕСА» розроблена автоматизована система управління технічною експлуатацією рухомого складу автомобільного транспорту в рамках ІТС.

**Ключові слова:** автомобіль, транспортний засіб, технічна експлуатація автомобілів, підприємство автомобільного транспорту, адаптивна система ТО і Р, інформаційно – програмний комплекс, робота здатність, умови експлуатації.

### ВСТУП

Надійність і готовність транспортних засобів до експлуатації мають критичне значення для автомобільних підприємств, особливо в умовах сучасної динаміки розвитку ринку транспортних послуг. Водночас, питання забезпечення належного технічного обслуговування та своєчасного ремонту автомобілів залишається відкритим і вкрай актуальним.

Існує чимало викликів, з якими зіштовхуються автотранспортні підприємства при спробах забезпечити високий рівень технічної експлуатації. Серед них — велике навантаження на автопарк, зношеність транспортних засобів, необхідність великих капіталовкладень у модернізацію і утримання обладнання, а також високі вимоги до швидкості діагностики та відновлення роботоспроможності автомобілів.

З огляду на ці умови, стає очевидною потреба у розробці та впровадженні нових, більш ефективних підходів і технологічних рішень для контролю технічного стану автотранспорту. Підходи, які б дозволили не тільки виявляти існуючі проблеми, але й прогнозувати потенційні збої, забезпечуючи тим самим безперервну та безаварійну роботу транспорту.

Така необхідність спонукає до пошуку інноваційних рішень, зокрема до удосконалення інформаційно-програмних комплексів, які можуть враховувати специфіку конкретного автотранспортного підприємства, забезпечуючи адекватний рівень моніторингу та управління технічними параметрами автомобілів. Усе це в контексті загальної тенденції до збільшення інформатизації управління процесами на підприємствах різних сфер.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Автомобільний транспорт (АТ) є найважливішим сектором української економіки, який обслуговує практично всі галузі господарювання та верстви населення, сприяє зростанню мобільності та якості населення. В даний час автомобільний парк України нараховує понад 14 млн. одиниць автомобілів, структура яких виглядає наступним чином [1, 2]: вантажних автомобілів - 15,5%, автобусів - 2,6%, легкових автомобілів - 81,9%.



На підставі результатів аналізу сучасного стану АТ і її підсистеми – технічної експлуатації автомобілів (ТЕА) виявлено, що основна частина автомобілів в Україні зосереджена в невеликих за розміром і кількістю підприємствах автомобільного транспорту (ПАТ). Це призвело до організаційного і технологічного вакууму, результатом чого є практично неконтрольована експлуатація автомобілів в більшості невеликих підприємствах АТ, погіршення технічного стану рухомого складу (РС), збільшення кількості ДТП, викликаних несправністю автомобілів і забруднення навколишнього середовища.

ТЕА, за визначенням [3] є однією з найважливіших підсистем АТ, яка представляє собою комплекс організаційних і технічних заходів для забезпечення підтримки роботоздатності автомобілів. Існуюча система технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) сформувалася на базі спрощеної моделі функціонування транспортної інфраструктури коли вся обслуговуюча і ремонтна база була зосереджена в рамках конкретного підприємства автомобільного транспорту (ПАТ) і всі види технічних впливів здійснювалися самим підприємством. У існуючій системі ТО і Р негнучкість в частині забезпечення роботозданого стану автомобіля на лінії проявляється в одноманітності підходу до автомобілів різного віку, тому що, перелік операцій і періодичність ТО ідентичні і для нового автомобіля, і для автомобіля перед його відновлюваним ремонтом і списанням.

Поступовий розвиток нових видів перевезень призводило до збільшення часу перебування автомобілі далеко від основної виробничої бази, і, внаслідок цього, підвищувалася роль профілактичного ТО автомобілів. Тому створення гнучкої "адаптивної" системи контролю та управління технічним станом автомобіля з елементами індивідуального підходу до кожного конкретного автомобіля стало першочерговим завданням [4].

У зв'язку відсутністю технічного відділу в невеликих ПАТ, а також з застосуванням на автомобілях вбудованого бортового діагностування, розвитку супутникових систем навігації і мобільного зв'язку, сучасних інформаційних технологій з'явилася можливість здійснювати дистанційний моніторинг з оцінкою рівня роботоздатності автомобілів диспетчером (механіком) підприємства. Це в свою чергу дозволяє перейти до «адаптивної» системи ТО і Р автомобілів, ключовим моментом якої є розробка інформаційно-комунікаційних технологій і відповідних інформаційних програмних комплексів (ІПК), що забезпечують шляхом моніторингу дистанційне отримання необхідної поточної інформації від автомобілів, її обробку і вироблення коригувальних впливів при проведенні ТО і Р.

Поява на транспорті, наприклад, в авіації «систем з повною відповідальністю», типу *FADEC* (Full Authority Digital Electronic Control system) [6], дозволяє нейтралізувати існуючі труднощі. Концепція *FADEC* спрямована на створення єдиної структури з бортових систем управління робочими процесами вузлів і агрегатів, систем контролю і діагностування, систем організаційно-функціональної підтримки процесів експлуатації автомобілів, що дозволяє формувати інформаційні системи організаційно-функціональної підтримки (збору, аналізу та управління потоками інформації) процесів експлуатації, тобто дозволяє реалізувати на практиці ІІВ / CALS / PLM-технології.

ІІВ / CALS / PLM-технології, тобто інформаційна підтримка поставок і ЖЦ виробів – це сучасний підхід до проектування, виробництва і експлуатації високотехнологічної та наукомісткої продукції, що полягає у використанні комп'ютерної техніки і сучасних інформаційних технологій на всіх стадіях ЖЦ виробів [6, 7, 8]. У сфері транспортних компаній автомобільного транспорту загального користування інтегроване інформаційне середовище ІІВ / CALS / PDM-технологій тільки впроваджується. Прикладом може бути програма *Torque* [9], як основа «автомобільної» концепції *FADEC*, що представляє собою перший крок до системи *FRACAS* і, відповідно ІІВ / CALS / PLM-технологій, які призначені для отримання і відображення діагностичної інформації бортової системи самодіагностування. Сьогодні вона вже «вміє» відображати поточні параметри роботи двигуна, інших систем, вузлів і агрегатів автомобілів, відображати і розшифровувати «коди помилок», «стирати помилки» з електронного блоку управління (ЕБУ), автоматично відправляти значення величин параметрів, що контролюються датчиком, в інтегроване електронне інформаційне метаспространство, де протягом півроку можна подивитися не тільки поточні значення контрольованих величин в різний час, але і побачити на карті весь маршрут автомобіля за цей період [8]. Не менш значущими для ІІВ / CALS / PLM-технологій на АТ є такі найпростіші (з точки зору вирішуваних на АТ завдань) електронні інформаційні системи, як GPS -Trace Orange, M2M, СКВТ, Teletrack, Dynafleet® [5, 8].

## ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою статті є удосконалення інформаційно – програмного комплексу для контролю роботоздатного стану автомобілів в підприємстві автомобільного транспорту.

В процесі реалізації можливих схем бортової частини інтелектуальної системи моніторингу автомобілів, обладнаних *OBD II*, виникає необхідність підбору програмного забезпечення (ПЗ) процесу збору технічної інформації про параметри транспортного засобу (ТЗ, автомобіля). Одним із найбільш функціональних ПЗ, що відповідає поставленим вимогам є *Torque Pro* що працює на мобільній ОС *Android*.

Удосконалення ПЗ для контролю роботоздатного стану автомобілів в умовах експлуатації в звичайних і невеликих ПАТ виконано на базі ПЗ “Віртуальний механік “HADI – 12”” і «*Service Fuel Eco «NTU-HADI-12»*» [8, 9]. Особливості реалізації розробленого алгоритму полягають в такому:

- параметри автомобіля є особливостями функції формування і введення початкових даних для роботи програми і можуть бути конструктивними, технологічними і нормативними згідно з конкретними умовами, а також інформації про роботу автомобіля, яку отримують під час процесу експлуатації;

- зв’язки між основними елементами ПЗ обумовлені на початку роботи програми і призначені для відзеркалення взаємодії розрахункових параметрів із заданими показниками;

- кінцевим результатом ПЗ є визначення добової кількості ТО і Р, мінімальної та оптимальної продуктивності технічної служби (ТС ПАТ), коефіцієнта готовності, витрат палива, мастильних матеріалів, викидів шкідливих речовин, відходів.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для інтенсифікації діяльності ТС відповідно до її характеристик і умов експлуатації автомобіля удосконалено ПЗ, укрупнена структурна схема якого представлена на рисунку 1.

В укрупненій структурній схемі комплексу «*Service Fuel Eco «NTU-HADI-12»*» (рис. 1) виділено п’ять основних блоків, які зв’язані між собою логічно:

- початкові дані (рівень *a*);
- розрахунки параметрів комерційної експлуатації автомобілів (рівень *b*);
- розрахунки технологічних параметрів автомобілів (рівень *c*);
- визначення екологічних параметрів (рівень *d*).
- визначення головних результатів (рівень *e*).

Входом і процесом роботи програми рівня *a* служать:

- конструктивні параметри автомобіля, що визначаються заводом-виробником, серед яких насамперед витрата пального л/100км, ряд параметрів двигуна, модифікація автомобіля і його інші характеристики;

- параметри автомобіля нормативні, основними з яких є нормативні пробіги до дій і їх трудомісткості;

- показники ТС, а саме кількість робочих, кількість робочих змін, тривалість робочої зміни і інше;

- дані, отримані з Internet-сервера, куди надходить інформація з бортового обладнання автомобіля.

Блок *b* утворює в загальному вигляді розрахунок показників комерційної експлуатації:

- параметрів стану парка автомобілів за день експлуатації;
- параметрів стану парка автомобілів за певний період експлуатації (за пробіг до технічних впливів);

- вірогідність перебування автомобіля в роботі, в ТО і Р.

Блок *c* утворює технологічний розрахунок ТС:

- розрахунок часових станів автомобіля на постах ТО і Р і загального часу перебування автомобіля;

- розрахунок кількісних і якісних показників ТС, наприклад таких, як пропускну здатність підрозділів ТС та ін.

Блок *d* утворює в загальному вигляді розрахунок екологічних показників автомобілів:

- витрата пального і змащувальних матеріалів;
- викиди за основними типами шкідливих речовин (оксид вуглецю, вуглеводні, оксиди азоту, тверді частки);

- відходи, а саме відпрацьовані акумуляторні батареї, шини, фільтри.

На кінцевому рівні *e* визначаються найбільш значущі показники:

- кількість дій ТО і Р за робочий день;

- продуктивність ТС min і opt;
- коефіцієнт готовності автомобілів в цілому;
- екологічні показники.

ППК [10, 11] дозволяє: проводити моніторинг параметрів станів як конкретної одиниці автомобілів, так і ПАТ в цілому з урахуванням реальних експлуатаційних умов; моделювати виробничу структуру ТС; визначати екологічні показники окремих автомобілів і парку в цілому.

На підставі представлених алгоритмів і за допомогою залежностей математичних моделей «Віртуальний механік «HADI-12»» [8] і «Service Fuel Eco «NTU-HADI-12»» [9], було розроблено комп'ютерні програми, направлені на інтеграцію в ITS.

Моделі і методи ППК «Віртуальний механік «HADI-12»» і «Service Fuel Eco «NTU-HADI-12»» базуються на дослідженнях, проведених в ХНАДУ і НТУ.

Удосконалений ППК «Service Fuel Eco «NTU-HADI-12»» має повний набір функціональних можливостей ППК «Віртуальний механік «HADI-12»», а також додаткові можливості, які виділені в окремий вкладиш ПП «Екологічні показники». В основу цих програмних продуктів покладені дослідження, спрямовані на покращення показників паливної економічності та екологічної безпеки автомобілів.

У теорії ТЕА відповідно до досліджень, виконаних в ХНАДУ і НТУ [5, 10], ключовим параметром, що визначає групу умов експлуатації автомобілів і дозволяє автоматично корегувати періодичність ТО, є середньотехнічна швидкість  $V_T$ . Удосконалені математичні моделі містять такі основні блоки:

- початкова інформація (блок отримання початкової інформації);
- розрахунок параметрів (блок розрахунку параметрів ефективності функціонування);
- оптимізація (блок оптимізації параметрів ІТС підприємства);
- розрахунок екологічних показників (блок розрахунків екологічних показників (тільки у

ППК «Service Fuel Eco «NTU-HADI-12»»).

Блок отримання початкової інформації служить для коректування, відповідно до Положень, норм і нормативів ТО та визначення обсягів робіт, а також обліку даних, отриманих за допомогою системи GPS.

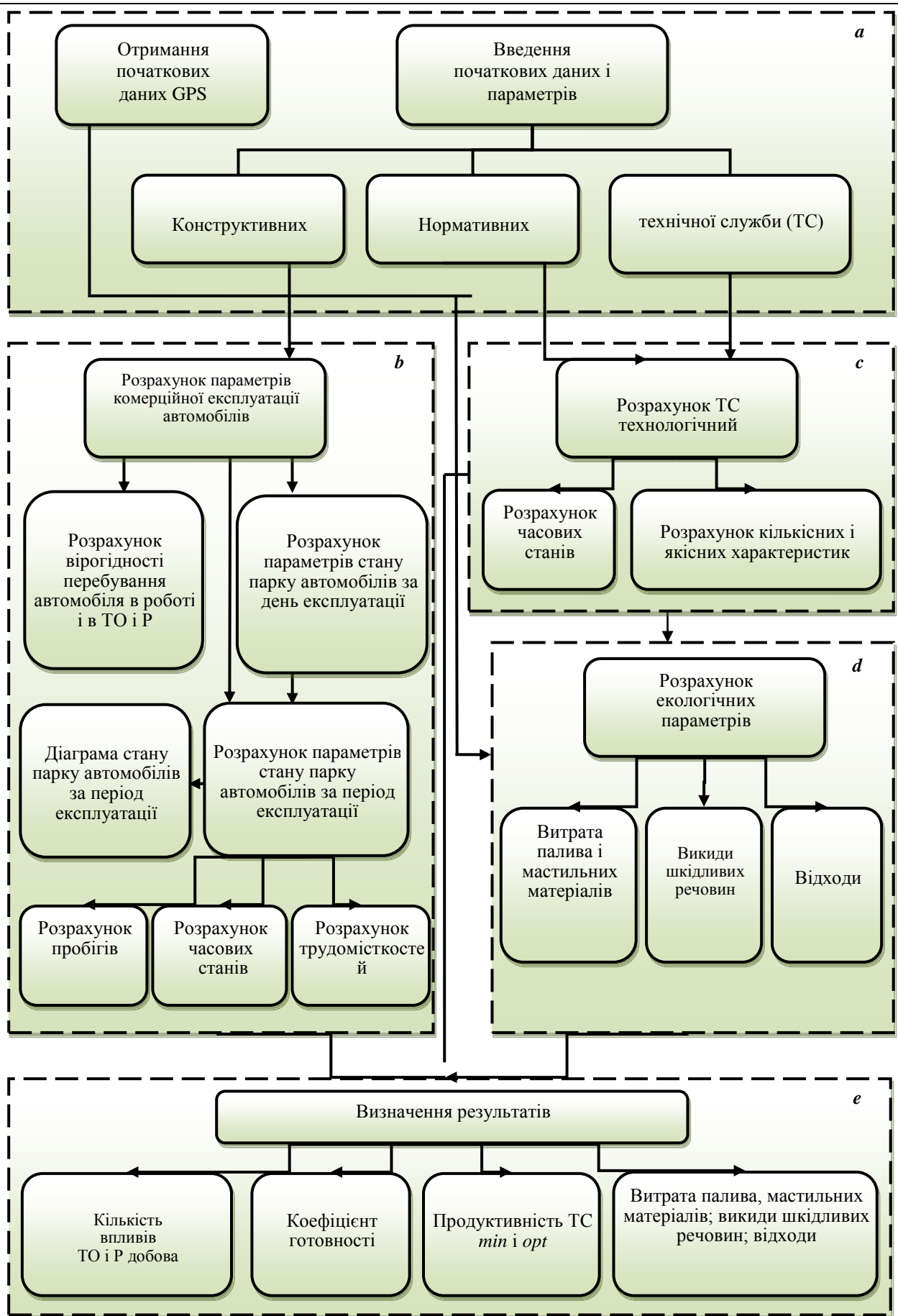


Рисунок 1 - Укрупнена структурна схема ІПК «Service Fuel Eco«NTU-HADI-12»»

Основними початковими даними ІПК «Віртуальний механік «HADI-12»» і «Service Fuel Eco «NTU-HADI-12»» є дані про РС:

- державний реєстраційний номер;
- марка;
- категорія;
- модифікація;
- тип пального;
- екологічний клас (для «Service Fuel Eco «NTU-HADI-12»»);
- витрата пального, л/100км;
- рік випуску;
- пробіг, км;
- коефіцієнт діагностики (РД).

Залежності для розрахунку технологічних параметрів були взяті з [3]:

- пробіг до ВР ( $L_k^1$ ), км;
- пробіг до ТО-1 ( $L_k^1$ ), км;
- пробіг до ТО-2 ( $L_2^1$ ), км;
- трудомісткість ТО-1 ( $T_1^1$ ), люд.год;
- трудомісткість ТО-2 ( $T_2^{11}$ ), люд.год;
- трудомісткість ПР питома ( $T_P^{11}$ ), люд.год / 1000 км.

Дані, що надходять в ІПК автоматично із звітів, отриманих з інтернет-сервера, на який надходить і накопичується інформація з датчиків автомобілів, серед яких:

- пробіг середньодобовий, км;
- швидкість середня, км/год;
- час руху, год;
- час простою в процесі виконання роботи, год;
- час в ТО і Р, год.

Блок розрахунку параметрів ефективності функціонування. Тут проводяться обчислення відповідно до єдиної методики для ІПК «Віртуальний механік «HADI-12»» і «Service Fuel Eco «NTU-HADI-12»»:

- пробіги до ТО і ВР з урахуванням коефіцієнтів;
- пробіги до ТО і ВР з урахуванням кратності середньодобового пробігу, км:

$$L_1 = \frac{L_1}{L_{сд}} \cdot L_{сд}, \quad (1)$$

$$L_2 = \frac{L_2}{L_1} \cdot L_1, \quad (2)$$

$$L_k = \frac{L_k}{L_2} \cdot L_2, \quad (3)$$

де  $L_{сд}$  – середньодобовий пробіг одиниці РС, км (дані від GPS);

- трудомісткість ТО, люд.год;
- трудомісткість ПР питома, люд.год/1000 км;
- кількість заявок ЦО від РС за її ЖЦ;
- кількість заявок ТО-2 від РС за її ЖЦ;
- кількість заявок ТО-1 від РС за її ЖЦ;
- кількість супутніх заявок ПР від РС за її ЖЦ;
- кількість випадкових заявок ПР від РС за її ЖЦ;



- кількість заявок сумарна від РС за її ЖЦ;
- вірогідність формування заявок на ТО і Р від РС;
- інтенсивність надходження заявок від парку РС за день робочий,  $\text{дн}^{-1}$ ;
- інтенсивність надходження заявок від парку РС на допоміжну ділянку,  $\text{дн}^{-1}$ ;

$$\lambda_y = \omega_y \cdot L_{сд} \cdot A_c, \quad (4)$$

де  $\omega_y$  – параметр потоку відмов, які усуваються на допоміжній ділянці, відмова/тис.км;

- інтенсивність обслуговування заявок на окремих постах в підрозділах ТС ПАТ,  $\text{дн}^{-1}$ ;
- кількість постів у підрозділах ТС ПАТ;
- інтенсивність (пропускна здатність) підрозділів ТС ПАТ,  $\text{дн}^{-1}$ ;
- точка насичення підрозділів основного виробництва ТС ПАТ, од.;
- тривалість простою РС в підрозділах ТС ПАТ при виконанні технічних дій, дн;
- продуктивність ТС мінімальна, люд.год/дн;
- інтенсивність надходження РС в підрозділі ТС уточнена,  $\text{дн}^{-1}$ ;

$$\lambda_i = A_c \cdot \left( t_i^* + \frac{1}{\mu_{ti}} \right) - 1; \quad (5)$$

- завантаження ТС ПАТ:

$$\rho_{Si} = \frac{\lambda_i}{\mu_{Si}}; \quad (6)$$

- продуктивність мінімальна для гарантованого забезпечення середнього договірному часу простою автомобіля в підрозділах ТС ПАТ, люд.год/дн;

- коефіцієнт готовності:

$$K_{\Gamma} = \frac{\frac{L_i}{L_{сд}}}{\frac{L_i}{L_{сд}} - t_{\Theta i}^*}. \quad (7)$$

*Блок оптимізації параметрів ТС ПАТ.* Тут проводяться обчислення:

- продуктивність ТС оптимальна, люд.год/дн;
- мінімальні значення витрат, грн;
- обмеження на тривалість простою РС у підрозділах ТС ПАТ при виконанні технічних дій,

дн:

$$t_i^* \geq \frac{T_i}{\Pi - \sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot T_i} + \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot T_i^2}{\Pi \cdot (\Pi - \sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot T_i)}; \quad (8)$$

- обмеження на вірогідність простою ТС:

$$P_O^* \geq \frac{\Pi - \sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot T_i}{\Pi} \quad (9)$$

Блок розрахунків екологічних показників. Тут проводяться обчислення відповідно до методики «Service Fuel Eco«NTU-HADI-12»». Визначаються витрати пального, мастильних матеріалів, викиди, відходи [12].

Середня витрата пального РС:

- при виконанні транспортної роботи, л/100км (м<sup>3</sup>/100 км, СПГ);
- при ТО і Р (5 % витрати палива при виконанні транспортної роботи), л.

Величина витрат мастильних матеріалів наведена в таблиці 1.

Масові викиди шкідливих речовин (ШР) розраховуються за формулою, т:

$$M_i = \sum_{m=1}^m g_{icj} G_j K_{Tikj} k_j, \quad (10)$$

де  $g_{icj}$  – середній питомий викид  $i$ -ї ШР (табл. 3) з одиниці маси  $j$ -го виду пального, кг/т;

$Q_j$  – витрата  $j$ -го пального РС за певний період, т;

$T_{ikj}$  – коефіцієнт, що враховує вплив технічного стану РС  $k$ -го типу, що споживає  $j$ -й вид пального, на величину питомих викидів;

$k_j$  – коефіцієнт приведення РС до екологічного класу.

Значення коригуючого коефіцієнта  $T_{ikj}$  вибирають залежно від: шкідливої речовини ( $i$ ), викид якої розраховують; типу автомобіля ( $k$ ) і виду споживаного пального ( $j$ ), використовуючи дані таблиці 2.

Середні питомі викиди  $g_{icj}$ , вибирають з таблиці 3.. Значення середніх питомих викидів ШР приведені для випадку, коли автомобіль не має систем нейтралізації відпрацьованих газів (ЄВРО-0). Для екологічних класів ЄВРО-1 – ЄВРО-6 використовуються коефіцієнти приведення  $k_j$  до норм ЄВРО (табл. 4).

Відходами на автомобільному транспорті загального користування є акумуляторні батареї, шини, фільтри. Кількість відпрацьованих акумуляторних батарей визначається, виходячи з кількості встановлених на автомобілі акумуляторів, термінів їх експлуатації і ваги, од./ рік:

$$N = \sum_{m=1}^m N_{авт.i} \cdot n_i / T_i, \quad (11)$$

де  $N_{авт.i}$  – кількість автомобілів, забезпечено акумуляторами  $i$ -го типу, од.;

$n_i$  – кількість акумуляторів на автомобілі, од.;

$T_i$  – експлуатаційний термін служби акумулятора  $i$ -ї марки, рік.

Вага відпрацьованих акумуляторів дорівнює, т / рік.

Таблиця 1 – Витрата мастильних матеріалів в ІПК «Service Fuel Eco «NTU-HADI-12»»

Категорія автомобільного транспортного засобу	Витрата мастильних матеріалів, л/100 л (л/100 м <sup>3</sup> , СПГ) (по відношенню до витрати пального)			
	моторна олива	трансмій на олива	спеціальні оливи	пластичні мастила
M1	0,5...1,8	0,02...0,15	0,01...0,05	0,05...0,1
M2	0,5...1,8	0,02...0,15	0,01...0,05	0,05...0,1
M3	1,5...2,8	0,1...0,4	0,05...0,1	0,1...0,3
N1	0,5...1,8	0,02...0,15	0,01...0,05	0,05...0,1
N2	1,5...2,8	0,1...0,4	0,05...0,1	0,1...0,3

N3	1,5...2,8	0,1...0,4	0,05...0,1	0,1...0,3
----	-----------	-----------	------------	-----------

Значення коригуючого коефіцієнта  $T_{ikj}$  вибирають залежно від: шкідливої речовини ( $i$ ), викид якої розраховують; типу РС ( $k$ ) і виду споживаного пального ( $j$ ), використовуючи дані таблиці 2.

Таблиця 2 – Значення коефіцієнтів  $T_{ikj}$  у ІПК «Service Fuel Eco «NTU-HADI-12»»

Категорія автомобільного транспортного засобу	Значення коефіцієнта $T_{ikj}$ для різних ШР			
	CO	$C_mH_n$	NO <sub>x</sub>	PM
M1	1,5	1,5	0,9	-
M2	1,7	1,8	0,9	-
M3	1,5	1,4	0,95	1,8
N1	1,7	1,8	0,9	-
N2	1,7	1,8	0,9	-
N3	1,5	1,4	0,95	1,8

Середні питомі викиди  $g_{icj}$  вибирають з таблиці 3. Значення середніх питомих викидів ШР наведено для випадку, коли автомобіль немає систем нейтралізації відпрацьованих газів (Євро-0). Для екологічних класів Євро-1 – Євро-6 використовуються коефіцієнти приведення  $k_j$  до норм Євро (табл. 4).

Таблиця 3 – Значення середніх питомих викидів ШР з одиниці споживаного пального в ІПК «Service Fuel Eco «NTU-HADI-12»»

Вид пального	Питомі викиди ШР кг/т пального			
	$g_{CO}$	$g_{CH}$	$g_{NOx}$	$g_{PM}$
Бензин	196,5	37,0	21,8	–
Зріджений нафтовий газ	196,5	37,0	21,8	–
Дизельне пальне	36,0	6,2	31,5	3,85
Стиснений природний газ	87,5	22,4	27,6	–

Таблиця 4 – Коефіцієнти приведення до норм Євро  $k_j$ 

Шкідливі речовини	Екологічні класи РС						
	Євро-0	Євро-1	Євро-2	Євро-3	Євро-4	Євро-5	Євро-6
CO	1	0,4	0,32	0,17	0,12	0,12	0,10
NO <sub>x</sub>	1	0,55	0,49	0,34	0,24	0,13	0,12
$C_nH_m$	1	0,46	0,46	0,28	0,2	0,2	0,15
PM	1	0,51	0,21	0,14	0,03	0,03	0,025

$$M = \sum_{m=1}^m N_i \cdot m_i \cdot 10^{-3}, \quad (12)$$

де  $N_i$  – кількість відпрацьованих акумуляторів  $i$ -ї марки, од. / рік;

$m_i$  – вага акумуляторної батареї  $i$ -го типу з електролітом, кг.

Вага відпрацьованих шин з металевим кордом і з тканинним кордом визначається за формулою, т/рік:

$$M = \sum_{m=1}^m (L_i \cdot m_i \cdot N_i \cdot n_i) / (L_{ni} \cdot 10^{-3}), \quad (13)$$

де  $N_i$  – кількість автомобілів  $i$ -ї марки, од.;

$n_i$  – кількість шин, встановлених на автомобіль  $i$ -ї марки, од.;

$m_i$  – вага однієї зношеної шини даного типу, кг;

$L_i$  – середній річний пробіг автомобілів  $i$ -ї марки, тис.км / рік;

$L_{ni}$  – норма пробігу автомобілів  $i$ -ї марки до заміни шин, тис.км.

Вага відпрацьованих фільтрів, що утворилися при експлуатації автомобілів, визначається за формулою, т/ рік:

$$M = \sum_{m=1}^m (L_i \cdot m_i \cdot N_i \cdot n_i) / (L_{ni} \cdot 10^{-3}), \quad (14)$$

де  $N_i$  – кількість автомобілів  $i$ -ї марки, од.;

$n_i$  – кількість фільтрів, встановлених на автомобіль  $i$ -ї марки, од.;

$m_i$  – вага одного фільтра на автомобілі  $i$ -ї марки, кг;

$L_i$  – середній річний пробіг автомобілів  $i$ -ї марки, тис.км / рік;

$L_{ni}$  – норма пробігу автомобіля  $i$ -ї марки до заміни фільтрів, тис.км.

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Регламент описує порядок роботи з ІПК «Service Fuel Eco «NTU-HADI - 12»».

Пункти головного меню програм ІПК представлені в таблиці 5.

Таблиця 5 – Пункти головного меню програми і посилання на їх опис

Пункт меню	Опис
Меню	
Вихід	Вихід з програми
Друк	Друк таблиці «Інформація про експлуатаціюавтомобілів початкова»
Розрахунок параметрів експлуатації автомобіля	
Інформація початкова	Інформація про експлуатацію автомобіля початкова
Обробка GPS- даних	Обробка звітів, які поступили в робочі папки автомобілів
Параметри станів парку автомобіля за період експлуатації	Розрахунок параметрів станів парку автомобілів за період експлуатації (розрахунок параметрів за даними звітів сервера)
Параметри стану парку автомобілів за день експлуатації	Відображення параметрів станів парку автомобілів за день експлуатації (розрахунок параметрів за даними звітів сервера)
Вірогідність перебування автомобіля в роботі і в ТО і Р	Розрахунок вірогідності перебування автомобіля в ТО і Р і в роботі
Розрахунок ТС технологічний	Відображення вікна «Розрахунок ТС технологічний»
Показники екологічні	
Витрати	Розрахунок витрат палива і мастильних матеріалів
Викиди	Розрахунок викидів шкідливих речовин
Відходи	Розрахунок відходів

Подальше представлення робочих вікон ІПК «Service Fuel Eco «NTU-HADI - 12»» показано без робочих вікон з набором функціональних можливостей ІПК «Віртуальний механік «HADI-12»».

Для розрахунку витрати палива і мастильних матеріалів необхідно вибрати в головному меню вікно: «Розрахунки екологічних показників => Витрати» (рис. 2).

Інформація вікна «Розрахунки екологічних показників => Витрати» - це широкий спектр параметрів (рис. 2):

- державний реєстраційний номер автомобіля;
- група автомобіля;

- витрата палива при виконанні транспортної роботи, л/100 км;
- витрата палива при ТО і Р, л;
- витрата оливи моторної, л/100 л (л/100 м<sup>3</sup>, СПГ);
- витрата оливи трансмісійної, л/100 л (л/100 м<sup>3</sup>, СПГ);
- витрата оливи спеціальної, л/100 л (л/100 м<sup>3</sup>, СПГ);
- витрата мастил пластичних, л/100 л (л/100 м<sup>3</sup>, СПГ).

Для розрахунку викидів шкідливих речовин необхідно вибрати в головному меню вікно: «Розрахунки екологічних показників => Викиди» (рис. 3).

Інформація вікна «Викиди» може бути відсортована за державними реєстраційними номерами ТЗ і за датою надходження (рис. 3).

Государственный номер ТС	Группа ТС	Расход топлива при выполнении ТР, л/100км	Расход топлива при выполнении ТО и Р, л	Расход моторного масла, л/100л	Расход трансмиссионного масла, л/100л	Расход специальных масел, л/100л	Расход пластичных смазок, л/100л
AK 5689 AN	автобус > 5,0 т	13,00	0,65	2,15	0,25	0,08	0,2
AN 6665 AN	легковой авто.	10,00	0,5	1,38	0,16	0,04	0,09
EN 2589 AN	легковой авто.	12,00	0,6	1,38	0,16	0,04	0,09

Рисунок 2 – Вікно «Розрахунки екологічних показників => Витрати»

Государственный номер ТС	Группа ТС	Тип топлива	Экологический класс ТС	Массовый выброс оксида углерода, т	Массовый выброс углеводорода, т	Массовый выброс оксида азота, т	Массовый выброс твердых частиц, т
AK 5689 AN	автобус > 5,0 т	дизель	Евро-0	3,74	0,6	2,07	0,48
AN 6665 AN	легковой авто.	бензин	Евро-1	9,18	1,99	0,84	0,04
EN 2589 AN	легковой авто.	бензин	Евро-0	18,63	3,51	1,24	0,06

Рисунок 3 – Вікно «Розрахунки екологічних показників => Викиди»

До параметрів викидів відноситься така інформація:

- державний реєстраційний номер автомобіля;
- група автомобіля;
- тип палива;
- клас екологічний ;
- масовий викид оксиду вуглецю, т;
- масовий викид вуглеводнів, т;
- масовий викид оксидів азоту, т;
- масовий викид твердих часток, т.

Для розрахунку відходів необхідно в головному меню вибрати вікно: «Розрахунки екологічних показників => Відходи» (рис. 4).

Отработанные аккумуляторные батареи, т/год	Отработанные шины, т/год	Отработанные фильтры, т/год
0,017	0,03	0,02

Рисунок 4 – Вікно «Розрахунки екологічних показників => Відходи»



У вікні «Відходи» можна відсортувати інформацію за державними реєстраційними номерами автомобілів, за датою (рис. 4) і типом викидів: відпрацьовані акумуляторні батареї; шини; фільтри. Для друку результатів моніторингу автомобіля необхідно вибрати: Меню => Друк (рис. 5). Для виходу з програми необхідно вибрати: Меню => Вихід (рис. 5).

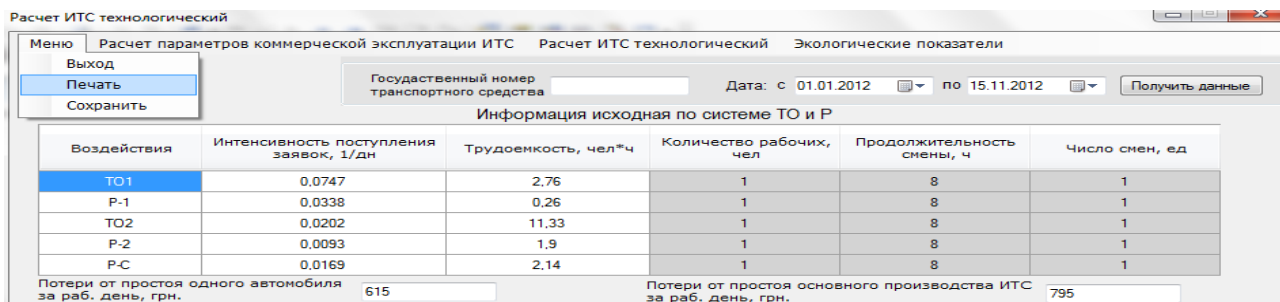


Рисунок 5 – Вікно для виводу на друк і виходу з програми

## ВИСНОВКИ

У зв'язку з тим, що основна частина автомобілів в Україні зосереджена в невеликих за розміром і кількістю підприємств автомобільного транспорту та неможливістю придбання ними відповідного обладнання і мати технічну службу, яка відповідає за технічний стан автомобілів виконано удосконалення ППК «Віртуальний механік «HADI - 12» і «Service Fuel Eco «NTU-HADI - 12». Таке удосконалення дозволяє механіка (диспетчера) використовувати запропоновані ППК для оцінки роботоздатного стану автомобілів в різних за кількістю і призначенням підприємствах автомобільного транспорту.

Використання удосконалених ППК «Віртуальний механік «HADI - 12» і «Service Fuel Eco «NTU-HADI - 12» дозволяє перейти до «адаптивної» системи ТО і Р автомобілів, ключовим моментом якої є наявність аналогічних комплексів, що забезпечують шляхом моніторингу дистанційне отримання необхідної поточної інформації від автомобілів, її обробку і вироблення коригувальних впливів при проведенні ТО і Р.

На основі інтеграції комплексу технічних засобів у запропоновану раніше транспортно-інформаційну систему моніторингу «ХНАДУ-ТЕСА» розроблена автоматизована система управління технічною експлуатацією рухомого складу автомобільного транспорту в рамках *ITS*.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Транспорт і зв'язок України за 2014 рік. К.: Консультант, 2015. 222 с.
2. Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку: монографія / за заг. ред. А. М. Редзюка. К.: ДП «Державтотранс НДІпроект», 2005. 400 с.
3. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: підручник. К.: Знання-Прес, 2003. 511 с.
4. Волков В. П., Волкова Т. В., Горбик Ю. В. Сучасний стан автомобільного транспорту і напрям розвитку технічної експлуатації автомобілів. Науково-виробничий журнал "Автошляховик України", 2022, № 2 (270), с. 26-33.
5. Волков В. П., Матейчик В. П., Грицук І. В. та інші. Інтелектуальні системи моніторингу транспорту. Монографія. Харків: Вид-во НТМТ, 2015. 246 с.
6. National Intelligent Transportation System (ITS) Architecture. Executive Summary. Research and Innovation Technology Administration (RITA), US Department of Transportation, Washington D.C., May 2007.
7. E-FRAME. Extend FRAMEwork architecture for cooperative systems. FRAME Architecture. Part 1, version V1.0.
8. Моніторинг технічного стану автомобіля в життєвому циклі / за заг. ред. проф. В. П. Волкова. Харків: ХНАДУ, 2017. 301 с.
9. Torque. Engine Performance and Diagnostic Tool for Automotive Professional and Enthusiasts [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://torque-bhp.com/>. Назва з екрана.
10. Технічний регламент програмного продукту "Віртуальний механік 'HADI - 12'" при реєстрації в ньому нового транспортного засобу (Твір науково-практичного характеру) / В. П.

Волков, О. Б. Комов, Комов П. Б. та ін. Заявник і патентовласник Волков В. П. і ХНАДУ. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №47233 від 15.01.2013. 3 с.

11.Технічний регламент програмного продукту "Service Fuel Eco 'NTU-HADI-12'" при звичайній роботі (Твір науково-практичного характеру) / В. П. Волков, В. П. Матейчик, П. Б. Комов [та ін]. Заявник і патентовласник Волков В. П. і ХНАДУ. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 53292 від 24.01.2014. 3 с.

12.Методи системного аналізу властивостей автомобільної техніки: навч. посіб. / М. Ф. Дмитриченко, В. П. Матейчик, О. К. Гришук [та ін]. К.: НТУ, 2014. 168 с.

13.Програмне забезпечення систем моніторингу транспорту / М. Д. Дмитриченко, В. П. Матейчик, О. К. Гришук та інші. К.: НТУ, 2016. 204 с.

14.Матейчик В. П. Методи оцінювання та способи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів: монографія. К.: НТУ, 2006. 216 с.

#### REFERENCES

1. Transport i зв'язok Ukrainy za 2014 rik. (2015). Kyiv: Konsultant.
2. Derzhavnyi avtotransportnyi naukovo-doslidnyi i proektnyi instytut. (2005). Avtomobil'nyi transport Ukrainy: stan, problemy, perspektyvy rozvytku [Automobile transport of Ukraine: Status, problems, and development prospects] (A. M. Redziuk, Ed.). Kyiv: DP "Derzhavtotrans NDIproekt".
3. Luchenko, O. A. (2003). Tekhnichne obsluhovuvannya i remont avtomobiliv [Technical maintenance and repair of cars]. Kyiv: Znannia - Pres.
4. Volkov, V. P., Volkova, T. V., & Horbik, Y. V. (2022). Suchasnyi stan avtomobil'noho transportu i napriam rozvytku tekhnichnoi ekspluatatsii avtomobiliv [Current state of automobile transport and the direction of development of technical operation of cars]. Naukovo-vyrobnychy zhurnal "Avtoshliakhovyk Ukrainy", 2(270), 26-33.
5. Volkov, V. P., Mateichyk, V. P., Hrytsuk, I. V., et al. (2015). Intelektual'ni systemy monitorynhu transportu [Intelligent transport monitoring systems]. Kharkiv: Vyd-vo NTMT.
6. Research and Innovation Technology Administration (RITA), U.S. Department of Transportation. (2007). National Intelligent Transportation System (ITS) Architecture. Executive Summary. Washington, D.C.
7. E-FRAME. (n.d.). Extend FRAMEwork architecture for cooperative systems. FRAME Architecture, Part 1, Version V1.0.
8. Volkov, V. P., Mateichyk, V. P., Hrytsuk, I. V., et al. (2017). Monitorynh tekhnichnoho stanu avtomobilia v zhyttievomu tsykli [Monitoring the technical condition of a car in its life cycle]. Kharkiv: KHADU.
9. Torque. (n.d.). Engine performance and diagnostic tool for automotive professional and enthusiasts. Retrieved from <http://torque-bhp.com/>
10. Volkov, V. P., Komov, O. B., Komov, P. B., et al. (2013). Tekhnichniy rehlament prohramnoho produktu "Virtual'nyi mekhanik 'HADI – 12'" pry reiestratsii v niomu novoho transportnoho zasobu [Technical regulation of the software product "Virtual Mechanic 'HADI – 12'" upon registration of a new vehicle in it]. Certificate of Copyright Registration No. 47233.
11. Volkov, V. P., Mateichyk, V. P., Komov, P. B., et al. (2014). Tekhnichniy rehlament prohramnoho produktu "Service Fuel Eco 'NTU-HADI-12'" pry zvychninii roboti [Technical regulation of the software product "Service Fuel Eco 'NTU-HADI-12'" during normal operation]. Certificate of Copyright Registration No. 53292.
12. Dmytrychenko, M. F., Mateichyk, V. P., Hryshchuk, O. K., et al. (2014). Metody systemnoho analizu vlastyvostei avtomobil'noi tekhniki [Methods of system analysis of properties of automotive technology]. Kyiv: NTU.
13. Dmytrychenko, M. D., Mateichyk, V. P., Hryshchuk, O. K., et al. (2016). Prohramne zabezpechennia system monitorynhu transportu [Software for transport monitoring systems]. Kyiv: NTU.
14. Mateichyk, V. P. (2006). Metody otsiniuvannya ta sposoby pidvyshchennia ekolohichnoi bezpeky dorozhnikh transportnykh zasobiv [Methods of assessment and ways to improve the environmental safety of road vehicles]. Kyiv: NTU.

**V. Volkov, I. Gritsuk, V. Onyshchuk, T. Volkova, V. Stelmashchuk, D. Zbytskyi** Enhancement of the Information and Software Complex for the Control of the Technical Condition of Vehicles at the Enterprise of Motor Transport

The purpose of this article is to enhance the information and software complex for controlling the operational state of vehicles within an enterprise of motor transport. The gradual development of new types of transportation has led to an increase in the time vehicles spend away from the main production base, and consequently, the role of preventative maintenance of vehicles has increased. Therefore, the creation of a flexible "adaptive" control and management system for the technical condition of a vehicle, with elements of an individual approach to each specific vehicle, has become a priority task. Due to the fact that the main part of vehicles in Ukraine is concentrated in small-sized and small-numbered enterprises of motor transport and the impossibility of purchasing appropriate equipment and having a technical service that is responsible for the technical condition of vehicles, enhancements were made to the information and software complexes "Virtual Mechanic HADI - 12" and "Service Fuel Eco NTU-HADI - 12". Such enhancements allow the mechanic (dispatcher) to use the proposed information and software complexes to assess the operational state of vehicles in various enterprises of motor transport by number and purpose. The use of the enhanced information and software complexes "Virtual Mechanic HADI - 12" and "Service Fuel Eco NTU-HADI - 12" allows for the transition to an "adaptive" system of maintenance and repair of vehicles, a key feature of which is the presence of similar complexes that ensure remote monitoring and receiving the necessary current information from vehicles, processing it and making corrective influences during maintenance and repair. Based on the integration of technical means into the previously proposed transport information monitoring system "KhNADU-TES", an automated system for managing the technical operation of the rolling stock of motor transport within the framework of ITS has been developed.

**Keywords:** vehicle, motor vehicle, technical operation of vehicles, enterprise of motor transport, adaptive system of maintenance and repair, information and software complex, operational capability, operating conditions.

*ВОЛКОВ Володимир Петрович*, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технічної експлуатації і сервісу автомобілів, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, e-mail: [volf-949@ukr.net](mailto:volf-949@ukr.net)

*ГРИЦУК Ігор Валерійович*, доктор технічних наук, професор, професор кафедри експлуатації судових енергетичних систем, Херсонська державна морська академія, e-mail: [gritsuk\\_iv@ukr.net](mailto:gritsuk_iv@ukr.net)

*ОНИЩУК Василь Петрович*, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: [v.onyshuk@Intu.edu.ua](mailto:v.onyshuk@Intu.edu.ua)

*ВОЛКОВА Тетяна Вікторівна*, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних технологій, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, e-mail: [wolf949@ukr.net](mailto:wolf949@ukr.net)

*СТЕЛЬМАЩУК Валерій Віталійович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: [Val.stelmashchuk@gmail.com](mailto:Val.stelmashchuk@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0003-3813-3143>

*ЗБИЦЬКИЙ Данило Дмитрович*, здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, e-mail: [zbitskiy00@ukr.net](mailto:zbitskiy00@ukr.net)

*Vladimir VOLKOV*, doctor of technical sciences, professor, head of the department of technical operation and service of cars, Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkov, e-mail: [volf-949@ukr.net](mailto:volf-949@ukr.net)

*Igor GRITSUK*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Operation of Ship Power Systems, Kherson State Maritime Academy, e-mail: [gritsuk\\_iv@ukr.net](mailto:gritsuk_iv@ukr.net)

*Vasyl ONYSHCHUK*, PhD in Engineering, head of the department of Automobiles and Transport Technologies department, Lutsk National Technical University e-mail: [Vasyl.Onyshchuk@lutsk-ntu.com.ua](mailto:Vasyl.Onyshchuk@lutsk-ntu.com.ua), <https://orcid.org/0000-0002-5316-408X>

*Tetiana VOLKOVA*, Ph.D. tech. Sciences, Associate Professor of Department Transport Technology, Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkov, e-mail: [wolf949@ukr.net](mailto:wolf949@ukr.net)

*Valery STELMASHCHUK*, Ph.D in Engineering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University, e-mail: [Val.stelmashchuk@gmail.com](mailto:Val.stelmashchuk@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-3813-3143>.

*Danylo ZBYTSKYI*, a candidate for the second (master's) level of higher education, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, e-mail: [zbitskiy00@ukr.net](mailto:zbitskiy00@ukr.net)

DOI 10.36910/automash.v1i22.1352

Гандзюк М.О., Дубицький О.С., Мазилюк П.В.  
*Луцький національний технічний університет***РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ АВТОМОБІЛЯ**

Технологічний рівень розвитку будь-якої галузі виробництва визначається ефективністю використання матеріальних та енергетичних ресурсів. Значний внесок у підвищення загальної ефективності в автотранспортній галузі можуть зробити інноваційні технології системної оптимізації процесів технічного обслуговування (ТО) та поточного ремонту (ПР) автомобілів. Комплексний підхід до проблеми визначення терміну експлуатації автомобілів в умовах зовнішнього середовища, які динамічно змінюються, вимагає науково-методичного обґрунтування, що забезпечує оптимізацію складних процесів у системі «виробництво-експлуатація-утилізація» автомобілів.

Цілеспрямоване регулювання тривалості експлуатації автомобілів є одним із найважливіших завдань управління технічною експлуатацією автомобілів (ТЕА), безпосередньо пов'язаним з управлінням працездатністю як окремого автомобіля, так і автомобільного парку. Ця функція системи управління терміном експлуатації автомобіля (СУТЕА) орієнтована на визначення оптимальної тривалості збереження його основних якостей чи групи якостей за умов динамічного зміни стану довкілля.

Принципи формування математичної моделі багатокритеріальної структури оцінки показників якості автомобіля в системі управління терміном експлуатації автомобіля відображають основну сукупність сучасних вимог середовища його експлуатації та нівелюють недоліки моделей, які раніше застосовувалися.

При визначенні показника якості автомобіля або парку рухомого складу автотранспортного підприємства (АТП) розглядається граничний стан автомобіля як нездатність його виконувати задані функції, в тому числі, і відповідно до умов зовнішнього середовища експлуатації.

Для вирішення оптимізаційних завдань у системі управління терміном експлуатації автомобіля визначено критерії та вимірники її ефективності, що забезпечують отримання шуканих рішень. Як комплексний показник якості при розробці математичної моделі багатокритеріальної структури системи приймається показник якості, що базується на коефіцієнті технічного використання автомобіля  $k^{TB}$ , який є найбільш обґрунтованим для досягнення цілей дослідження.

**Ключові слова:** технічна експлуатація автомобіля, коефіцієнт технічного використання автомобіля, показник оцінки якості, граничний стан автомобіля, термін служби, надійність, екологічна безпека, конструктивна безпека.

**ВСТУП**

Принципи формування математичної моделі багатокритеріальної структури оцінки якості автомобіля в системі управління терміном експлуатації автомобіля повинні відображати основну сукупність сучасних вимог середовища його експлуатації та нівелювати недоліки моделей, які раніше застосовувалися. При визначенні показника якості автомобіля або парку рухомого складу АТП необхідно розглядати граничний стан автомобіля як нездатність виконувати задані функції, в тому числі і відповідно до умов зовнішнього середовища експлуатації. Відповідно до [1], відображати граничний стан виробу повинні три критерії, що визначаються такими положеннями:

1. Граничний стан (limitingstate): стан автомобіля, у якому його подальша експлуатація неприпустима чи недоцільна з причин небезпеки, економічних чи екологічних.
2. Критерій граничного стану (limitingstatecriterion): ознаки граничного стану, за якими приймають рішення про його настання.
3. Термін служби (usefullife): тривалість експлуатації автомобіля або його відновлення після капітального ремонту до настання граничного стану.
4. Ресурс (operatinglife): сумарне напрацювання автомобіля протягом терміну служби.

Виходячи з вищесказаного можна зробити висновок про те, що в багатокритеріальній структурі оцінки якості СУТЕА при визначенні та керуванні величиною оптимального терміну експлуатації автомобіля необхідно одночасно враховувати декілька критеріїв.

**АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Технологічний рівень розвитку будь-якої галузі виробництва визначається ефективністю використання матеріальних та енергетичних ресурсів. Значний внесок у підвищення загальної ефективності в автотранспортній галузі можуть зробити інноваційні технології системної оптимізації процесів ТО та ПР автомобілів [6, 8, 15, 18]. Комплексний підхід до проблеми визначення терміну експлуатації автомобілів в умовах зовнішнього середовища, що динамічно змінюються, вимагає науково-методичного обґрунтування, що забезпечує оптимізацію складних процесів у системі



«виробництво-експлуатація-утилізація» автомобілів.

Традиційно до вимірювачів етапів життєвого циклу автомобіля (ЖЦА) відносять економічні вимірювачі ресурсомісткості автомобіля: витрати на виробництво; витрати на експлуатацію та ТО; витрати на відновлення (ремонт); витрати на утилізацію [14]. Актуальність оцінки етапів ЖЦА з урахуванням як економічних, так і екологічних показників проявляється у сучасних дослідженнях. У [7] наголошується, що повний ЖЦА найбільш раціонально оцінювати не за готовою продукцією, а на ранніх стадіях її проектування, що дозволить вибрати найбільш «екологічний» варіант конструкції автомобіля. Математична модель, заснована на цьому принципі, визначає матеріальні та енергетичні потоки в ЖЦА і представляє цикл існування автомобіля у вигляді продукційної системи, як сукупності матеріальних та енергетичних одиничних процесів, що реалізують приватні функції. У цій моделі ЖЦА поділено на три стадії - виробництво, експлуатація та утилізація автомобіля. З розрахунку балансів для одиничних процесів визначаються баланси для повного життєвого циклу загалом. Ця модель розроблена відповідно до [2, 3], де оцінка життєвого циклу (ОЖЦ) визначається, як збір та оцінка вхідних та вихідних потоків, а також потенційних впливів на навколишнє середовище з боку продукційної системи на всіх стадіях життєвого циклу продукції. Область застосування ОЖЦ (life cycle assessment) однозначно встановлює функції проектованої або експлуатованої системи. У [2, 3] життєвий цикл виробу (life cycle) визначається, як послідовні чи взаємопов'язані стадії продукційної системи від придбання сировини чи розробки природних ресурсів до утилізації продукції.

Основним вимір, що характеризує будь-який етап ЖЦА як окремо, так і в сукупності - це тривалість у часі. Тривалість ЖЦА на етапі його технічної експлуатації впливає не тільки на більшість показників ефективності роботи парків автомобілів [14], але і на показники ефективності при переробці автомобілів, а також на показники, що закладаються при їх виробництві.

### ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Цілеспрямоване регулювання тривалістю експлуатації автомобілів є одним із найважливіших завдань управління ТЕА, безпосередньо пов'язаним з управлінням працездатністю як автомобіля, так і автомобільного парку. Ця функція СУТЕА орієнтована на визначення оптимальної тривалості збереження його основних якостей чи групи якостей за умов динамічного зміни стану довкілля. Вона повинна реалізовуватися у вигляді математичних моделей з подальшою розробкою та застосуванням програм, що забезпечують стійкість функціонування задля досягнення поставленої мети [13, 14].

Управління процесом виведення автомобіля з експлуатації (списання), тобто визначення оптимального терміну експлуатації автомобіля на основі розробки багатокритеріальної структури оцінки показників якості автомобіля на даний час є досить актуальним завданням.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для формування багатокритеріальної структури оцінки якості автомобіля в системі управління терміном експлуатації автомобіля введемо такі позначення:

- 1)  $P^{(1)}$  - показник якості, що відображає таку властивість автомобіля як конструктивна безпека автомобіля;
- 2)  $P^{(2)}$  - показник якості, що відображає таку властивість автомобіля як екологічна безпека;
- 3)  $P^{(3)}$  - показник якості, що відображає таку властивість автомобіля як надійність;
- 4)  $P^{(n)}$  - показник якості, що відображає  $n$ -ну властивість автомобіля.

Реалізований показник якості для автомобіля - це середнє значення якості за певний період його експлуатації. При формуванні поняття реалізованої якості для групи автомобілів визначається вікова структура парку (на підприємстві або в регіоні). У реальному парку АТП, за звичай, є автомобілі різних вікових груп, тобто парк має певну вікову структуру. Під віковою структурою автомобільного парку розуміється кількісний чи відсотковий розподіл автомобільного парку за віковими групами.

Враховуючи, що якість автомобіля протягом терміну його експлуатації усереднюється у вигляді показника якості [9, 10, 11]

$$\bar{P}_k(t) = \frac{P_{k1} \cdot e^k}{t} \sum_{t=1}^t e^{-kt}, (1)$$

багатокритеріальна структура якості автомобіля визначається як [16]:



$$\begin{cases} \Pi^{(1)} = \Pi_0^{(1)} e^{-\beta_1 t} \\ \Pi^{(2)} = \Pi_0^{(2)} e^{-\beta_2 t} \\ \Pi^{(3)} = \Pi_0^{(3)} e^{-\beta_3 t} \end{cases} \quad (2)$$

Характер зміни окремих показників якості автомобіля у часі представлений на рисунку 1.

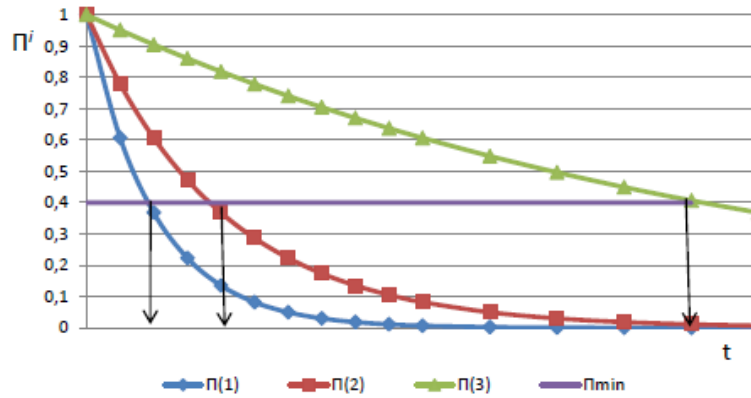


Рисунок 1 - Зміна окремих показників якості автомобіля у часі

Застосування в якості комплексного показника оцінки якості коефіцієнта технічного використання автомобіля  $k^{TB}$  є найбільш обґрунтованим для досягнення цілей дослідження, так як період оцінки коефіцієнта технічного використання може не відповідати періоду напрацювання автомобіля до капітального ремонту. Коефіцієнт технічного використання автомобіля визначається як відношення математичного очікування сумарного часу перебування автомобіля у працездатному стані за період експлуатації до математичного очікування сумарного часу перебування автомобіля у працездатному стані та простоїв, зумовлених ТО та ремонтом за той же період [4]:

$$k^{TB} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^m \tau_i + \sum_{j=1}^k \tau_j} \quad (3)$$

де  $t_i$  - час збереження працездатності у  $i$ -му циклі функціонування автомобіля;

$\tau_i$  - час відновлення після  $i$ -ої відмови автомобіля (ВР);

$\tau_j$  - тривалість виконання  $j$ -ої профілактики, що вимагає виведення автомобіля з експлуатації (ТО);

$n$  - число робочих циклів за аналізований період експлуатації;

$m$  - кількість відмов (відновлень) за аналізований період;

$k$  - число профілактик, що вимагають виведення автомобіля з експлуатації в період, що розглядається.

Забезпечення необхідного рівня ефективності автомобіля за всіма трьома критеріями потребує певних технічних впливів. Зміна обсягів цих впливів характеризується залежністю коефіцієнта технічного використання автомобіля від часу його експлуатації.

Враховуючи, що

$$k^{TB}(t) = k^{TB}(0) \cdot e^{-\beta t}, \quad k^{TB}(0) = 1, \quad (4)$$

сформуємо наступну структуру оцінки якості автомобіля в системі ТЕА за трьома основними критеріями:

$$\begin{cases} k_1^{TB}(t) = e^{-\beta_1 t} \\ k_2^{TB}(t) = e^{-\beta_2 t} \\ k_3^{TB}(t) = e^{-\beta_3 t} \end{cases} \quad (5)$$

Коефіцієнт технічного використання автомобіля пов'язаний з його пробігом лінійною функцією [15]:

$$k^{TB}(L) = 1 - \alpha L, \quad (6)$$

де  $\alpha$  - параметр, що характеризує зміну коефіцієнта технічного використання залежно від пробігу автомобіля  $L$ .

Тоді структура показників якістю автомобіля набуде вигляду:

$$\begin{cases} k_1^{TB}(L) = 1 - \alpha_1 L \\ k_2^{TB}(L) = 1 - \alpha_2 L \\ k_3^{TB}(L) = 1 - \alpha_3 L \end{cases} \quad (7)$$

Розглянемо динаміку зміни витрат на ТО та ремонт залежно від часу експлуатації. Відповідно до [15], витрати на ТО та ремонт експоненційно зростають і існує аналітичний зв'язок між сумарними витратами, пов'язаними з технічною експлуатацією автомобіля в момент списання ( $R_{ТО+ПР}$ ) та коефіцієнтом технічного використання ( $k^{TB}$ ). Відповідно:

$$R(t) = R_0 e^{\beta t}, \quad (8)$$

де  $R_0$  - витрати на ТО та ПР нового автомобіля, грн/1000 км.

$$R_c = \frac{R_0 \cdot l_c}{k_{min}^{TB}}, \quad (9)$$

де  $R_c$  - витрати на ТО і ПР, які будуть на момент списання  $l_c$ , грн/1000 км.

Представимо систему для визначення витрат на підтримку необхідних нормативних показників у процесі експлуатації автомобіля за трьома окремими критеріями.

$$\begin{cases} R_1(t) = R_0^{(1)} e^{\beta_1 t} \\ R_2(t) = R_0^{(2)} e^{\beta_2 t} \\ R_3(t) = R_0^{(3)} e^{\beta_3 t} \end{cases} \quad (10)$$

де  $R_0^{(1)}$ ,  $R_0^{(2)}$ ,  $R_0^{(3)}$  - витрати на введення в експлуатацію нового автомобіля за окремими критеріями відповідно, грн/1000 км;

$R_1(t)$  - витрати на ТО та ПР автомобіля за критерієм «конструктивна безпека автомобіля», грн/1000 км;

$R_2(t)$  - витрати на ТО та ПР автомобіля за критерієм «екологічна безпека автомобіля», грн/1000 км;

$R_3(t)$  - витрати на ТО та ПР автомобіля за критерієм «надійність у процесі експлуатації», грн/1000 км.

Зміни, що відбуваються у трикритеріальній структурі залежності  $k^{TB}$  від пробігу з початку експлуатації автомобіля  $L$  показано на рисунку 2.

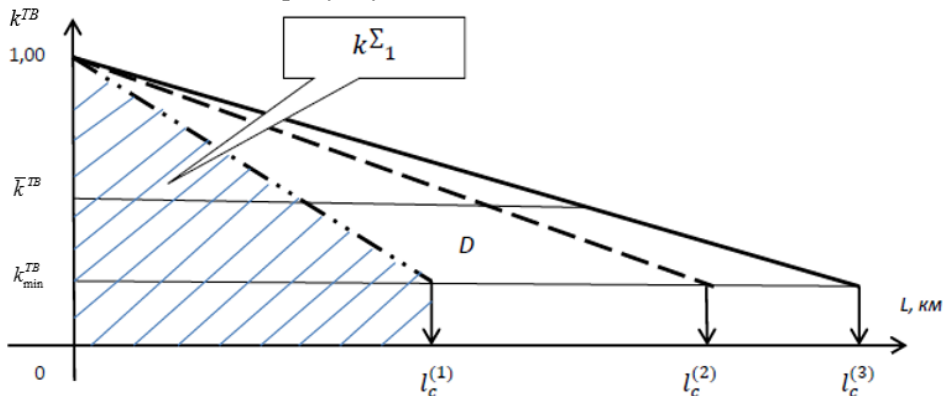


Рисунок 2 - Трикритеріальна структура оцінки показників якості експлуатації автомобіля залежно від пробігу з початку його експлуатації  $L$

На підставі аналізу рисунка 2 не вимагає доказу твердження:

$$\frac{k^{\Sigma_i}}{\left( \frac{k_{min}^{TB} + 1}{2} \cdot l_c^{(i)} \right)} = Const, \quad i = 1, 2, 3. \quad (11)$$

Тоді можна виконати нормування значень пробігу автомобіля з початку його експлуатації до списання, що визначаються за окремими критеріями:

$$\delta_1 = \frac{l_c^{(1)}}{l_c^{(1)} + l_c^{(2)} + l_c^{(3)}}, \quad \delta_2 = \frac{l_c^{(2)}}{l_c^{(1)} + l_c^{(2)} + l_c^{(3)}}, \quad \delta_3 = \frac{l_c^{(3)}}{l_c^{(1)} + l_c^{(2)} + l_c^{(3)}} \quad (12)$$

Використовуючи отримані дані, можна побудувати матрицю значень запланованих пробігів різних автомобілів у багатокритеріальній структурі оцінки показників якості, де  $C_1, C_2, \dots, C_n$  - окремі критерії, що враховуються при реалізації незалежних груп властивостей автомобіля. При  $n$ -ій кількості критеріїв, які обмежують термін експлуатації автомобіля, і  $m$  кількості автомобілів, матриця набуває вигляду

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	...	$C_n$
$A_1$	$\delta_{11}$	$\delta_{12}$	$\delta_{13}$	...	$\delta_{1n}$
$A_2$	$\delta_{21}$	$\delta_{22}$	$\delta_{23}$	...	$\delta_{2n}$
$A_3$	$\delta_{31}$	$\delta_{32}$	$\delta_{33}$	...	$\delta_{3n}$
...	...	...	...	...	...
$A_m$	$\delta_{m1}$	$\delta_{m2}$	$\delta_{m3}$	...	$\delta_{mn}$

Аналогічним чином (рисунок 3) здійснюється оцінка ефективності експлуатації автомобіля з урахуванням витрат, пов'язаних з технічною обслуговуванням і поточним ремонтом (витрати на ТО і ПР).

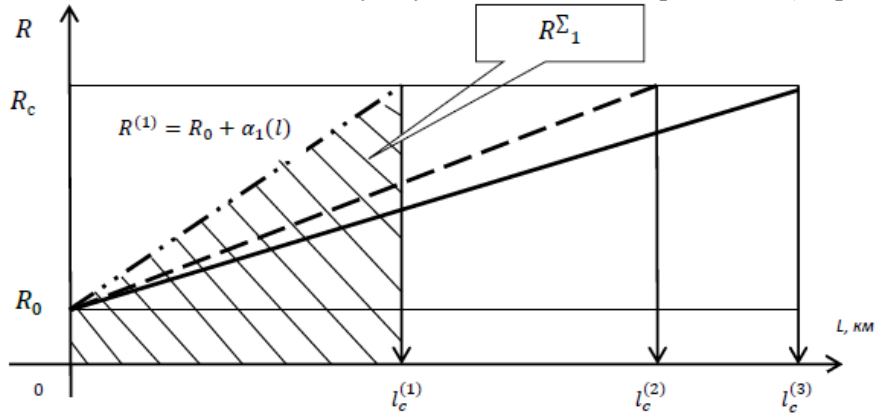


Рисунок 3 - Трикритеріальна структура оцінки витрат при експлуатації автомобіля залежно від пробігу з початку його експлуатації  $L$

Наведемо матрицю значень можливих витрат на експлуатацію різних автомобілів у багатокритеріальній системі оцінки показників якості, де  $C_1, C_2, \dots, C_n$  - окремі критерії, що враховуються при реалізації незалежних груп властивостей автомобіля. При  $n$ -ій кількості критеріїв, які обмежують час перебування автомобіля в експлуатації, і  $m$  кількості автомобілів, матриця набуває вигляду:

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	...	$C_n$
$A_1$	$\rho_{11}$	$\rho_{12}$	$\rho_{13}$	...	$\rho_{1n}$
$A_2$	$\rho_{21}$	$\rho_{22}$	$\rho_{23}$	...	$\rho_{2n}$
$A_3$	$\rho_{31}$	$\rho_{32}$	$\rho_{33}$	...	$\rho_{3n}$
...	...	...	...	...	...
$A_m$	$\rho_{m1}$	$\rho_{m2}$	$\rho_{m3}$	...	$\rho_{mn}$

Формування даної структури показників оцінки якості експлуатації автомобіля та витрат при його експлуатації дозволяє вирішувати завдання оптимізації терміну експлуатації автомобіля, тобто приймати рішення про списання автомобіля з урахуванням фактичних витрат на його експлуатацію, забезпечуючи нормативні вимоги за окремими критеріями якості, що зумовлюються впливом довкілля.

Тоді схема інтеграції системи управління терміном експлуатації автомобіля (СУТЕА) до комплексу життєвого циклу автомобіля (ЖЦА) можна подати у вигляді рисунка 4.

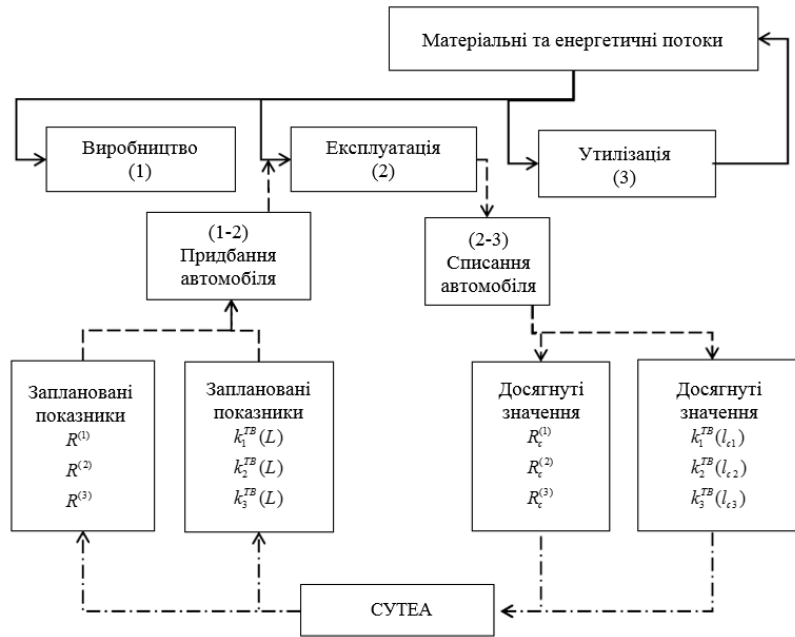


Рисунок 4 - Схема інтеграції системи управління терміном експлуатації автомобіля (СУТЕА) до комплексу життєвого циклу автомобіля (ЖЦА)

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Управління процесом виведення автомобіля з експлуатації (списання), тобто визначення оптимального терміну експлуатації автомобіля на основі розробки багатокритеріальної структури оцінки показників якості автомобіля на даний час є досить актуальним завданням.

У системі управління терміном експлуатації автомобіля процес прийняття рішень визначається як вибір варіанта з кількох можливих альтернатив і формується з декількох етапів:

1) збір, обробка та аналіз інформації про стан системи:  $R^{(i)}, k_i^{TB}(L)$ ;

2) формалізація мети - зниження витрат на експлуатацію автомобіля у кількісних оцінках:

$$\sum_i^n R_i \rightarrow \min ;$$

3) постановка завдання - визначення оптимального терміну експлуатації автомобіля  $l_c, R_c$  та пріоритету параметрів оптимізації для досягнення мети;

4) оцінка альтернативних варіантів рішень та вибір раціонального на підставі низки певних критеріїв  $\Pi^{(i)}$ ;

5) розробка аналітичних методів вирішення поставлених завдань;

6) порівняння досягнутих результатів з визначеними відповідно до поставлених цілей  $R_c^{(i)}, k_i^{TB}(l_c)$ ;

7) коригування стану системи (реалізація зворотнього зв'язку) виходячи з досягнутих результатів  $R^{(i)}, k_i^{TB}(L)$ .

Всі етапи прийняття рішення є відповідальними, але до найскладніших відносяться розробка методів, що дозволяють отримати оптимальні рішення відповідно до умов поставлених завдань та врахування стану середовища експлуатації автомобіля.

### ВИСНОВОК

В багатокритеріальній структурі оцінки якості СУТЕА при визначенні та керуванні величиною оптимального терміну експлуатації автомобіля необхідно враховувати декілька критеріїв. Принциповою відмінністю розробленої ієрархії функцій системи управління терміном експлуатації автомобіля є винесення на один рівень із традиційним комплексним критерієм якості автомобіля (надійність) таких критеріїв, як екологічна безпека та конструктивна безпека автомобіля. Дана структура формує багатокритеріальну задачу, яка потребує аналітичного рішення при управлінні та регулюванні процесами в системі.

Для вирішення оптимізаційних завдань у системі управління терміном експлуатації автомобіля визначено критерії та вимірювачі її ефективності, що забезпечують отримання шуканих рішень. Як

комплексний показник якості при формуванні багатокритеріальної структури системи приймається показник якості, що базується на коефіцієнті технічного використання автомобіля. Відповідно до вимог середовища експлуатації автомобіля розроблено математичну модель структури багатокритеріальної оцінки показників його якості.

#### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Надійність техніки. Терміни та визначення: ДСТУ 2860-94. - [Чинний від 1996-01-01]. – К.: Держстандарт України, 1996. – (Державний стандарт України).
2. Надійність техніки. Оцінювання та прогнозування надійності за результатами випробувань і/або експлуатації в умовах малої кількості відмов: ДСТУ 8647:2016. - [Чинний від 2017-07-01]. – К.: Держстандарт України, 2017. – (Державний стандарт України).
3. Надійність техніки. Оцінювання та прогнозування залишкового ресурсу (строки служби) технічних систем: ДСТУ 8646:2016. - [Чинний від 2017-07-01]. – К.: Держстандарт України, 2017. – (Державний стандарт України).
4. Система технічного обслуговування та ремонтування техніки. Терміни та визначення понять: ДСТУ 9050:2020. - [Чинний від 2021-04-01]. – К.: Держстандарт України, 2021. – (Державний стандарт України).
5. Автомобільний транспорт України: стан, проблеми, перспективи розвитку / Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут. – К.: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2005. – 400 с.
6. Іванченко А.О. Удосконалення математичної моделі зміни технічного стану автобронетанкової техніки / І.К. Шаша, А.О. Іванченко, В.О. Темніков, І.В. Цебрюк // ХУПС: науковий журнал – Х.: Наука і техніка Повітряних Сил ЗСУ. – 2015. - № 4. - С. 138-142.
7. Біліченко В. В. Життєвий цикл стратегії розвитку виробничої системи в ринкових умовах / В. В. Біліченко // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – Житомир, 2012. – № III (62) (Том II). – С. 7–11
8. Волков В.П., Грицук І.В., Грицук Ю.В., Волков Ю.В., Володарець М.В. Інформаційні системи моніторингу технічного стану автомобілів. – Харків: ФОП Панов А.М., 2018. – 299 с.
9. Говорущенко М.Я. Системотехніка транспорту (на прикладі автомобільного транспорту). Ч.1 / М.Я. Говорущенко, А.М. Туренко – Х.: РВО ХДАДТУ, 1998. – 255 с.
10. Говорущенко Н.Я. Системотехніка проектування транспортних машин [Текст]: учебное пособие - Изд. 3-е испр. и доп. / Н.Я. Говорущенко, А.Н. Туренко. - Х.: ХНАДУ, 2004. – 208 с.
11. Говорущенко Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст] / Н.Я. Говорущенко. - Х.: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1984. – 312 с.
12. Варфоломеев В.Н. Научные основы построения и реализации технологии поддержания автомобилей в работоспособном состоянии на базе диагностической информации [Текст]: дис.... докт. техн. наук / В.Н. Варфоломеев. - Х., 1992. – 360 с.
13. Крихтіна Ю. О. Державна політика розвитку транспортної галузі України: теорія, методологія, практика : монографія. Харків: «Діса плюс», 2022. – 336 с.
14. Форнальчик Є.Ю. Технічна експлуатація та надійність [Текст] / Є.Ю. Форнальчик, М.С. Оліскевич, О.Л. Мاستикаш, Р.А. Пельо. – Львів.: Афіша. – 2004. – 125 с.
15. Технічне обслуговування, ремонт і зберігання автотранспортних засобів: Підручник: В 3-х кн. – К.: Вища шк., 1991. – Кн. 1. Теоретичні основи. / В.Е. Канарчук, А.А. Лудченко, І.П. Курников, І.А. Луйк. – 359 с.
16. Анілович В.Я. Надійність машин в завданнях та прикладах [Текст] / В.Я. Анілович, О.С. Гринченко, В.Л. Литвиненко. – Х.: Око, 2001. – 320 с.
17. Бойченко С. В. Світовий досвід і перспективи розвитку утилізації та рециклінгу транспортних засобів / С. Бойченко, К. Лейда // Monografia № 6 “Systems and means of motor transport”. Selected problems. Seria: Transport. – Rzeszow (Poland), 2015. – P. 247–252.
18. Волков В.П. Інтеграція технічної експлуатації автомобілів в структури і процеси інтелектуальних транспортних систем. / В.П. Волков, В.П. Матейчик, О.Я. Никонов. – Донецьк: Вид-во “Ноулідж”, 2013. – 398 с.

#### REFERENCES

1. Nadiinist tekhniky. Terminy ta vyznachennia: DSTU 2860-94. - [Chynnyi vid 1996-01-01]. – К.: Derzhstandart Ukrainy, 1996. – (Derzhavnyi standart Ukrainy).



2. Nadiinist tekhniky. Otsiniuvannia ta prohnozuvannia nadiinosti za rezultatamy vyprobuvan i/abo ekspluatatsii v umovakh maloi kilkosti vidmov: DSTU 8647:2016. - [Chynnyi vid 2017-07-01]. – K.: Derzhstandart Ukrainy, 2017. – (Derzhavnyi standart Ukrainy).

3. Nadiinist tekhniky. Otsiniuvannia ta prohnozuvannia zalyshkovoho resursu (stroky sluzhby) tekhnichnykh system: DSTU 8646:2016. - [Chynnyi vid 2017-07-01]. – K.: Derzhstandart Ukrainy, 2017. – (Derzhavnyi standart Ukrainy).

4. Systema tekhnichnoho obsluhovuvannia ta remontuvannia tekhniky. Terminy ta vyznachennia poniat: DSTU 9050:2020. - [Chynnyi vid 2021-04-01]. – K.: Derzhstandart Ukrainy, 2021. – (Derzhavnyi standart Ukrainy).

5. Avtomobilnyi transport Ukrainy: stan, problemy, perspektyvy rozvytku / Derzhavnyi avtotransportnyi naukovo-doslidnyi i proektnyi instytut. – K.: DP «DerzhavtotransNDIproekt», 2005. – 400.

6. Shasha, I.K., Ivanchenko, A.O., Temnikov, V.O. & Tseabriuk, I.V. (2015). Udoskonalennia matematychnoi modeli zminy tekhnichnoho stanu avtobronetankovoi tekhniky. *KhUPS: naukovyi zhurnal*, 4, 138-142.

7. Bilichenko, V. V. (2012). Zhyttievyi tsykl stratehii rozvytku vyrobnychoi systemy v rynkovykh umovakh. *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu*, III (62), T.II, 7–11.

8. Volkov, V.P., Hrytsuk, I.V., Hrytsuk, Yu.V., Volkov, Yu.V. & Volodarets, M.V. (2018). *Informatsiini systemy monitoryngu tekhnichnoho stanu avtomobiliv*. Kharkiv: FOP Panov A.M., 299.

9. Hovorushchenko, M.Ia. & Turenko, A.M. (1998). *Systemotekhnika transportu (na prykladi avtomobilnoho transportu)*. Kh.: RVO KhDADTU, Ch.1, 255.

10. Hovorushchenko, M.Ia. & Turenko, A.M. (2004). *Sistemotekhnika proektirovaniya transportnykh mashin: uchebnoe posobie*. Kh.: KhNADU, 208.

11. Hovorushchenko, N.Ya. (1984). *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya avtomobilei*. Kh.: Vishcha shkola, 312.

12. Varfolomeev, V.N. (1992). *Nauchnie osnovi postroeniya i realizatsii tekhnologii podderzhaniya avtomobilei v rabotosposobnom sostoyanii na baze diagnosticheskoi informatsii [Tekst]: dis. dokt. tekhn. nauk*. Kh., 360.

13. Krykhtina, Yu. O. (2022). *Derzhavna polityka rozvytku transportnoi haluzi Ukrainy: teoriia, metodolohiia, praktyka: monohrafiia*. Kharkiv: «Disa plus», 336.

14. Fornalchyk, Ye.Iu., Oliskevych, M.S., Mastyash, O.L. & Pelo, R.A. (2004). *Tekhnichna ekspluatatsiia ta nadiinist [Tekst]*. Lviv: Afisha, 125.

15. Kanarchuk, V.E., Ludchenko, A.A., Kurnykov, Y.P. & Luik, Y.A. (1991). *Tekhnichne obsluhovuvannia, remont i zberihannia avtotransportnykh zasobiv: Pidruchnyk. T.1 - Teoretychni osnovy*. K.: Vyscha shk., 359.

16. Anilovych V.Ia., Hrynchenko, O.S. & Lytvynenko, V.L. (2001). *Nadiinist mashyn v zavdanniakh ta prykladakh [Tekst]*. Kh.: Oko, 320.

17. Boichenko S. & Leida, K. (2015). *Svitovyi dosvid i perspektyvy rozvytku utylizatsii ta retsyklinhu transportnykh zasobiv, Monografia № 6 "Systems and means of motor transport". Selected problems. Seria: Transport. Rzeszow (Poland), 247–252.*

18. Volkov V.P., Mateichyk, V.P. & Nykonov, O.Ia. (2013). *Intehratsiia tekhnichnoi ekspluatatsii avtomobiliv v struktury i protsesy intelektualnykh transportnykh system*. Donetsk: Vyd-vo "Noulidzh", 398.

### ***M. Handziuk, O. Dubytskyi, P. Mazylyuk Development of the mathematical model of the multi-criterion structure for the evaluation of vehicle quality indicators.***

The technological level of development of any branch of production is determined by the efficiency of the use of material and energy resources. Innovative technologies for system optimization of vehicle maintenance and repair processes can make a significant contribution to improving overall efficiency in the motor vehicle industry. A comprehensive approach to the problem of determining the service life of cars in dynamically changing environmental conditions requires a scientific and methodological justification that ensures the optimization of complex processes in the "production-operation-disposal" system of cars.

Targeted regulation of the duration of car operation is one of the most important tasks of technical operation of cars management, which is directly related to the management of the performance of both individual cars and car fleets. This function of the vehicle lifetime management system is focused on determining the optimal duration of preservation of its main qualities or a group of qualities under conditions of dynamic changes in the environment.

The principles of forming a mathematical model of the multi-criteria structure of car quality assessment in the car life management system reflect the main set of modern requirements of the environment of its operation and eliminate the shortcomings of the models that were used earlier.

When determining the quality indicator of a car or fleet of rolling stock of motor vehicle enterprise, the limit state of the car is considered as its inability to perform the specified functions, including, and in accordance with the conditions of the external operating environment.

To solve the optimization tasks in the system of managing the life of the car, the criteria and measures of its efficiency are defined, which ensure obtaining the desired solutions. As a comprehensive quality indicator when developing a mathematical model of the multi-criteria structure of the system, a quality indicator based on the coefficient of technical use of the car is adopted, which is the most justified for achieving the goals of the study.

**Key words:** technical operation of the car, coefficient of technical use of the car, quality assessment index, limit state of the car, service life, reliability, environmental safety, structural safety.

*ГАНДЗЮК Микола Олександрович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: [Gandzyuk64.MG@gmail.com](mailto:Gandzyuk64.MG@gmail.com). <http://orcid.org/0000-0002-3552-4256>.

*ДУБИЦЬКИЙ Олександр Сергійович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: [o.dubyskyi@gmail.com](mailto:o.dubyskyi@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0002-4863-4040>.

*МАЗИЛЮК Павло Вікторович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: [mazylyuk@ukr.net](mailto:mazylyuk@ukr.net). <https://orcid.org/0000-0001-5071-5109>.

*Mykola HANDZIUK*, Ph.D in Engineering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University, e-mail: [Gandzyuk64.MG@gmail.com](mailto:Gandzyuk64.MG@gmail.com). <http://orcid.org/0000-0002-3552-4256>.

*Oleksandr DUBYTSKYI*, PhD in Engineering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University, e-mail: [o.dubyskyi@gmail.com](mailto:o.dubyskyi@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0002-4863-4040>.

*Pavlo MAZYLYUK*, PhD in Engineering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University, e-mail: [mazylyuk@ukr.net](mailto:mazylyuk@ukr.net). <https://orcid.org/0000-0001-5071-5109>.

DOI 10.36910/automash.v1i22.1353

## ВПЛИВ НЕТЕСТОВАНОГО КОЛЕСА ОСІ НА ПОХИБКУ ВИЗНАЧЕННЯ ДЕМПФУВАННЯ КОЛЕСА, ЩО ТЕСТУЄТЬСЯ МЕТОДОМ EuSAMA

Демпфуючий пристрій підвіски автомобіля, основу якого формує амортизатор, поряд з комфортом забезпечує безпечний рух, контролюючи контакт шини з дорогою. У більшості автомобілів з металевим пружним пристроєм, у підвісці відсутні електричні аналоги робочих процесів, що ускладнює визначення технічного стану в процесі експлуатації методами самодіагностики. У практиці експлуатації поширені вібростенди, що передбачають по чергове тестування підвіски коліс кожної осі. Інакше кажучи, колесо, що тестується, піддається гармонійним коливанням, інше колесо осі (пасивне) - стоїть. Але обидва колеса з'єднані пружним зв'язком – стабілізатором поперечної стійкості та ігнорування цього факту вносить похибку в результат тестування. Для оцінки величини похибки складено математичну, комп'ютерну модель у середовищі MATLAB SIMULINK. Як об'єкт дослідження прийнято передню вісь автомобіля SKODA FABIA 1,6 з масою осі 740кг. Отримано відповідність коефіцієнтів EuSAMA та коефіцієнтів демпфування амортизаторів у відомих зонах оцінки.

За допомогою імітаційного моделювання при різних значеннях демпфування тестованого та пасивного коліс отримані відносні похибки тестування для встановлених зон оцінки демпфування. Встановлено, що зі зниженням коефіцієнта EuSAMA колеса, що тестується, похибка збільшується. Зокрема, в зоні оцінки «недостатньо», і за низького коефіцієнта демпфування пасивного колеса, похибка може становити понад 11%. Встановлено також, що зміна коефіцієнта демпфування пасивного колеса викликає зміну частоти резонансу колеса, що тестується, причому при високих значеннях коефіцієнта EuSAMA тестованого колеса зниження резонансної частоти можливе до 6,5%.

**Ключові слова:** підвіска, амортизатор, випробування демпфування, моделювання, похибка на стенді.

### ВСТУП

Ходова частина - найважливіший компонент, що сприяє переміщенню автомобіля по дорозі і забезпечує певний рівень комфорту в поїзді. Ходова частина у структурі витрат за підтримку належного технічного стану на кілометр пробігу займає максимальну частку як у трудомісткості, так і за вартістю запасних частин. Комфорт під час руху дорогою забезпечує важлива складова ходової частини – підвіска, що включає напрямну, пружну та демпфуючі частини. У забезпеченні комфорту з представлених компонентів підвіски найважливішу роль відіграють пружна та демпфуючі частини, що утворюють коливальну систему. Оскільки ці частини підвіски є досить навантаженими, вони сприймають ударні навантаження та визначають її частотні, експлуатаційні параметри, включаючи ресурс. Будучи елементом системи безпеки дорожнього руху, підвіска безперервно удосконалюється, що є передумовою вдосконалення методів її технічного обслуговування і ремонту. Як у більшості механічних систем, підвіска не має електричних аналогів робочих процесів, що ускладнює визначення технічного стану в процесі експлуатації методами самодіагностики. Тому діагностика підвіски проводиться на стендах, стаціонарних та пересувних. Стенди за технологією EuSAMA, що випускаються кількома виробниками, популярні серед авторемонтників. Якщо врахувати різноманіття типів підвісок та їх типорозмірів, а також залежності результатів тестування від численних факторів, то стає зрозумілим масштаб проблем, що стоять перед спеціалістами з обслуговування підвісок.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Діагностування технічного стану коливальної системи підвіски дозволяє знизити витрати на технічне обслуговування та ремонт. В даний час відомі кілька методів діагностування підвіски [1], з яких переважний розвиток отримали два: метод EuSAMA і резонансний метод BOGE - MAXA [2,3]. В обох випадках діагностування здійснюється на стендах, обладнаних майданчиками, що імітують вплив різних частотних параметрів дороги на підвіску. Обробкою даних випробувань отримують висновок про стан підвіски.

Порівняльному аналізу деяких основних характеристик стендів присвячена робота [4]. Робиться висновок, що в майбутньому залишаться два перспективні методи діагностування амортизаторів - це метод ТЕТА та метод фазового кута. Перший базується на вимірі безрозмірного коефіцієнта демпфування. Також досліджувалась можливість використання фазових параметрів коливань, зокрема фазового зсуву, для збільшення точності результатів випробувань та локалізації помилки. Метод фазового зсуву полягає у визначенні фазового кута між амплітудою вихідного

сигналу та збудливою силою [5]. Діагностичний параметр підвіски визначається як мінімальне значення кута в діапазоні частот між резонансом підресореної та непідресореної мас.

Деякі характеристики стендів, заснованих на різних принципах, вивчали у роботі [6]. Зокрема, досліджувалися функціональні можливості, чутливість діагностичних параметрів та вплив жорсткості шини (внутрішнього тиску) на помилку діагнозу для стендів SDL 260 BOSCH (EuSAMA) та MSD 3000 MAXA (BOGE – MAXA). Було з'ясовано, що «резонансний» стенд MSD 3000 MAXA та відповідний йому принцип має ширші функціональні можливості, а саме локалізацію шумів. Також він значно перевершує стенд EuSAMA за чутливістю до зміни демпфування, але поступається у величині помилки результату різного тиску в шині. Дані отримані розрахунковим шляхом у вигляді імітаційного моделювання.

Вплив жорсткості шин на коефіцієнт демпфування підвіски EuSAMA досліджувався також у роботі [7]. Зниження тиску у шині на 10 кПа (4,8 %) призводить до збільшення «коефіцієнта зчеплення» на 5%. Збільшення тиску в шині, щодо рекомендованого, на 10 кПа спричиняє зменшення «коефіцієнта зчеплення» на 2,2 %, що можна порівняти з похибкою розрахункової моделі. Нарешті, якщо тиск у шині буде збільшений на 33,3 %, це призведе до зниження «коефіцієнта зчеплення» на 15,6 %.

У роботі [8] доведено можливість і доцільність використання моделювання щодо процесів, які відбуваються у підвісці. Тут моделювання використовується як інструмент вдосконалення підвіски.

Поряд із удосконаленням існуючих методів випробувань підвіски, пропонуються нові, зокрема, для вантажних автомобілів та міжміських автобусів [9].

Є дані щодо застосування штучного інтелекту визначення параметрів підвіски броньованих машин [10]. Нейронна мережа використовується для аналізу петлі гістерези амортизатора в координатах переміщення – сила.

У роботі [11] розглядаються вплив радіальної жорсткості шини, ширини автомобіля та довжини коромисла на коефіцієнт демпфування амортизатора при випробуваннях на стенді. Досліджувався вплив цих параметрів при збудженні колеса з одного боку та з обох боків одночасно. У другому випадку обидва колеса автомобіля піддавалися однаковій вібрації одночасно, причому частота змінювалася аналогічно принципу EuSAMA+, тобто. починаючи з 30 Гц з кроком 1 Гц та на кожній частоті утримувалася протягом 5 секунд. Отримані результати призначалися для тестування розробки нової підвіски.

Загальним напрямком більшості робіт, присвячених методу та засобам EuSAMA, можна назвати вдосконалення методу та розробка на його основі нових методів діагностування.

### **ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Тим часом, практика використання методу EuSAMA виявляє невирішені проблеми. Наприклад, відсутні дані щодо впливу параметрів підвіски колеса, пов'язаного за допомогою стабілізатора поперечної стійкості на параметри колеса, що перевіряється. Суть питання полягає в тому, що діагностування підвіски, наприклад передньої осі, проводиться послідовною перевіркою підвісок лівого і правого коліс. Це означає, що при навантаженні, припустимо, лівого колеса гармонійними коливаннями, праве колесо стоїть. Але ліве та праве колесо, з'єднані стабілізатором поперечної стійкості, є елементами однієї коливальної системи і тому їх коливання не є незалежними. З практики відомо, що параметри підвіски ліворуч і праворуч рідко бувають однаковими, інакше кажучи, вплив колеса, що не перевіряється, у загальному випадку є невідомим.

У роботі розглядається вплив нерухомого, нетестованого (пасивного) колеса на результат діагностування підвіски тестованого колеса тієї ж осі. Як метод досліджень прийнято імітаційне моделювання. Метод у численних дослідженнях показав адекватність та ефективність. Моделювання проводилося у середовищі MATLAB SIMULINK.

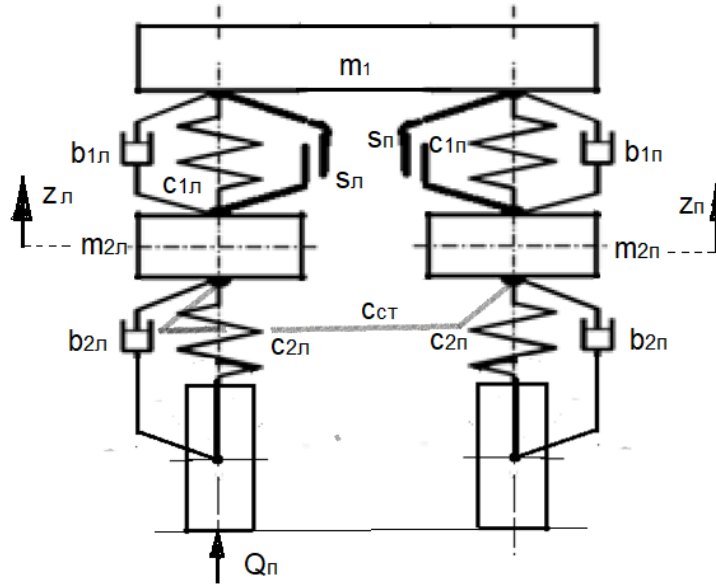
### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Розглядаються два колеса однієї осі, з'єднані стабілізатором поперечної стійкості. Крім стабілізатора, у моделі беруть участь амортизатори, пружини підвіски, параметри сухого тертя в підвісці, амортизуючі та пружні характеристики шин. Розрахункова схема для оцінки впливу демпфування нетестованого сполученого колеса на колесо, що перевіряється, зображена на рисунку 1.

У розрахунку прийнято такі припущення.

1. Переміщення кузова дорівнює нулю (маса  $m_1$  нерухома).
2. Кутова жорсткість стабілізатора поперечної стійкості на малих кутах закручування замінена лінійною жорсткістю, що додається до центру колеса.

## 3. Підресорена маса лівого та правого коліс однакова.



$m_1$  – підресорена маса;  $m_2$  – невідресорена маса;  $b_1$  – коефіцієнт опору амортизатора;  $b_2$  – коефіцієнт опору шини;  $c_1$  – жорсткість пружини;  $c_2$  – жорсткість шини;  $s$  – сухе тертя у підвісці;  $Z$  – переміщення невідресореної маси;  $C_{ст}$  – жорсткість стабілізатора;  $Q_n$  – зовнішній вплив; індекси л і п відповідають параметрам для лівого та правого коліс.

Рисунок 1 - Розрахункова схема для оцінки впливу демпфування сполученого колеса на колесо, що перевіряється

Рівняння динамічної рівноваги мас системи матимуть такий вигляд:

$$m_{2л} \cdot \ddot{z}_л + b_{2л} \cdot \dot{z}_л + c_{2л} \cdot z_л + b_{1л} (\dot{z}_л - \dot{z}_1) + c_1 (z_л - z_1) + s \cdot \text{sgn} (z_л - z_1) - P_{ст} = Q;$$

$$m_{2п} \cdot \ddot{z}_п + b_{2п} \cdot \dot{z}_п + c_{2п} \cdot z_п + b_{1п} (\dot{z}_п - \dot{z}_1) + c_1 (z_п - z_1) + s \cdot \text{sgn} (z_п - z_1) + P_{ст} = 0;$$

де  $z_i, \dot{z}_i, \ddot{z}_i$  – узагальнені координати і їх похідні за часом.

Але  $z_1 = 0$ ;  $P_{ст} = C_{ст} \cdot z$ ;  $Q = q + \dot{q}$ .

Враховуючи це, перетворимо рівняння та приведемо їх до вигляду:

$$m_{2л} \cdot \ddot{z}_л + b_{2л} \cdot \dot{z}_л + c_{2л} \cdot z_л + b_{1л} \cdot \dot{z}_л + c_{1л} \cdot z_л + s \cdot \text{sgn} \cdot z_л - C_{ст} \cdot z_л = q + \dot{q}$$

$$m_{2п} \cdot \ddot{z}_п + b_{2п} \cdot \dot{z}_п + c_{2п} \cdot z_п + b_{1п} \cdot \dot{z}_п + c_{1п} \cdot z_п + s \cdot \text{sgn} \cdot z_п + C_{ст} \cdot z_п = 0.$$

Або:

$$\ddot{z}_л = -\frac{1}{m_{2л}} (b_{2л} (\dot{z}_л - \dot{q}) + c_{2л} (z_л - q) + b_{1л} \cdot \dot{z}_л + c_{1л} \cdot z_л + s \cdot \text{sgn} z_л - C_{ст} \cdot z_л)$$

$$\ddot{z}_п = -\frac{1}{m_{2п}} (b_{2п} \cdot \dot{z}_п + c_{2п} \cdot z_п + b_{1п} \cdot \dot{z}_п + c_{1п} \cdot z_п + s \cdot \text{sgn} z_п + C_{ст} \cdot z_п).$$

Даній системі рівнянь відповідає комп'ютерна модель, рисунок 2. Вихідні дані для розрахунку представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку

Показник	Значення	Одиниця виміру
Амплітуда нерівності	$A = 0,003$	м
Маса осі	$m_1 = 740$	кг
Жорсткість пружини	$c_1 = 15000$	Н/м
Жорсткість стабілізатора	$C_{ст} = 10000$	Н/м
Демпфірування амортизатора	$b_1 = 2750$	Н*с/м
Сухе тертя в підвісці	$s = 15$	Н*с/м
Підресорена маса	$m_2 = 33,3$	кг
Жорсткість шини	$c_2 = 373000$	Н/м
Демпфірування шини	$b_2 = 50$	Н*с/м



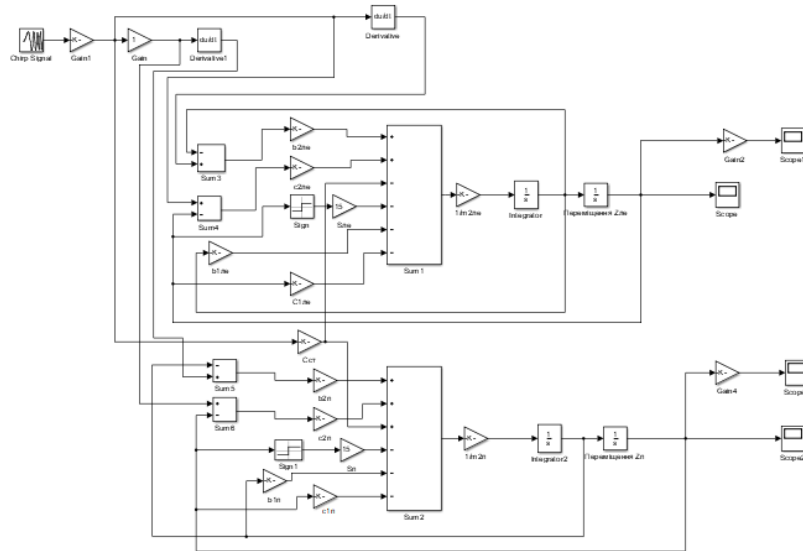


Рисунок 2 - Комп'ютерна модель

Методика випробувань передбачала зняття характеристик «коефіцієнта зчеплення» – коефіцієнта EuSAMA – для різних значень демпфуючих якостей підвіски. Відомо, що з оцінки демпфуючих якостей підвіски залежно від навантаження на вісь приймаються такі результати зчеплення, таблиця 2.

Таблиця 2 - Залежність оцінки якостей підвіски (коефіцієнта EuSAMA) залежно від навантаження на вісь [2]:

Оцінка	Навантаження на вісь		
	від 1400 кг	до 1399 кг	до 899 кг
Добре (Зона А)	70-100%	70-100%	50-100%
Досить (Зона В)	50 - 69%	40 - 59%	30-49%
Недостатньо (Зона С)	30-49%	20 - 39%	20 - 29%
Погано (Зона Е)	0 - 29%	0-19%	0-19%

Для моделювання вибрано параметри автомобіля SKODA FABIA 1,6 з масою передньої осі 740 кг та, відповідно, оцінками третього стовпця таблиці. Значення меж діапазонів коефіцієнта демпфування амортизаторів для відомого навантаження на колесо (370 кг) були знайдені моделюванням при збудженні однієї сторони (коефіцієнт у блоці Gain дорівнює нулю) і за відсутності стабілізатора поперечної стійкості (Cст = 0), рисунок 2. Результати моделювання подано на рисунку 3.

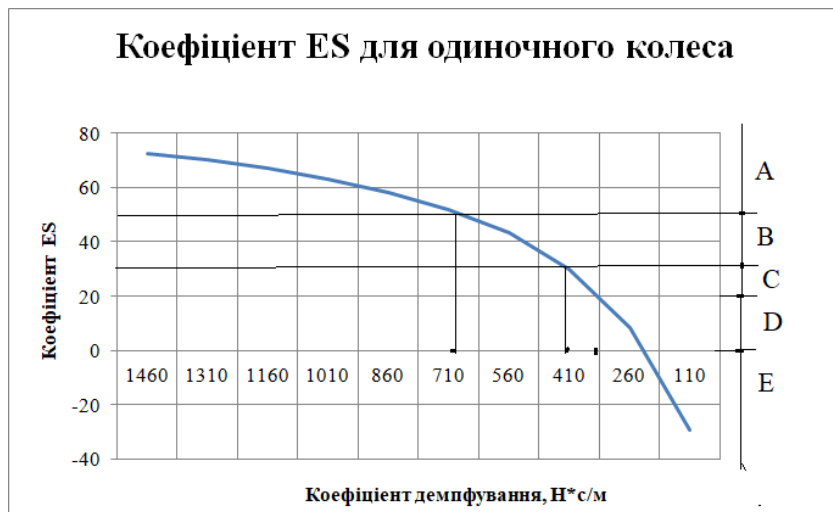


Рисунок 3 - Залежність коефіцієнта EuSAMA (ES) від коефіцієнта демпфування амортизатора при навантаженні на вісь 740 кг, при збудженні однієї сторони та за відсутності стабілізатора поперечної стійкості.

Таким чином, для навантаження на вісь 740 кілограмів, отримані наступні результати відповідності коефіцієнтів EuSAMA і коефіцієнтів демпфування амортизаторів, таблиця 3.

Таблиця 3 - Відповідність коефіцієнтів EuSAMA та коефіцієнтів демпфування амортизаторів

Оценка: верхній край діапазона:	Коефіцієнт EuSAMA, %	Коефіцієнт демпфування амортизатора, Н*с/м
«добре» (Зона А)	70+	1460+
«досить» (Зона В)	50	700
«недостатньо» (Зона С)	30	430
«погано» (Зона D)	20	20
«погано» (Зона E)	0-	0

Для даних значень коефіцієнтів EuSAMA тестованого колеса знімалися характеристики при різних значеннях коефіцієнта опору амортизатора від 1460 до 110 Н\*м/с у підвісці пасивного колеса, таблиця 4. Потім порівнювали значення коефіцієнта EuSAMA на краях кожного з діапазонів (добре, достатньо і т.д.) і робилися висновки про вплив демпфування пасивного колеса на результат діагностування колеса, що тестується.

Таблиця 4 - Значення коефіцієнта EuSAMA при різному демпфуванні пасивного колеса

Коефіцієнт демпфування на пасивному колесі $\psi_p$	Коефіцієнт EuSAMA на тестованому колесі при різному коефіцієнті демпфування $\psi_a$				
	$\psi_a = 1460$	$\psi_a = 700$	$\psi_a = 430$	$\psi_a = 350$	$\psi_a = 0$
1	2	3	4	5	6
1460	72,5	49,6	29,41	19,78	-82,8
1310	72,6	49,95	29,49	20,11	-82,3
1160	72,6	50,02	29,62	20,32	-81,5
1010	72,7	50,14	29,73	20,32	-80,7
860	72,7	50,24	29,89	20,47	-79,6
710	72,6	50,32	30,11	20,73	-78,3
560	72,4	50,43	30,35	21,00	-79,7
410	72,2	50,51	30,59	21,27	-75,5
260	72,2	50,62	30,62	21,62	-73,4
110	72,2	50,84	31,19	22,00	-71,0
Зміна коефіцієнта EuSAMA на тестованому колесі, %	0,97	2,50	6,05	11,22	14,25

Примітка:  $\psi_a$  – коефіцієнт опору амортизатора тестованого колеса;

$\psi_p$  - коефіцієнт опору амортизатора пасивного колеса.

Крім того, помічено, що в зоні А, при високій демпфуючій здатності колеса, що тестується, є сильний вплив демпфування пасивного колеса на частоту резонансу тестованого колеса, рисунки 4...6. При цьому зниження демпфування спочатку викликає зниження резонансної частоти, а потім, у міру подальшого зниження демпфування, відбувається деяке зростання частоти резонансу. В інших оціночних зонах подібний вплив суттєво слабший і значення резонансних частот при всіх значеннях демпфування пасивного колеса, розташовувалися близько 15,2 Гц.

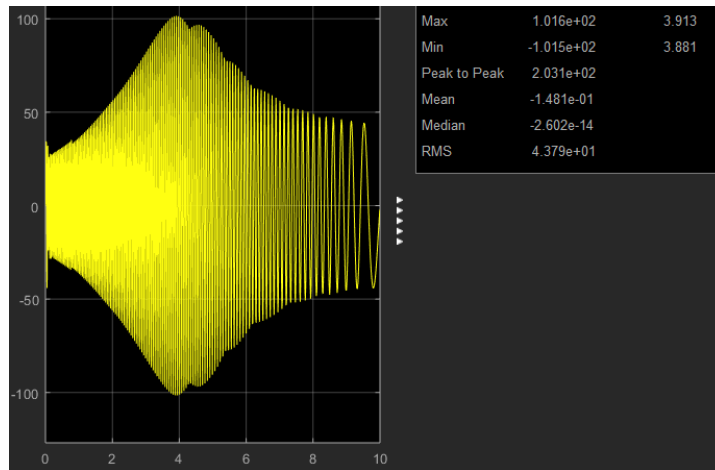


Рисунок 4 - Реалізація процесу тестування при:  $\psi_a = 1460 \text{ Н*с/м}$ ;  $\psi_p = 1460 \text{ Н*с/м}$ ; коефіцієнті EuSAMA, що дорівнює 72,5; резонансної частоті 15,2 Гц.

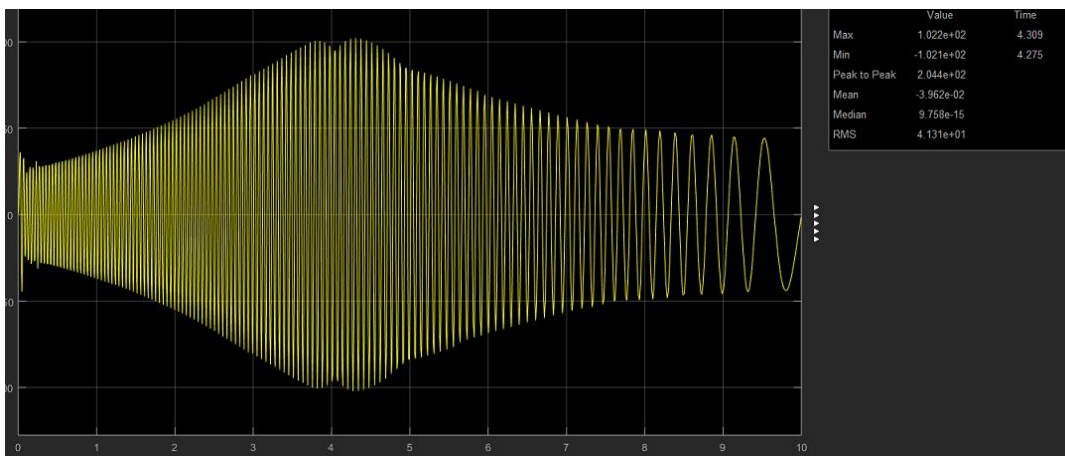


Рисунок 5 - Реалізація процесу тестування при:  $\psi_a = 1460 \text{ Н*с/м}$ ;  $\psi_p = 560 \text{ Н*с/м}$ ; коефіцієнті EuSAMA, що дорівнює 72,4; резонансної частоті 14,2 Гц.

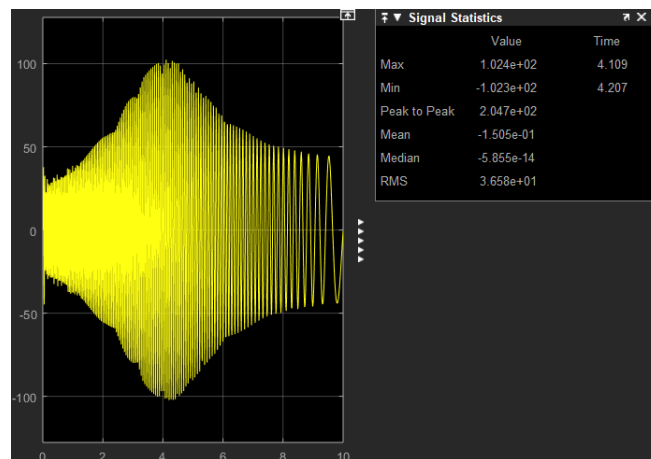


Рисунок 6 - Реалізація процесу тестування при:  $\psi_a = 1460 \text{ Н*с/м}$ ;  $\psi_p = 110 \text{ Н*с/м}$ ; коефіцієнті EuSAMA, що дорівнює 72,2; резонансної частоті 14,7 Гц.

## ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Як впливає з таблиці, зниження демпфування на пасивному колесі призводить до підвищеної оцінки коефіцієнта EuSAMA на колесі, що тестується. Винятком є випадок стовпець №2, коли підвіска тестованого колеса (амортизатор) перебуває у хорошому технічному стані, тобто. має добрі характеристики демпфування. У цьому випадку зміна коефіцієнта демпфування в широких межах незначно (до 0,97%) впливає на результат тестованого колеса. Зазначимо, що ця зміна по суті дорівнює відносній похибці вимірювання коефіцієнта EuSAMA. Дані таблиці також свідчать про те,

що зі зниженням рівня оціночних зон від А до D ступінь впливу демпфування пасивного колеса зростає від 0,97 до 11,22% (остання колонка з коефіцієнтом демпфування  $\psi_a=0$  не розглядається, як малоймовірний випадок в експлуатації).

### ВИСНОВКИ

За результатами дослідження можна зробити такі висновки.

1. Як компонент коливальної системи, демпфування пасивного колеса при діагностуванні підвіски впливає на результат тестування активного колеса, чим провокує появу відповідної похибки.
2. Величина похибки збільшується зі зменшенням коефіцієнта EuSAMA в підвісці колеса, що тестується, і при коефіцієнті EuSAMA, що дорівнює 22 (при оцінці «недостатньо»), а також при низькому коефіцієнті демпфування пасивного колеса, може становити більше 11%.
3. Зміна коефіцієнта демпфування пасивного колеса викликає зміну частоти резонансу колеса, що тестується, причому при високих значеннях коефіцієнта EuSAMA тестованого колеса зниження резонансної частоти можливе до 6,5%.

### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Техническое обслуживание, ремонт и хранение автотранспортных средств: Учебник: В 3 кн. К.: Выща шк., 1991. – Кн. 1. Теоретические основы. / В.Е. Канарчук, А.А. Лудченко, И.П. Курников, И.А. Луйк. – 359 с. ил.
2. Gardulski J 2006 Badania diagnostyczne amortyzatorów. - DIAGNOSTYKA'2 (38)/2006, pp 187-198.
3. Analiza\_porownawcza\_metod\_badiania\_amortyzatorow\_hydraulicznych // researchgate : вебсайт. URL : <https://www.researchgate.net/publication/271835704> (дата звернення 11.04.2024).
4. Stańczyk T L and Jurecki R 2014 Analiza Porównawcza Metod Badania Amortyzatorów Hydraulicznych. ZESZYTY NAUKOWE INSTYTUTU POJAZDÓW 4(100) pp 25-45
5. . Daniel Graupe. Identification of System. Colorado State University, Fort Collins. Robert E. Krieger Publishing Company. Huntington. New York, 1976.
6. Дитятьєв О.В. Щодо питання вибору типу вібростенду для діагностування підвіски автомобіля. / О.В. Дитятьєв // СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ ТА ТРАНСПОРТІ. НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ. - ЛУЦЬК. ЛУЦЬКИЙ НТУ, 2023 - № 2 (21) – С 91-100. [https://DOI 10.36910/automash.v2i21.1213](https://doi.org/10.36910/automash.v2i21.1213).
7. Дитятьєв О.В., Рева В.Б. Про похибку стендового контролю підвіски / О.В. Дитятьєв // СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ ТА ТРАНСПОРТІ. НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ. - ЛУЦЬК. ЛУЦЬКИЙ НТУ, 2022 - № 2 (19) – С 81-88. [https:// DOI 10.36910/automash.v2i19.906](https://doi.org/10.36910/automash.v2i19.906)
8. Popescu M O S and Mastorkakis N E 2009 Testing and Simulation of a Motor Vehicle Suspension INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEMS APPLICATIONS, ENGINEERING & DEVELOPMENT Issue 2, 3/2009 pp 74 – 83.
9. [Warczek J, Burdzik R, Peruń G. The Method for Identification of Damping Coefficient of the Trucks Suspension Key Engineering Materials \(Volume 588\) pp 281-289 https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.588.281](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.588.281)
10. Ringus G.: A neural network based diagnostic test system for armored vehicle shock absorbers. Expert Systems With Applications, vol. 11. no. 2, pp. 237-244, 1996, printed in Great Britain,
11. Simulation analysis of the EUSAMA Plus suspension testing method including the impact of the vehicle untested side. - K Dobaj 2016 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 148 012034.

### REFERENCES

1. Tekhnicheskoe obsluzhivanie, remont i khranenie avtotransportnykh sredstv: Uchebnik: V 3 kn. K.: Vishcha shk., 1991. – Кн. 1. Teoreticheskie osnovi. / V.E. Kanarchuk, A.A. Ludchenko, I.P. Kurnikov, I.A. Luik. – 359 s. il.
2. Gardulski J 2006 Badania diagnostyczne amortyzatorów. - DIAGNOSTYKA2 (38)/2006, ss. 187-198.
3. Analiza\_porownawcza\_metod\_badiania\_amortyzatorow\_hydraulicznych // researchgate : vebsajt. URL: <https://www.researchgate.net/publication/271835704> (data zvernennja 11.04.2024).
4. Stańczyk T L and Jurecki R 2014 Analiza Porównawcza Metod Badania Amortyzatorów Hydraulicznych. ZESZYTY NAUKOWE INSTYTUTU POJAZDÓW 4(100) pp 25-45.

5. . Daniel Graupe. Identification of System. Colorado State University, Fort Collins. Robert E. Krieger Publishing Company. Huntington. New York, 1976.
6. Dityatyev O.V. Shchodo pytannia vyboru typu vibrostendu dlia diahnostuvannia pidvisky avtomobilia. / O.V. Dityatyev // SUCHASNI TEKHOLOHII V MASHYNOBUDUVANNI TA TRANSPORTI. NAUKOVYI ZhURNAL. - LUTSK. LUTSKYI NTU, 2023 - № 2 (21) – S 91-100. <https://doi.org/10.36910/automash.v2i21.1213>.
7. Dityatyev O.V., Reva V.B. Pro pokhybku stendovoho kontroliia pidvisky. / O.V. Dityatyev // SUCHASNI TEKHOLOHII V MASHYNOBUDUVANNI TA TRANSPORTI. NAUKOVYI ZhURNAL. - LUTSK. LUTSKYI NTU, 2022 - № 2 (19) – S 81-88. <https://doi.org/10.36910/automash.v2i19.906>.
8. Popescu M O S and Mastorkakis N E 2009 Testing and Simulation of a Motor Vehicle Suspension INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEMS APPLICATIONS, ENGINEERING & DEVELOPMENT Issue 2, 3/2009 pp 74 – 83.
9. Warczek J, Burdzik R, Peruń G. The Method for Identification of Damping Coefficient of the Trucks Suspension Key Engineering Materials (Volume 588) pp 281-289 <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.588.281>.
10. Ringus G.: A neural network based diagnostic test system for armored vehicle shock absorbers. Expert Systems With Applications, vol. 11. no. 2, pp. 237-244, 1996, printed in Great Britain.
11. Simulation analysis of the EUSAMA Plus suspension testing method including the impact of the vehicle untested side. - K Dobaj 2016 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 148 012034.

***O. Dityatyev, The influence of an untested axle wheel on the error of determining the damping of a wheel tested by the eusama method***

The damping device of the car suspension, the basis of which is the shock absorber, along with comfort, ensures safe movement by controlling the contact of the tire with the road. Most cars with a metal elastic device in the suspension do not have electrical analogues of operating processes, which makes it difficult to determine the technical condition during operation using self-diagnosis methods. In operational practice, vibration stands are common, providing for alternate testing of the wheel suspension of each axle. In other words, the wheel under test is subject to harmonic vibrations, while the other wheel of the axle (passive) is stationary. But both wheels are connected by an elastic connection - a stabilizer bar, and ignoring this fact introduces an error into the test result. To estimate the magnitude of the error, a mathematical and computer model was compiled in the MATLAB SIMULINK environment. The front axle of a SKODA FABIA 1.6 with an axle weight of 740 kg was taken as the object of study. The correspondence between the EuSAMA coefficients and the damping coefficients of shock absorbers in the known evaluation zones was obtained.

Through simulation at different damping values of the tested and passive wheels, relative testing errors were obtained for the established damping assessment zones. It was found that as the EuSAMA coefficient of the wheel under test decreases, the error increases. In particular, in the “insufficient” evaluation zone, and with a low damping coefficient of the passive wheel, the error can be more than 11%. It has also been established that a change in the damping coefficient of a passive wheel causes a change in the resonance frequency of the tested wheel, and at high values of the EuSAMA coefficient of the tested wheel, a decrease in the resonance frequency is possible by up to 6.5%.

**Key words:** suspension, shock absorber, damping testing, modeling, bench error.

*ДИТЯТЬЄВ Олександр Васильович*, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри експлуатації та сервісу автомобілів, Харківський національний автомобільно-дорожній університет e-mail: [alex-dit@ukr.net](mailto:alex-dit@ukr.net). <https://orcid.org/0009-0004-1897-8813>

*Oleksandr DITYATYEV* – Ph. D. (Ing.), Senior Research Fellow, Associate Professor of the Department of Technical operation and service of cars, Kharkiv National Automobile and Highway University e-mail: [alex-dit@ukr.net](mailto:alex-dit@ukr.net). <https://orcid.org/0009-0004-1897-8813>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1354



Захарчук В.І., Захарчук О.В., Скалига М.М., Ярощук В.В.  
*Луцький національний технічний університет*

## СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ «ВОДІЙ–АВТОМОБІЛЬ–СЕРЕДОВИЩЕ»

Запропоновано концептуальну схему системи «водій-автомобіль-середовище», яка використовує положення теорії функціональних систем та представлення автомобіля у вигляді функціональної системи, що містить три рівні: двигун, шасі та кузов. Функціонування системи характеризується зміною параметрів і динамічних властивостей її елементів непередбачуваним чином. Інформаційні взаємодії на тактичному рівні розглядаються як взаємодії мультимодальних образів елементів системи «водій-автомобіль-середовище», представлених у вигляді векторів станів цих елементів. Розглянуто фактори, що впливають на ефективність функціонування системи. Розроблено схему функціонування системи «водій-автомобіль-середовище» з використанням системних об'єктів, що дозволяє оцінювати вплив різних чинників на показники системи з врахуванням основних процесів системи, зворотніх зв'язків як параметрів управління процесами та зв'язків з навколишнім середовищем, що мають місце в умовах експлуатації. Зокрема, керуючі дії водія характеризуються діями на педаль акселератора, педаль зчеплення, важіль коробки передач, кермове колесо, педаль гальма. Підсистема «середовище» характеризується параметрами дороги та атмосферного повітря. Ефективність функціонування системи тісно пов'язана з значними витратами енергії. Система має низьку продуктивність за енергетичними показниками, але резерви підвищення її рентабельності далеко не вичерпані. До цих пір при оцінці ефективності функціонування системи за енергетичним критерієм застосовувались методи, засновані на оцінці ефективності окремих її елементів. Системний підхід дозволяє виконати оцінку енергетичних та матеріальних витрат і відшукати резерви підвищення ефективності функціонування системи в цілому.

**Ключові слова:** система, ефективність, водій, автомобіль, середовище, енергетика, функціонування.

### ВСТУП

В даний час однією з основних тенденцій розвитку автомобільних транспортних систем у світі є поступовий перехід до використання електромобілів, як пасажирських, так і вантажних, а також перехід від автомобілів, керованих людиною, до автономних транспортних засобів (ТЗ), інтегрованих в інтелектуальне транспортне середовище [1]. Що стосується автомобілів традиційних конструкцій, то з однієї сторони, йде боротьба за підвищення економічності автомобілів. З другої сторони, споживач висуває доволі високі вимоги до динаміки автомобіля. Тому при проектуванні автомобіля однією з найважливіших задач є вибір потужності двигуна і параметрів трансмісії, які дозволяють добитися поєднання паливної економічності з хорошими динамічними показниками. Це зручно зробити з використанням системного підходу.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Система «водій-автомобіль-середовище» (ВАС) застосовувалась в дослідженнях автономних транспортних засобів. Це пов'язано з тим, що нині спостерігається безперервне зростання оснащеності ТЗ різними електронними системами, призначеними як для часткової автоматизації процесу водіння, так і для забезпечення їхньої безпеки та комфортабельності [2]. З одного боку, такий хід речей дозволяє полегшити працю водія і, зрештою, перетворити його на пасажира, з іншого – ставить нові проблеми, пов'язані з неготовністю водія-спостерігача екстрено брати на себе керування ТЗ у випадках, коли система автономного водіння не в стані знайти правильне рішення у конкретній дорожньо-транспортній ситуації (ДТС) з необхідною достовірністю [3]. Крім того, виникають проблеми, пов'язані з підвищенням когнітивного навантаження на водіїв внаслідок інтенсифікації дорожнього руху та зростаючих інформаційних потоків, у тому числі у зв'язку з розвитком інтелектуальних транспортних систем [4, 5]. Через обмеженість ресурсів мозку людини це веде до безперервного перерозподілу уваги та зниження ефективності професійно важливих функцій, що забезпечують сприйняття ДТС, обробку інформації, оперативну пам'ять та своєчасне реагування, що збільшує ризик дорожньо-транспортних пригод (ДТП) [6, 7]. При зростанні рівня автоматизації в алгоритмах діяльності водія з'являється все більше монотонних фрагментів і, отже, знижується готовність водія до екстреної дії. Таким чином, на сучасному етапі розвитку автомобільних транспортних систем проблема людського фактора у забезпеченні безпеки дорожнього руху не тільки не втрачає своєї актуальності, але представляється більш значущим та багатогранним завданням.

## ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ціль роботи – складання структурної схеми системи ВАС з автомобілем традиційної конструкції, яку можна використати як базову концепцію при розробці та дослідженні методів та засобів зниження ризиків негативного прояву транспортних засобів на навколишнє середовище. Задачі дослідження: розробка структурної схеми системи; розробка загального підходу до оцінки ефективності функціонування системи.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Подібна схема була розроблена в роботі [8]. Але елементи системи подані в укрупненому вигляді, що утруднює їх аналіз. Схема системи «паливо-двигун-транспортний засіб» розроблена в роботі [9]. Більш детально сукупність процесів утворення та руху потоку енергії в автомобілі (з дизелем) представлена на рис. 1 у вигляді схеми системи «водій-автомобіль-середовище». За її основу взята схема виникнення, перетворення, просування, реалізації потоку енергії та управління ним в автотранспортному засобі (АТЗ) з дизелем. Потоки речовин показані подвійними стрілками, потоки механічної енергії (у вигляді потужності  $N$  та її параметрів  $n, v, M$  і  $P$ ) – жирними стрілками, потоки теплової енергії ( $E_m$ ) – стрілками середньої товщини, потоки звуку ( $S$ ) – пунктирними стрілками, а керуючі впливи ( $L$ ) і сигнали зворотнього зв'язку – тонкими стрілками.

Водій, узгоджуючись з необхідністю реалізації швидкості  $v_a$  і прискорення  $j_a$  автомобіля, контролює подачу палива за допомогою педалі подачі (акселератора)  $L_a$ , керуючою за допомогою приводу (ПР) кутом повороту важеля  $\phi_p$  регулятора паливного насоса (РПН). РПН, з корекцією за частотою обертання кулачкового валу (пропорційною частоті обертання колінчастого валу (ЧОКВ)  $n_e$ ), забезпечує певне положення рейки  $h_p$  ПНВТ (ПН). Паливо ( $C_n H_m$ ) подається на вхід ПНВТ. Останній забезпечує в кожен циліндр циклову подачу палива  $q_{ц} = q_{ц}(n_e, h_p)$ , що залежить від ЧОКВ  $n_e$  і положення рейки  $h_p$ . Надлишок палива зливається у бак. Робота ПНВТ характеризується шумом  $S_{пнв}$ .

У камері згоряння двигуна (Д) вивільняється енергія  $E_{цз}$ , частка якої по відношенню до кількості теплоти  $h_{цз}$ , внесеної з паливом у циліндр, оцінюється індикаторним ККД  $\eta_i$ . Стосовно до повнорозмірного двигуна:

$$\eta_i = \frac{3600}{g_i H_u} \quad (1)$$

де  $g_i$  – індикаторна питома витрата палива;

$H_u$  – найнижча теплота згоряння палива.

Процес характеризується індикаторною потужністю  $N_i$  (кВт) та індикаторною питомою витратою палива  $g_i = \frac{3600}{\eta_i H_u}$ , г/(кВт·год).

Енергія руху поршнів за допомогою кривошипно-шатунного механізму перетворюється на енергію обертального руху колінчастого валу (КВ) з маховиком. Це відбувається із втратою потужності  $N_m$  та з механічним ККД  $\eta_m = \frac{N_i - N_m}{N_i}$ . У розпорядженні споживачів енергії виявляється ефективна потужність  $N_e = N_i - N_m$ . Під час цього ефективний ККД  $\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = \frac{3600}{g_e H_u}$ . Ефективна питома витрата палива:

$$g_e = \frac{3600}{\eta_e H_u} \quad (2)$$

Ефективні показники двигуна визначаються у стаціонарних стендових умовах. В експлуатації ж присутні ще втрати потужності  $N_{ва}$  на привід допоміжних агрегатів, зміна потужності через відхилення стану двигуна ( $\Delta N_{дсд}$ ) і атмосферних умов ( $\Delta N_{дат}$ ), вплив неустановлених режимів (НУР)  $\Delta N_{днур}$ . Таким чином, потужність, яку отримує трансмісія, дорівнює:

$$N_d = M_d \cdot n_e = N_e - N_{ва} - \Delta N_{дсд} - \Delta N_{дат} - \Delta N_{днур} \quad (3)$$

де  $M_d$  – крутний момент КВ;

$n_e$  – частота обертання КВ;

$N_{ва}$  – втрати потужності на привід допоміжних агрегатів;

$\Delta N_{дсд}$  – зміна потужності через відхилення стану двигуна;

$\Delta N_{дат}$  – зміна атмосферних умов;

$\Delta N_{днур}$  – зміна неусталених режимів.

Двигун, використовуючи кисень  $O_2$ , викидає відпрацьовані гази (ВГ), виділяє теплову енергію  $H_d$ , здійснює шум  $S_d$ . Крутний момент  $M_d$  КВ сприймається веденими дисками зчеплення. Потужність розсіювання енергії дисками зчеплення:  $\Delta N_c = H_c + S_c = N_d - N_c$ , де  $N_c = M_c \cdot n_c$  – потужність на виході зчеплення.

Потужність  $N_c$  надходить на вхід коробки передач (КП). Функція КП – узгоджувати навантаження опору руху автомобіля з характеристиками двигуна. Водій здійснює ступінчасте керування за допомогою важеля  $L_{кп}$ . Робота КП супроводжується втратою енергії, пов'язаної з тертям і генерацією високочастотних коливань у зубчастих парах і підшипниках, тертям в ущільненнях, перемішуванням масла:

$$\Delta N_{кп} = H_{кп} + S_{кп} = N_c - N_{кп}, \quad (4)$$

де  $N_{кп} = M_{кп} \cdot n_{кп}$  – потужність на виході КП.

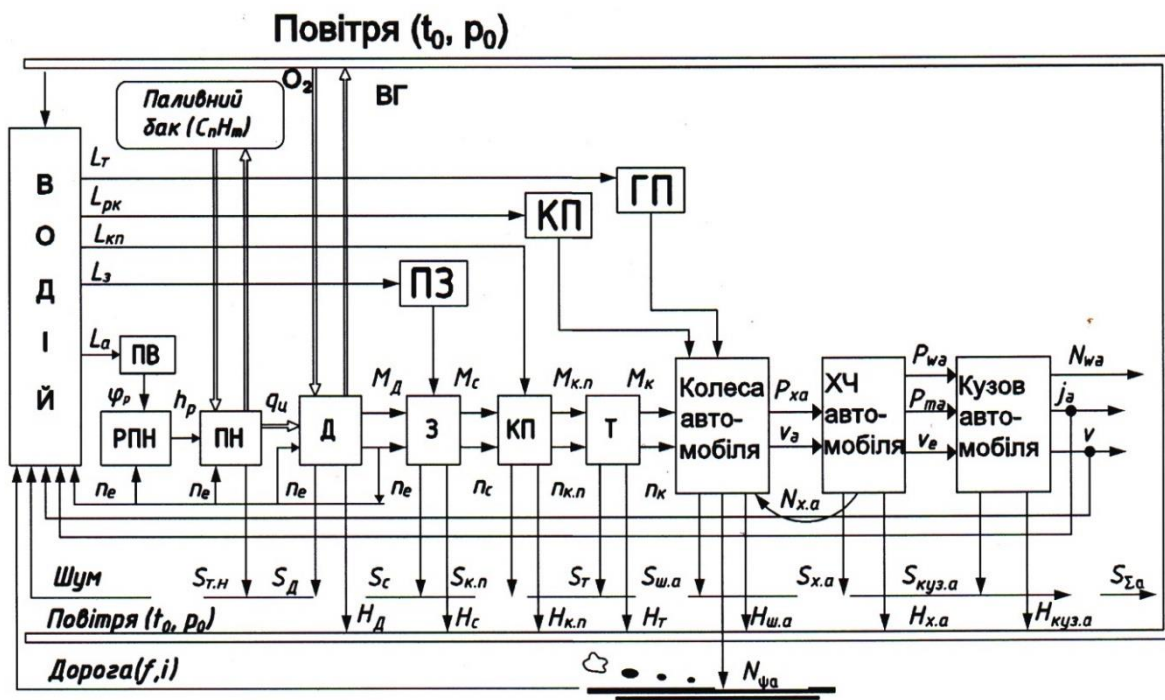


Рисунок 1 – Схема системи «водій-автомобіль-середовище»:  $C_n H_m$  – вуглеводні палива;  $O_2$  – кисень повітря; ВГ – відпрацьовані гази;  $L_a, L_z, L_{кп}, L_{рк}, L_t$  – керуючі діями відповідно педалі акселератора, педалі зчеплення, важеля КП, кермового колеса, гальмівної педалі; РПН – регулятор паливного насоса; ПВ – привід важеля РПН; ПН – паливний насос високого тиску (ПНВТ); Д – двигун (без РПН та ПН); З – зчеплення; КП – коробка зміни передач; Т – частина трансмісії, що залишилася (без З та КП); ХЧ – рухома частина без коліс (несуча частина);  $\phi_p$  – кут повороту важеля РПН;  $h_p$  – хід рейки ПН;  $q_{ц}$  – циклова подачі палива;  $M_d$  – крутний момент на КВ двигуна;  $M_c$  – момент на веденому валу зчеплення;  $M_{кп}$  – момент на вторинному валу КП;  $M_k$  – момент на ведучих колесах;  $P_{xa}$  – поздовжня сила дії двигуна автомобіля на його ходову частину (ХЧ);  $P_{wa}$  – сила подолання опору повітря автомобіля;  $N_{wa}$  – потужність, що витрачається на опір повітря руху автомобіля;  $N_{\psi a}$  – дисипація енергії на деформацію і нагрівання дороги;  $n_e, n_c, n_{кп}, n_k$  – частоти обертання колінчастого валу, веденого валу зчеплення, вторинного валу КП та ведучого колеса відповідно;  $v_a, j_a$  – швидкість та прискорення автомобіля; ПЗ – привід зчеплення; КП – кермовий привід; ГП – гальмівний привід;  $H_d, H_c, H_{кп}, H_T, H_{ш.а}, H_{х.а}, H_{куз.а}$  – теплові втрати потужності відповідно двигуна, зчеплення, коробки передач, залишкової частини трансмісії, шин коліс автомобіля, ходової частини автомобіля, кузова автомобіля;  $S_{Т.н}, S_d, S_c, S_{к.н}, S_T, S_{ш.а}, S_{х.а}, S_{куз.а}$  – шум, створюваний відповідно паливним насосом, двигуном, зчепленням, коробкою передач, частиною

трансмсії, що залишилася, шинами коліс автомобіля, ходовою частиною автомобіля; кузовом автомобіля;  $S_{\Sigma}$  – сумарна звукова енергія (переходить у тепло повітря);  $t_0, p_0$  – температура та тиск навколишнього середовища;  $f$  – коефіцієнт опору кочення колеса;  $i$  – позовжній нахил дороги

Далі потік потужності проходить ряд ланок частини трансмісії (Т): карданну передачу, головну передачу та ін. Робота їх відбувається з тертям у зубчастих парах, шарнірах, підшипниках, ущільненнях, з перемішуванням масла, генерацією високочастотних коливань у зубчастих парах, шарнірах та підшипниках, розвитком та поглинанням цих коливань у валах – все це з виділенням теплової енергії ( $H_T$ ), та з шумом ( $S_{Т,ш}$ ):  $\Delta N_c = H_T + S_T = N_{кп} - N_k$ , де  $N_k = M_k \cdot n_c$  – залишок потужності, що підводиться до ведучих коліс.

Робочий процес окремого колеса складний: його визначають характеристики шини, властивості дороги, навантаження, крутний момент, швидкість руху, крутизна траєкторії повороту, зчеплення з дорогою. Процес, просумований по всіх колесах, супроводжується дисипацією енергії на деформацію і нагрівання дороги ( $N_{\psi a}$ ) і шин (в кінцевому підсумку – повітря  $H_{ш a}$ ), а також генерацією шуму ( $S_{ш a}$ ):

$$\Delta N_{ш a} = H_{\psi a} + H_{ш a} + S_{ш a} = N_k - N_{x a}, \quad (5)$$

де  $N_{x a} = P_{x a} \cdot v_a$  – залишок потужності, що підводиться до балок мостів автомобіля;

$P_{x a}$  – штовхаюче зусилля з боку маточин коліс.

Рушій об'єднаний ходовою частиною. Ця об'єднана конструкція наводить паразитну циркуляцію потужності в системі «трансмісія - ходова частина». Енергетично вагомим є коливальний процес підвіски. Підвіска забезпечує плавний рух рами з кузовом, вантажем, людьми в процесі руху коліс з мостами по нерівній дорозі - і це можливе тільки з реалізацією коливань непіддресореної маси відносно піддресореної. Такі коливання потрібно постійно гасити. На угамування коливань йде частина енергії  $H_{x a}$ , а робота елементів ХЧ супроводжується шумом елементів:

$$S_{x a}: \Delta N_{x a} = H_{x a} + S_{x a} = N_{x a} - N_p, \quad (6)$$

де  $N_p = P_p \cdot v_a$  – залишок потужності, що підводиться до рами автомобіля для формування штовхаючого зусилля.

Темп енергоспоживання визначає потужність машини як енергосилового об'єкта – і розраховується як добуток силового параметра на швидкісний. Потужність ДВЗ визначається роботою реалізованого крутного моменту валу двигуна  $M_e$  на частоту обертання цього валу  $n_e: N_e = M_e \cdot n_e$ .

Залежності отриманого крутного моменту  $M_e$  (та інших параметрів: положення регулюючих органів подачі палива та ін.) від частоти  $n_e$  є швидкісними характеристиками. При цьому залежність  $M_e = f \cdot (n_e)$  при граничних положеннях важеля регулятора називається зовнішньою швидкісною характеристикою (ЗШХ). ЗШХ при реалізації обмежень швидкісного режиму ДВЗ переходить у граничну регуляторну характеристику (ГРХ).

Ефективність функціонування системи можна оцінити за енергетичним показником:

$$E = Q_0 - (E_T + E_{Тр} + E_{ш} + E_E + E_{ін}), \text{ Дж/с}, \quad (7)$$

де  $Q_0$  - загальна кількість теплової енергії, введена в двигун з паливом;  $E_T$  – втрати теплої енергії в двигуні;  $E_{Тр}$  – втрати енергії в трансмісії;  $E_{ш}$  – втрати енергії в шинах;  $E_E$  – втрати енергії в системі, пов'язані з діяльністю водія;  $E_{ін}$  – втрати енергії, пов'язані з іншими процесами.

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Енергетична ефективність системи ВАС складається з енергетичної ефективності перетворення теплової енергії в механічну роботу в ДВЗ, енергетичної ефективності перетворення енергії і передачі її в трансмісії, енергетичної ефективності перетворення енергії між колесом автомобіля і поверхнею дороги, а також енергетичною ефективністю, пов'язаною з діяльністю водія та інших перетворень. Запропонований підхід передбачає моніторинг параметрів функціонування транспортного засобу, стану навколишнього середовища і психо-фізіологічного стану водія, а також умов руху на передбачуваній ділянці шляху. Наступним етапом є розробка методу комплексної оцінки ефективності функціонування системи ВАС.



## ВИСНОВКИ

Запропонована концептуальна модель системи ВАС використовує положення теорії функціональних систем та заснована на представленні представляється доцільним створення ефективних людино-машинних інтерфейсів, що дозволяють більш глибоко, адекватно та різнобічно інтегрувати функціональні підсистеми водія та транспортного засобу в єдину систему із загальною цільовою функцією.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Tanelli, M., Toledo-Moreo, R., Stanley, M. (2018). Guest Editorial: Multifaceted Driver–Vehicle Systems: Toward More Effective Driving Simulations, Reliable Driver Modeling, and Increased Trust and Safety. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 48 (1), 1–5. <https://doi.org/10.1109/thms.2017.2784018>.
2. Burnett, G.E. (2009). On-the-Move and in your Car: An overview of HCI Issues for In-Car Computing. *International Journal of Mobile Human Computer Interaction*, 1 (1), 60–78. <https://doi.org/10.4018/jmhci.2009010104>.
3. Savchenko, V., Poddubko, S. (2018). Integration of passive driver-assistance systems with on-board vehicle systems. *IoP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 315 (1), 12–24. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/315/1/012024>.
4. Strayer, D.L., et al. (2015). Assessing Cognitive Distraction in the Automobile. *Human Factors*, 57 (8), 1300–1324. <https://doi.org/10.1177/0018720815575149>.
5. Block, R.A., Hancock, P.A., Zakay D. (2010). How cognitive load affects duration judgments: A meta-analytic review. *Acta Psychologica*, 134 (3), 330–343. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.03.006>.
6. What is cognitive distraction and why is it so dangerous to drivers? [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.aktriallaw.com/Articles/What-is-cognitive-distraction-and-why-is-it-so-dangerous-to-drivers.shtml>. – Date of access: 12.01.2021.
7. Östlund J., et al. (2006). Effects of cognitive and visual load in real and simulated driving: VTI rapport 533A [Electronic resource] Mode of access: [https://www.vti.se/en/Publications/Publication/effects-of-cognitive-and-visual-load-in-real-and-s\\_675275](https://www.vti.se/en/Publications/Publication/effects-of-cognitive-and-visual-load-in-real-and-s_675275).
8. Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов автомобиля в эксплуатационных условиях / Ю.Ф. Гутаревич. – Київ: Вища школа, 1991. – 179 с.
9. Zakharchuk, V., Gritsuk, I., Zakharchuk, O. et al. (2018) The Choice of Rational Type of Fuel for Technological Vehicles. *SAE Technical Paper 2018–01–1759*. <https://doi.org/10.4271/2018-01-1759>.

## REFERENCES

1. Tanelli, M., Toledo-Moreo, R., Stanley, M. (2018). Guest Editorial: Multifaceted Driver–Vehicle Systems: Toward More Effective Driving Simulations, Reliable Driver Modeling, and Increased Trust and Safety. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 48 (1), 1–5. <https://doi.org/10.1109/thms.2017.2784018>.
2. Burnett, G.E. (2009). On-the-Move and in your Car: An overview of HCI Issues for In-Car Computing. *International Journal of Mobile Human Computer Interaction*, 1 (1), 60–78. <https://doi.org/10.4018/jmhci.2009010104>.
3. Savchenko, V., Poddubko, S. (2018). Integration of passive driver-assistance systems with on-board vehicle systems. *IoP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 315 (1), 12–24. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/315/1/012024>.
4. Strayer, D.L., et al. (2015). Assessing Cognitive Distraction in the Automobile. *Human Factors*, 57 (8), 1300–1324. <https://doi.org/10.1177/0018720815575149>.
5. Block, R.A., Hancock, P.A., Zakay D. (2010). How cognitive load affects duration judgments: A meta-analytic review. *Acta Psychologica*, 134 (3), 330–343. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.03.006>.
6. What is cognitive distraction and why is it so dangerous to drivers? [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.aktriallaw.com/Articles/What-is-cognitive-distraction-and-why-is-it-so-dangerous-to-drivers.shtml>. – Date of access: 12.01.2021.
7. Östlund J., et al. (2006). Effects of cognitive and visual load in real and simulated driving: VTI rapport 533A [Electronic resource] Mode of access: [https://www.vti.se/en/Publications/Publication/effects-of-cognitive-and-visual-load-in-real-and-s\\_675275](https://www.vti.se/en/Publications/Publication/effects-of-cognitive-and-visual-load-in-real-and-s_675275).
8. Hutarevych Y.F. *Snyzhenye vrednukh vubrosov avtomobyliya v ekspluatatsyonnykh uslovyakh*. Kyiv: Vyshcha shkola, 1991. – 179 s.



9. Zakharchuk, V., Gritsuk, I., Zakharchuk, O. et al. (2018) The Choice of Rational Type of Fuel for Technological Vehicles. SAE Technical Paper 2018-01-1759. <https://doi.org/10.4271/2018-01-1759>.

**V. Zakharchuk, O. Zakharchuk, M. Skalyga, V. Yaroshuk. Structural diagram of the "driver-car-environment" system**

A conceptual scheme of the "driver-car-environment" system is proposed, which uses the provisions of the theory of functional systems and the presentation of the car as a functional system containing three levels: engine, chassis and body. The functioning of the system is characterized by a change in the parameters and dynamic properties of its elements in an unpredictable manner. Information interactions at the tactical level are considered as interactions of multimodal images of the elements of the "driver-car-environment" system, presented in the form of state vectors of these elements. Factors affecting the efficiency of system functioning are considered. A diagram of the functioning of the "driver-car-environment" system has been developed using system objects, which allows evaluating the influence of various factors on system indicators, taking into account the main processes of the system, feedback as process control parameters, and connections with the environment that take place in operating conditions. In particular, the driver's control actions are characterized by actions on the accelerator pedal, clutch pedal, gearbox lever, steering wheel, brake pedal. The "environment" subsystem is characterized by the parameters of the road and atmospheric air. The efficiency of the system is closely related to significant energy consumption. The system has low productivity in terms of energy indicators, but the reserves for increasing its profitability are far from exhausted. Until now, when evaluating the effectiveness of the VANS system according to the energy criterion, methods based on the evaluation of the effectiveness of its individual elements were used. The system approach allows you to evaluate energy and material costs and find reserves for improving the efficiency of the system as a whole.

**Key words:** system, efficiency, driver, car, environment, energy, functioning.

*ЗАХАРЧУК Віктор Іванович*, доктор технічних наук, професор кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: [victavto@gmail.com](mailto:victavto@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0002-5450-391X>

*ЗАХАРЧУК Олег Вікторович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: [Zaharchukov205@gmail.com](mailto:Zaharchukov205@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0002-9265-4647>

*СКАЛИГА Микола Миколайович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: [cnn110162@gmail.com](mailto:cnn110162@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0002-1852-078X>

*ЯРОЩУК Віктор Віталійович*, аспірант кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: [victoryaroshuk@ukr.net](mailto:victoryaroshuk@ukr.net). <https://orcid.org/0009-0007-1377-7635>.

*Victor ZAKHARCHUK*, Doctor of Science in Engineering, Professor of Motor Cars and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, e-mail: [victavto@gmail.com](mailto:victavto@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0002-5450-391X>

*Oleg ZAKHARCHUK*, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Motor Cars and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, e-mail: [Zaharchukov205@gmail.com](mailto:Zaharchukov205@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0002-9265-4647>.

*Mykola SKALIGA*, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Motor Cars and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, e-mail: [cnn110162@gmail.com](mailto:cnn110162@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0002-1852-078X>.

*Viktor YAROSCHUK*, graduate student of Motor Cars and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, e-mail: [victoryaroshuk@ukr.net](mailto:victoryaroshuk@ukr.net). <https://orcid.org/0009-0007-1377-7635>.

DOI 10.36910/automash.v1i22.1355

Карнасюк І.М.

*Державний університет інфраструктури та технологій, Київ, Україна***АНАЛІЗ РОБОТИ ЗАЛІЗНИЦІ ТА ЦІНОУТВОРЕННЯ ВАРТОСТІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ  
ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ В УМОВАХ ВІЙНИ**

Економічна ситуація та майбутній розвиток України залежать від того, наскільки добре бізнес зможе співпрацювати в умовах глобалізації для досягнення високого рівня конкурентоспроможності продукції на світовому ринку. Лідером експорту в Україні є зерно. Тому для України актуальним є розвиток системи залізничного транспорту з метою досягнення необхідної потужності перевезення зерна з мінімальними витратами.

Подорожчання транспортних послуг (в умовах надлишку рухомого складу) забезпечується за рахунок скорочення АТ «Укрзалізниця» їх пропозиції та штучного формування попиту на рухомий склад з боку посередників. Тоді як реальний попит власників/експортерів/виробників рухомого складу як транспортний фактор, визначений фактичним обсягом експортованих товарів за контрактом, наразі не впливає на ціну.

Для проведення аналізу використовується комбінований підхід, який включає в себе статистичний аналіз даних про вартість перевезення та економічні індикатори. Дані про тарифи на перевезення зернових, обсяги перевезень, цінову динаміку та інші фактори аналізуються для встановлення зв'язків та прогнозування тенденцій. Аналіз вартості перевезення та ціноутворення зернових вантажів важливий для розуміння динаміки ринку зерна та ефективного управління логістичними процесами у зерновій індустрії. Результати дослідження вказують на великий вплив вартості перевезення на загальну вартість зернових вантажів та їх конкурентоспроможність на ринках. Висока вартість перевезення може призвести до збільшення ціни зерна для кінцевих споживачів, що може вплинути на споживчість та виробництво продуктів харчування.

В статті також розглянуто роботу диспетчерського апарату, який забезпечує ефективне управління та координацію перевезень вагонів на міжнародних та внутрішніх маршрутах, що дозволяє забезпечити швидку та надійну передачу вантажу між залізницями та інозалізницями.

**Ключові слова:** експорт зерна, вартість перевезення, залізничний тариф, відстань перевезення, вартість вагонів, оренда вагону, вантажні перевезення, експорт зерна, вагон, диспетчерський апарат.

**ВСТУП**

Повномасштабне вторгнення суттєво вплинуло на експорт зерна з України. Воно призвело до руйнування інфраструктури, перешкоди вирощуванню, збору та транспортуванню зернових культур. Крім того, війна може призвести до обмежень на вивіз зерна через заміщення експортних об'єктів військовими об'єктами або заборонами на експорт. Економічна нестабільність та невизначеність, які часто супроводжують війну, можуть спричинити зменшення інвестицій у сільське господарство та зменшення інтересу іноземних покупців до українського зерна.

**АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Клієнтоорієнтований підхід – запорука залучення користувачів послуг, збільшення об'ємів перевезень та приріст фінансових надходжень для залізниці. Це питання досліджувалось у науковій праці Г.І. Кириченко «Оптимізації взаємодії залізниці та вантажовласника – мета розробки інформаційних технологій»[1]

Військові дії призводять до обмеження доступу до полів та обробленої землі, втрати обладнання та працівників. Це призвело до зменшення обсягів виробництва та експорту зернових культур починаючи з лютого 2022 року [2,3]. У 2022 цей показник склав 28,9 млн тон, у 2021 – понад 30 млн тон, у 2023 році приблизно 25-28 млн тон зерна [Рис 1].

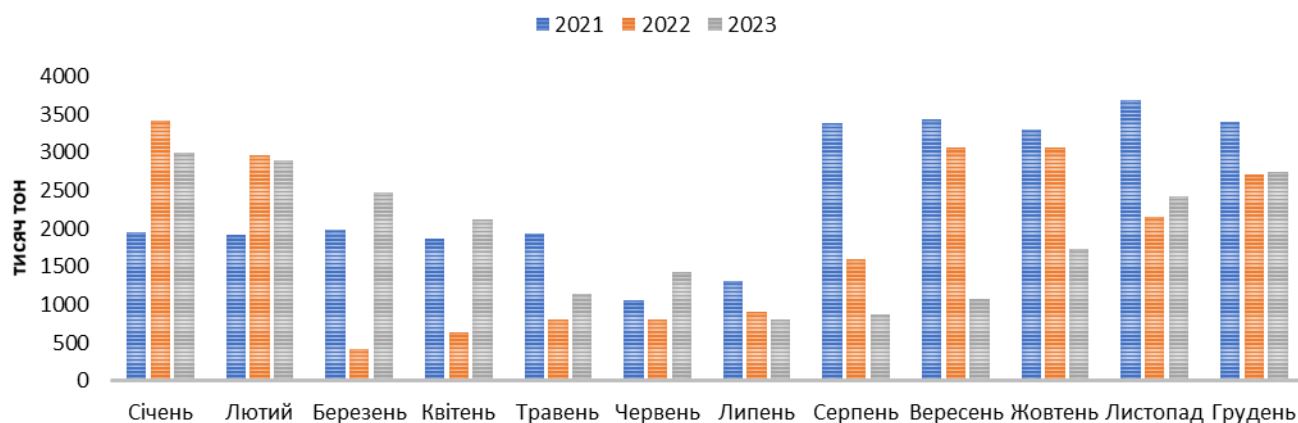


Рисунок 1 - Динаміка обсягів перевезень експорту зернових вантажів у 2021-2023 роках

Після повномасштабного вторгнення в Україні виникнула складна ситуація на ринку зерна, це призвело до збільшення цін та обмежень на експорт, а також до загальної нестабільності на ринку. Слід зазначити, що значне збільшення вартості перевезення зерна в другій половині 2022 року було також обумовлене рекордними вартостями на зерно, що частково нівелювало збільшення частки вартості перевезення в ціні зерна.

Станом на осінь 2023 року ціни на зерно значно нижчі за показники 2022 року, що видно на наступному графіку [Рис 2].

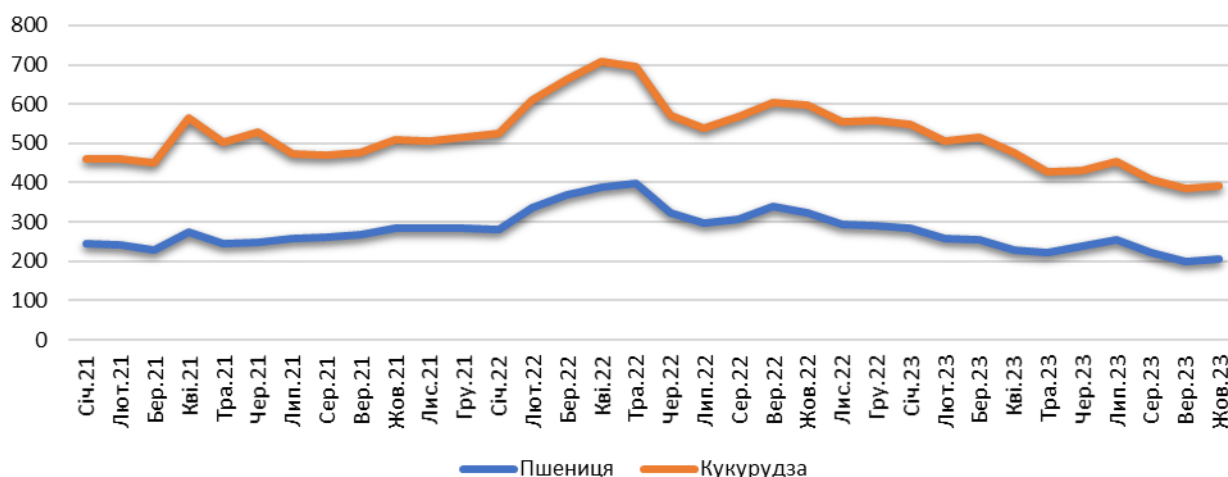


Рисунок 2 - Зміна вартості 1т вантажу за період 2021-2023 років, дол США.

Зростання вартості перевезення з липня 2022 року вплинуло на розмір частки вартості перевезення у ціні зерна. Зокрема у вересні 2022 року частка вартості перевезення в експортному сполученні через сухопутні переходи при повагонній відправці кукурудзи склала: 59% для зерновозів об'ємом 94 м<sup>3</sup>, що є своєрідним зафіксованим антирекордом. Станом на жовтень 2023 року це є найбільшими показниками транспортної складової для всіх сполучень, власності вагонів та видів відправки з 2019 року серед кукурудзи та пшениці.

### ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є аналіз ціноутворення та вартості перевезення зернових вантажів в умовах війни.

Для досягнення поставленої мети необхідно дослідити та проаналізувати:

1. складову залізничного тарифу;
2. ціну на користування вагонами та її коливання;
3. вплив на залізничний тариф підвищеної ставки на користування вагонами-зерновозами, що розігруються на аукціонах через систему Prozorro;
3. оперативна робота залізниці, а саме робота диспетчерського апарату залізниці;
4. вплив людського фактору на вирішення оперативних проблем та позаштатних ситуацій в діяльності залізниці.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ціна на перевезення зерна у вагоні складається з різних компонентів, та включає:

- тариф (провізна плата);
- вартість користування вагоном (оренда);
- додаткових (станційних) зборів;
- експедиторських послуг якщо вони є.

*Тарифи це є вартість послуг саме залізничного перевезення.* Це тарифи на використання залізничної інфраструктури та послуги перевезення (тяга), які стягуються залізницею. Він визначається тарифною відстанню.

*Відстань та маршрут перевезення.* Тариф (провізна плата) залежить виключно від відстані між місцем відправлення та призначенням, а також класу вантажу. Відстань та маршрут перевезення не має впливу на ціну зерна. Чим дешевша логістика - тим більша маржа (прибуток) виробника зерна. (Світова ціна мінус вартість логістики). Ціну на зерно формує світовий ринок споживання зерна.

*Додаткові послуги та збори.* Це додаткові послуги, такі як завантаження та розвантаження, страхування вантажу, збори на використання підйомних пристроїв тощо, подача-забирання вагонів, переадресування, тощо. Вони визначаються згідно збірника тарифів.

*Вартість вагонів.* Це вартість оренди або користування вагонів власності АТ «Укрзалізниця». На вартість вагонної складової (і лише на неї) впливає попит та пропозиція (якщо не застосовуються «спеціальні методи» впливу).

Підвищення тарифів на перевезення залізничним транспортом зазвичай відбувається з метою збільшення прибутку компанії, покращення якості обслуговування та інвестицій у розвиток і підтримку інфраструктури. Влітку 2022 року в оперативному порядку та без належних консультацій з бізнесом вантажні залізничні тарифи були підвищені відразу на 70%. Це призвело до зростання вартості перевезень для виробників та експортерів, а також вплинуло на ціни на ринку зерна та інших сільськогосподарських продуктів [Рис.3]. Залізниця постійно намагається власну неефективність та витрати, які в неї постійно збільшуються, перекласти на ринок через механізм підвищення тарифів, як приклад, вище згадане, підвищення тарифів в 2022 році. Але замість цього компанії необхідно працювати над пошуком нових клієнтів, покращенням якості перевезень та нарощенням бази вантажообігу.

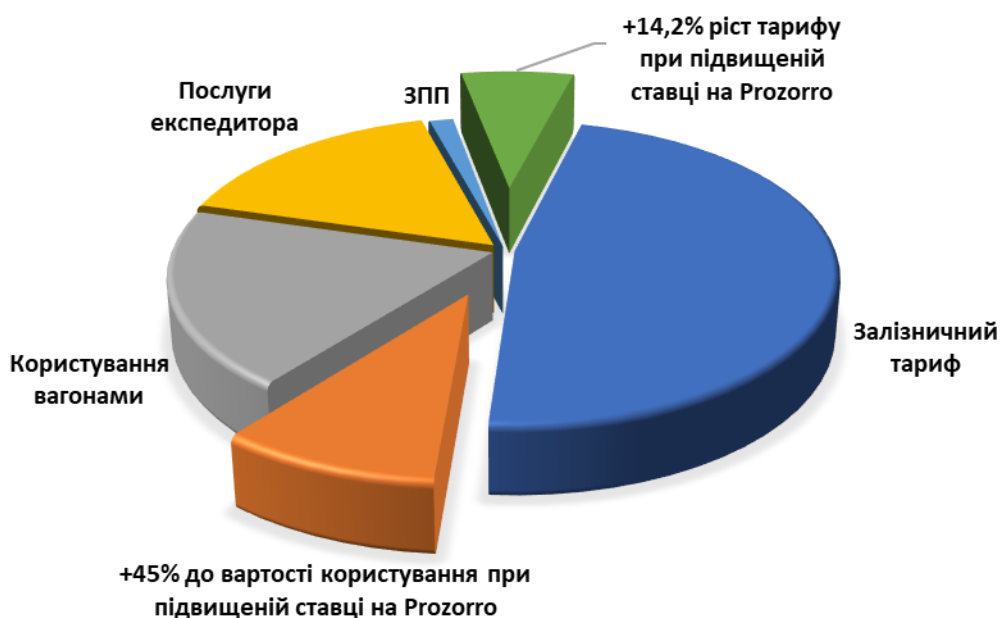


Рисунок 3 – Вплив підвищеної ціни користування вагоном на вартість перевезення

Клієнти АТ «Укрзалізниця» не виступали проти підвищення тарифів, основною проблемою було те, що підвищення було майже миттєво, без завчасного попередження. Схоже питання досліджувалось ще у 2013 році науковцями Д. М. Козаченко, Р. Ш. Рустамов, Х. В. Матвієнко в науковій роботі «Напрямки підвищення ефективності перевезень зернових вантажів залізничним

транспорт» [4]. Вони звернули увагу на те, що не можливо тривалий період часу штучно стримувати вартість перевезення.

Одним з складової вартості перевезення вантажів є добова ставка на оренду вагону. При встановленні ціни на оренду вагону, власники вагонів, опирались на ціну оренди вагонів АТ «Укрзалізниця». До 2022 року ціна була більш-менш стабільною. В середині 2022 року АТ «Укрзалізниця» запустила програму по виведенню її на безбитковість та почала проводити тендери на вагони-зерновози через систему ProZorro у вигляді лотів з певною кількістю вагонів. На даних торгах ціни варіювались від 2 000 грн до 22 000 грн вагон/доба [Рис. 4]. Після цього ціна на приватний вагон-зерновоз піднялась майже вдвічі, з 2100 грн/доба до 4000 грн/доба.

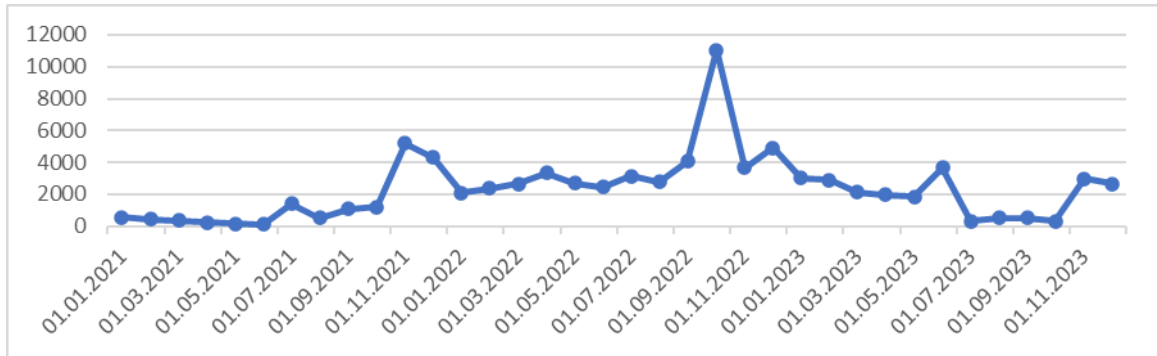


Рисунок 4 – Середні ставки плати за використання вагонів-зерновозів АТ «Укрзалізниця» за 2021-2023 роки

Підвищення залізничних тарифів на вантажні перевезення та здорожчання вартості використання вагонів довело аграріїв у ще більші збитки, і вони скоротили посівні площі під урожай 2024 року. В умовах, коли експорт зернових та олійних є одним із основних джерел валютних надходжень до країни, скорочення посівних площ під цими культурами автоматично означає падіння експорту і валютної виручки. Скорочення виробництва, а відтак і експорту зернових та олійних, призведе до падіння і вантажних перевезень АТ «Укрзалізниця» та її доходів.

Через вилучення зерновозів із робочого парку та продаж обмеженої кількості транспортних засобів з аукціонів створюється дефіцит пропозиції.

АТ «Укрзалізниця» знижує транспортну швидкість, що призводить до збільшення часу обороту вагонів, створюючи штучні черги та створюючи умовні дефіцити. Зараз АТ «Укрзалізниця» почала щомісяця змінювати швидкість руху власних вагонів, що є складовою вартості тарифу на перевезення. Тобто при зменшенні швидкості руху вагону – вартість перевезення піднімається [3].

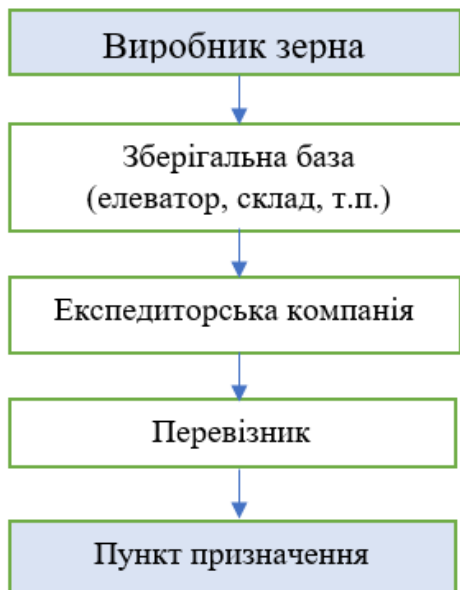


Рисунок 5 - Схема взаємодії учасників перевезення зерна залізницею



У цій схемі Експедиторська компанія виступає як посередник між зберігальною базою та перевізником. Вона координує та організовує перевезення зерна залізницею, співпрацюючи з усіма іншими учасниками, включаючи виробників зерна, зберігальні бази та пункт призначення.

Перевезення зерна у вагонах-зерновозах є складним і багатогранним процесом, що вимагає виваженої організації та системного підходу для забезпечення ефективності та безпеки у всіх його аспектах[5]. Нижче розглянуто детальні аспекти цього.

1. Завантаження зерна: Завантаження зернового вантажу у вагони-зерновози є першим етапом перевезення, що вимагає уважної організації та точного виконання процедур. Зазвичай зерно завантажують у вагони на зернових терміналах або зберігальних базах. Під час цього процесу важливо враховувати нормативні вимоги до маси та об'єму завантаження, а також забезпечити належну якість зерна, відповідно до встановлених стандартів і норм.

2. Обробка зерна: Перед завантаженням та під час нього зерно може піддаватися обробці з метою очищення, сортування або захисту від шкідників. Обробка зерна є важливим етапом підготовки до перевезення, оскільки вона забезпечує збереження якості та цілісності зернового вантажу під час транспортування.

3. Забезпечення безпеки: Однією з ключових аспектів перевезення зерна у вагонах-зерновозах є забезпечення безпеки. Це включає в себе належне забезпечення вагонів для запобігання втраті чи пошкодженню зерна під час транспортування, а також дотримання встановлених нормативів щодо безпеки праці та збереження зернового вантажу.

4. Завантаження та розвантаження: Після прибуття вагонів-зерновозів на пункт призначення, проводиться процедура розвантаження. Цей етап включає в себе розвантаження зерна з вагонів та його подальше переміщення на зберігання або подальшу обробку. Ефективне та безпечне проведення цієї процедури є важливим аспектом забезпечення продуктивності та якості перевезення зернового вантажу.

5. Логістичне планування: Для успішного перевезення зерна у вагонах-зерновозах необхідне детальне логістичне планування. Це включає в себе визначення оптимальних маршрутів, графіків руху та інші аспекти, щоб забезпечити ефективну та своєчасну доставку зернового вантажу до пункту призначення.

6. Моніторинг та контроль: Під час усього процесу перевезення зерна важливо мати системи моніторингу та контролю, щоб відстежувати рух вагонів, контролювати умови зберігання зерна та вчасно реагувати на можливі проблеми. Це забезпечує високий рівень ефективності та надійності у всьому процесі перевезення.

Слід зазначити, що возити зерно залізницею зараз дорожче ніж автотранспортом, іноді – у два рази. Тож не дивно, що аграрії масово переходять на автоперевезення, а великі гравці навіть утворюють власні автопарки.

Деякі агровиробники взагалі відмовилися від експорту зерна й зосередилися на внутрішньому ринку. Вони запускають власні лінії переробки сільгосппродукції й намагаються вже не тільки продавати сировину, але виробляти з неї власний продукт.

Все це призводить до очевидного результату: попит на залізничні перевезення з боку аграріїв падає. Падіння попиту означає падіння доходів АТ "Укрзалізниця", зменшення рівня податків, що вона зможе сплачувати держбюджету, урізання зарплат, а в перспективі – звільнення працівників та зменшення інвестицій у розбудову залізничної інфраструктури.

Конфлікт інтересів виникає не лише через зростання цін на залізничні перевезення[1]. Ця ситуація ще більше посилюється нерозвиненою інфраструктурою для транспортування великої кількості зерна за кордон.

На кордонах України із сусідніми країнами немає великої кількості елеваторів та обладнання для перевалки зерна. Тому не можна гарантувати нормальні умови зберігання сільськогосподарської продукції. Значна частина зерна була пошкоджена, так і не залишивши межі України. Крім того, рух вагонів в 2022 році через кордон був хаотичним, деякі вагони простоювали на в черзі до прикордонного переходу 90 днів.

Фермер не має можливості заздалегідь оцінити, скільки зерна він може перевезти за один рейс і як швидко його можна перевезти. Тому що немає системи моніторингу пропускної спроможності на кордоні і можливості повідомляти, де вагони рухаються швидко, а де затримуються. З цієї причини вся пропускна здатність залізниці працює з перебоями. То в одному місці проходили вагони, то в іншому потрапляли в затори, то навпаки, і так часто.

І це проблема не лише України, а й Європейського Союзу. Вони також не готові приймати велику кількість поїздів з українським зерном, через що періодично виникають справжні затори на прикордонних переходах. Дане питання досліджувалось у науковій роботі науковцями Ю.М. Щуклін, В.В. Скалозуб, С.Ю. Цейтлін «Проблеми реформування залізничного транспорту України – шлях до Європейської інтеграції» [6].

В системі управління процесом залізничного транспорту технічне нормування, зокрема розрахунок обігу вагонів, здійснюється на основі нормативно-технічних документів, що розроблюються на тривалий період за середньодобовим параметрами. Фактична ситуація суттєво відрізняється від ситуації, на основі якої ґрунтується технічна документація, внаслідок чого нормативні показники втрачають вплив на оперативну обстановку [7]. Крім того, в арсеналі диспетчерських служб, які здійснюють оперативне управління, відсутні інструменти моніторингу показників. Вони аналізують події, які вже відбулися.

Отже, існуючі системи управління не містять методів і засобів впливу диспетчерських пристроїв на дотримання технічних процесів та ефективність використання рухового складу, які на даний момент характеризуються показником обігу вагонів. У зв'язку з цим є актуальним розгляд двох суміжних проблем управління. До них відноситься відсутність впливу диспетчерського апарату [Рис. 6] на дотримання нормативного часу технологічного процесу у зв'язку з відсутністю плану конкретного перевезення та необхідність зміни розрахунків нормативного та поточного показника – обіг вагону.



Рисунок 6 - Ієрархічна структура системи диспетчерського керування рухом поїздів

У цій ієрархічній структурі центральний диспетчерський пункт знаходиться на вершині ієрархії, він керує всіма регіональними диспетчерськими пунктами та диспетчерськими станціями. Регіональні диспетчерські пункти керують діяльністю диспетчерських станцій у відповідних регіонах, а диспетчерські станції в свою чергу керують рухом поїздів на конкретних ділянках доріг [8].

Виконання встановлених стандартів щодо руху вагонів на залізниці та своєчасна доставка товарів для вантажовласника вважається показником ефективного технологічного процесу управління експлуатаційною роботою залізниці.

Необхідність впровадження нових принципів обліку, нормування та прогнозування основних показників діяльності залізниці обумовлена вимогами до організації технологічного процесу:

1 Узгодженість між цільовими функціями системи управління та механізмом операційного управління (об'єктом управління) технологічного процесу.

2 Узгодженість між цільовими функціями системи управління та кожним окремим підрозділом операційного управління.

3. Надійність ідентифікації процесів- забезпечення актуальності статистичних даних (параметрів моделі) всього процесу та його складових, що необхідно для планування технологічного процесу та прийняття оперативних рішень.

4. Узгодженість відповідності правил прийняття рішень актуальним цільовим функціям та обмеженням.

У цій ієрархічній структурі центральний диспетчерський пункт знаходиться на вершині ієрархії, він керує всіма регіональними диспетчерськими пунктами та диспетчерськими станціями. Регіональні диспетчерські пункти керують діяльністю диспетчерських станцій у відповідних регіонах, а диспетчерські станції в свою чергу керують рухом поїздів на конкретних ділянках доріг[8].

Основний зміст принципів вибору значень показників діяльності включає наступне:

1. Адекватність нормативних значень технологічному процесу у поточному стані: обрані нормативи повинні відображати реальні умови та потреби технологічного процесу в даний момент.

2. Масштабованість значень до рівня технологічної ланки: значення показників мають бути придатними для вимірювання різних рівнів технологічного процесу, від окремих елементів до загальних величин.

3. Адаптивність критеріального значення: критерії визначення показників повинні бути гнучкими та здатними адаптуватися до змін у технологічному середовищі.

4. Стійкість та безпека системи нормування: значення показників повинні бути стійкими та надійно відображати рівень безпеки та стабільності в технологічному процесі.

### **ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Очевидно, адекватне визначення показників якості організації технологічного процесу, до яких належить обіг вагонів, є критично важливим як для залізниці, так і для власників вагонів і вантажів. Для власників вантажів це пов'язано з доставкою вантажів. У той же час, диспетчерські служби залізниці відповідають за контроль руху поїздів згідно з встановленим графіком, але контроль та управління доставкою вантажів, а також оцінка якості виконання технологічного процесу доставки вантажів залишаються проблематичними.

Зрозуміло, що бізнес-середовище, яке використовує послуги залізниці, очікує прозорості в діях та дотримання логістичних принципів доставки вантажів, особливо коли це стосується перевезень, пов'язаних з прийомом-передачею вантажів за кордон або на інші види транспорту. При цьому якість надання послуг з доставки вантажів, передусім, пов'язана з дотриманням встановлених часових параметрів, що визначається договором між учасниками перевезень. Визначення часу передачі вантажу клієнту пов'язане з точним плануванням часу операцій з вантажем під час перевезення.

Існуючий автоматизований інструмент для планування перевезень, яким є система АС Месплан, передбачає розрахунок технології перевезення. Суттєвою характеристикою цієї системи є її база планів на наступний місяць навантажень та замовлень на навантаження вагонів, які узгоджуються (або неузгоджуються) працівниками залізниці. По суті, ця система відображає наміри вантажовідправників. Було розроблено цей інструмент більше двадцяти років тому як засіб для регулювання роботи передавальних переходів та адаптовано до вимог планування навантаження власниками вантажів у системі АСК ВП УЗ-Є.

У той же час, в інформаційній системі залізниці (АСК ВП УЗ-Є), існує можливість розрахунку обігу кожного вагона окремо. З цією метою для розробки локалізації проблемних ланок управління технологічним процесом пропонується:

1. Встановлювати обіг кожного вагона на основі фактичних даних, які зберігаються в базі даних СК ВП УЗ-Є.

2. Визначати обіг вагонів як показник обслуговування конкретного потоку вантажу, що означає розрахунок залежно від типу рухомого складу при перевезенні певного виду вантажу.

Планування часу операцій з вантажем під час перевезення від станції відправлення до станції призначення потребує розробки зовсім нової системи - основи планування технологічного процесу конкретного перевезення. В рамках структури АСКВП УЗ-Є ця система буде виступати як початкова підсистема, на основі якої буде реалізоване планування графіків доставки вантажів і забезпечений механізм контролю над дотриманням нормативного часу технологічного процесу. Слід зауважити, що сучасні вимоги до управління транспортними процесами передбачають наявність інформації про час, місцезнаходження та стан об'єкту для всіх учасників доставки вантажів[9]. Використання цих технологій дозволяє планувати час проведення операцій технологічного процесу, включаючи всі ланцюги доставки вантажів, що є необхідним для здійснення контролю та прийняття управлінських рішень.

Диспетчерський апарат залізниці грає ключову роль у передачі вагонів на інші залізниці через координацію руху поїздів та співпрацю з іншими залізницями. Ось яким чином диспетчерський апарат впливає на цей процес:

-Координація перевезень: Диспетчерський апарат визначає послідовність руху поїздів на мережі залізниці, враховуючи міжнародні маршрути та узгоджуючи їх з графіками руху поїздів інших залізниць.

-Управління кордонами: Диспетчери взаємодіють з диспетчерськими службами інших країн для організації передачі вагонів через кордонні пункти. Вони вирішують питання з виробленням необхідних документів, погодженням проходження кордону та координацією маршрутів.

-Вирішення транзитних питань: Диспетчерський апарат відповідає за організацію транзиту вагонів через території різних країн. Він координує зупинки для обміну вагонів, забезпечує швидкий прохід транзитних маршрутів та вирішує всі питання, пов'язані з транзитним перевезенням.

-Розв'язання конфліктів та узгодження: У разі виникнення конфліктів або непередбачених ситуацій, диспетчери вирішують їх шляхом узгодження дій з диспетчерськими службами інших залізниць, забезпечуючи безперебійний рух вагонів.

Диспетчерський апарат забезпечує ефективне управління та координацію перевезень вагонів на міжнародних маршрутах, що дозволяє забезпечити швидку та надійну передачу вантажу між різними залізницями.

При створенні цієї підсистеми необхідно узгодження контрольно-часових точок технологічного процесу (розкладу конкретного перевезення) всіма учасниками доставки вантажів, включаючи нових учасників організації процесу - перевізників. Треба мати на увазі, що Європейські директиви з Євроінтеграції передбачають надання рівноправного та недискримінаційного доступу до ресурсів стратегічної інфраструктури залізниці всім користувачам.

Нещодавно Європейський банк реконструкцій та розвитку (ЄБРР) схвалив проект екстреної підтримки АТ «Укрзалізниця» на суму 200 млн євро та проект розвитку прикордонних переходів, у рамках якого "Укрзалізниця" отримає 51 млн євро субсидій. Ці гроші розширять систему перетину кордону. Принаймні так стверджують чиновники. Але збільшення пропускної здатності кордону – це лише половина проблеми. Ми також повинні ефективно планувати наші маршрути.

## **ВИСНОВКИ**

Підвищення тарифів на залізничні вантажні перевезення та збільшення вартості користування вагонами призвело до збільшення втрат для аграріїв, що змусило їх скоротити посівні площі під врожай 2024 року. Це особливо критично, оскільки експорт зернових та олійних культур є ключовим джерелом валютних надходжень для країни. Зменшення площ під цими культурами призведе до автоматичного зменшення експорту та валютних доходів. Зменшення обсягів виробництва та, відповідно, експорту зернових та олійних культур призведе до зниження обсягів вантажних перевезень залізницею та доходів АТ "Укрзалізниця".

Україна разом із європейськими партнерами має розробити спільну систему планування та контролю дорожнього руху. Чітка та передбачувана система дасть уявлення про те, коли, куди та як часто відправляються потяги, скільки часу займає перетин кордонів тощо. Крім того, необхідно подумати про нові способи транспортування зерна, які вже є в ЄС. Адже його ще потрібно доставити до кінцевого споживача.

Зараз такої ініціативи на державному рівні немає. Фермери самі вирішують ці проблеми, як можуть. І було б доречно запропонувати Польщі, своєму найближчому союзнику, створити сумісну інфраструктуру для транспортування та перевалки українського зерна, вигідну обом сторонам.

Польща виграє від транзиту українського зерна, а Україна – від ефективного транспортування власної агропродукції. У Польщі є власні порти, два найбільші - Гдиня і Гданськ - займаються

перевалкою польського зерна, тому вони навряд чи візьмуть на себе зобов'язання щодо української сировини. Чому б не домовитися про перевалку українського зерна на державному рівні? Під час війни їх можна було адаптувати під потреби фермерів за кошти ЄБРР та інших. Все це можливо, але потрібна домовленість на державному рівні, а також необхідна зміна підходів до ціноутворення з метою збільшення інвестиційної привабливості залізничного транспорту. Зазначені заходи особливо актуальні наразі, під час випробувань економіки країни у галузі перевезення зерна залізницею.

#### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Кириченко Г. І. Оптимізація взаємодії залізниці та вантажовласника – мета розробки інформаційних технологій / Г. І. Кириченко // Збірник наукових праць ДЕТУТ. – 2010. – С. 239 – 246.
2. Аналіз вартості перевезення зернових вантажів залізничним транспортом в 2019 – 2023 рр. [Електрон. ресурс] - Режим доступу: <https://www.railinsider.com.ua/analiz-vartosti-perevezennya-zernovyh-vantazhiv-zaliznychnym-transportom-v-2019-2023-rropen/>.
3. Сайт державної служби статистики України [Електрон. ресурс] - Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
4. Козаченко Д. М. Напрямки підвищення ефективності перевезень зернових вантажів залізничним транспортом / Д. М. Козаченко, Р. Ш. Рустамов, Х. В. Матвієнко. // Транспортні системи і технології перевезення. – 2013. – С. 56–60.
5. Волинець Л. М. Удосконалення логістичних процесів в аграрному секторі України / Л. М. Волинець. // Економіка транспортного комплексу. – 2020. – №36. – С. 113–128.
6. Щуклін Ю. М. Проблеми реформування залізничного транспорту України – шлях до Європейської інтеграції / Ю. М. Щуклін, В. В. Скалозуб, С. Ю. Цейтлін. // Тези XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті». – 2022. – С. 62–65.
7. Кириченко Г. І. Напрямки вдосконалення технологічних процесів експлуатаційної діяльності залізниці / Г. І. Кириченко, О. С. Антонів. // Тези XVI Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті». – 2022. – С. 60–61.
8. Левченко І. В. Особливості вантажних перевезень в умовах воєнного стану: вітчизняний та світовий досвід / І. В. Левченко // Глобальна безпека та асиметричність світового господарства в умовах нестабільного розвитку економічних систем / І. В. Левченко. – Кропивницький: Матеріали III Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції 8 грудня 2023 р., 2023. – С. 230–233.
9. Птащенко, О., Сохацька О., «Особливості логістичної діяльності в умовах «діджиталізації». Вісник східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, вип. 6 (276), 2022, с. 50-54.

#### REFERENCES

1. A. Kyrychenko. Optimizing the interaction between the railway and the cargo owner - the goal of information technology development / A. Kyrychenko // Collection of scientific papers SETUT. – 2010. – P. 239 – 246.
2. Analysis of the cost of grain cargo transportation by rail in 2019-2023 [Electronic resource] - Access mode: <https://www.railinsider.com.ua/analiz-vartosti-perevezennya-zernovyh-vantazhiv-zaliznychnym-transportom-v-2019-2023-rropen/>.
3. Website of the State Statistics Service of Ukraine [Electron. resource] - Access mode: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
4. D. Kozachenko. Directions for increasing the efficiency of transportation of grain cargoes by railway transport / D. Kozachenko, R. Rustamov, H. Matvienko. // Transport systems and transportation technologies. – 2013. – P. 56–60.
5. L. Volynets Improvement of logistic processes in the agricultural sector of Ukraine / L. Volynets. // Economics of the transport complex. – 2020. – No. 36. – P. 113–128.
6. Shchuklin Yu. Problems of reforming railway transport of Ukraine - the path to European integration / Yu. Shchuklin, V. Skalozub, S. Tzeitlin. // Abstracts of the XVI International Scientific and Practical Conference "Modern Information and Communication Technologies in Transport, Industry and Education". – 2022. – P. 62–65.
7. A. Kyrychenko Direction of improvement of technological processes of railway operational activity / A. Kyrychenko, O. Antoniv. // Abstracts of the XVI International Scientific and Practical



Conference "Modern Information and Communication Technologies in Transport, Industry and Education". – 2022. – P. 60–61.

8. Levchenko I. Peculiarities of freight transportation in the conditions of war: domestic and world experience / I.Levchenko // Global security and asymmetry of the world economy in the conditions of unstable development of economic systems / I. Levchenko. – Kropyvnytskyi: Proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Internet Conference December 8, 2023, 2023. – P. 230–233.

9. Ptashchenko, O., Sokhatska O., "Peculiarities of logistics activity in the conditions of "digitalization". Bulletin of the Eastern Ukrainian National University named after V. Dalya, vol. 6 (276), 2022, p. 50-54.

### ***Karnasiuk I. Analysis of railway work and pricing of the cost of transportation of grain loads by rail transport in the conditions of war***

The economic situation and future development of Ukraine depend on how well business can cooperate in the conditions of globalization to achieve a high level of competitiveness of products on the world market. The leader of exports in Ukraine is grain. Therefore, the development of the railway transport system in order to achieve the necessary grain transportation capacity with minimum costs is relevant for Ukraine.

The increase in the price of transport services (in conditions of excess rolling stock) is ensured by the reduction of their supply by Ukrzaliznytsia and the artificial formation of demand for rolling stock on the part of intermediaries. Whereas the real demand of rolling stock owners/exporters/manufacturers as a transport factor, determined by the actual volume of goods exported under the contract, does not currently affect the price.

A combined approach is used for the analysis, which includes statistical analysis of data on the cost of transportation and economic indicators. Data on grain transportation rates, transportation volumes, price dynamics, and other factors are analyzed to establish relationships and forecast trends. Analysis of the cost of transportation and pricing of grain cargoes is important for understanding the dynamics of the grain market and effective management of logistics processes in the grain industry. The results of the study indicate a great influence of the cost of transportation on the total cost of grain cargoes and their competitiveness in the markets. The high cost of transportation can lead to an increase in the price of grain for end consumers, which can affect consumption and food production.

The article also examines the operation of the dispatching apparatus, which provides effective management and coordination of wagon transportation on international and domestic routes, which allows for quick and reliable transfer of cargo between different railways and foreign railways.

**Key words:** grain export, transportation cost, railway tariff, transportation distance, wagon cost, wagon rental, freight transportation, grain export, wagon, dispatcher.

*КАРНАСЮК Іван Миколайович* аспірант Державного університету інфраструктури та технологій, e-mail: karnasiuk.vania@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-5430-5645>

*Ivan KARNASIUK*, Postgraduate student of the State University of Infrastructure and Technologies e-mail: karnasiuk.vania@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-5430-5645>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1356

Кашканов А. А., Буряк В. В.  
*Вінницький національний технічний університет*

## **ПРОБЛЕМНІ ПИТАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОГО РОЗВИТКУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ В УКРАЇНІ**

Україна є одним з лідерів серед виробників зернових культур в світі. Аграрна частка внутрішнього валового продукту України за підсумками 2023 року складає 17%. Активні бойові дії на території України спричинили кардинальні зміни в умовах діяльності аграрного сектору країни, що в свою чергу призвело до зміни планів та ускладнення умов ведення аграрного бізнесу, скорочення площ засіву та експортних можливостей, збільшення частки експорту зерна на європейський ринок шляхом використання автомобільних та залізничних вантажоперевезень через обмежені можливості великих морських портів, зростання ролі автомобільного транспорту у забезпеченні перевезень зернових культур всередині країни. Логістичні витрати в Україні складають 30-50% у собівартості продукції.

В статті на основі аналізу статистичних даних було виявлено загальну ситуацію з наявністю проблем та факторів, які впливають на організаційно-технічний розвиток перевезень зернових культур автомобільним транспортом в Україні. В результаті аналізу причинно-наслідкових зв'язків запропоновано використання логістичного потенціалу щодо суттєвого скорочення витрат підприємств, які значною мірою залежать від рівня розвитку логістичної інфраструктури, логістичного аутсорсингу й ступеня відповідності виконуваних логістичних функцій та операцій міжнародним стандартам і нормам. Відповідність виконуваних логістичних функцій міжнародним стандартам сприятиме підвищенню конкурентоспроможності української продукції, створенню сприятливих умов для її експорту, інтеграції підприємств України до світового ринку.

**Ключові слова:** автомобільний транспорт, організаційно-технічний розвиток, логістика, ефективність перевезень, виробництво та збут зернових культур.

### **ВСТУП**

Україна є одним з лідерів серед виробників зернових культур в світі. За даними Всеукраїнської аграрної ради [1], аграрна частка внутрішнього валового продукту України за підсумками 2023 року складає 17%. Перевезення зерна це один з найважливіших етапів процесу виробництва та збуту зернових культур. Великі обсяги виробництва зернових культур потребують ефективної організації транспортування цієї продукції до споживачів.

Проблеми перевезення зернових в Україні в період воєнного стану – це актуальна тема, яка стосується логістики та ефективності перевезень. На сьогоднішній день можна виділити такі аспекти цієї ситуації [2-4]:

- зміна планів та ускладнення умов ведення аграрного бізнесу;
- скорочення площ засіву та експортних можливостей;
- збільшення частки експорту зерна на європейський ринок шляхом використання автомобільних та залізничних вантажоперевезень;
- зростання ролі автомобільного транспорту у забезпеченні перевезень зернових культур на території України.

Ця ситуація вимагає від аграріїв, трейдерів та транспортних компаній адаптації до нових умов, пошуку інноваційних рішень та співпраці для забезпечення стійкості сільськогосподарського сектору взагалі та ефективності перевізних процесів зокрема, що визначає актуальність обраної тематики в теоретичній та практичній площині.

### **АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Питаннями розвитку логістики та забезпечення ефективності перевезень присвячено дослідження Dantzig G. B., Ramser J. H., Armstrong J. S., Overton T. S., Fornell C., Larcker D. F., Marsh H. W., Hocesvar D., Anderson J. C., Gerbing D. W., Fisher M. L., Frohlich M. T., Westbrook R., Lun Y. H. V., Lai K.-H., Cheng T. C. E., Wong C. W. Y., Topolšek D., Čižiūnienė K., Cvahte Ojsteršek T., Окландера М. А., Крикавського Є. В., Воркута А. І., Біловодської О. А., Кислого В. М., Смирнова І. Г., Ілляшенко С. М., Олійника Я.Б., Сохацької О. М., Ізтелеуової М. С., Грицука І. В., Арімбекової П. М., Тарандушки Л. А. та багато інших [5-10]. Безпосередньо проблеми доставки продукції аграрного сектору загалом та зернових культур зокрема в Україні досліджували Киш Л. М., Камінський І. В., Кузнецова І., Медведєв Є. П., Стельмашук А. М., Смоленюк Р. П., Чайківський І. А., Лузан Ю. Я., Боднар О. В., Лупенко Ю. О., Шпичак О. М., Месель-Веселяка В. Я., Бережна Н. Г., Біляєва О. С.,

Войтов В. А., Горяїнов О. М., Карнаух М. В., Кравцов А. Г., Кутья О. В., Музилюв Д. О., Шраменко Н. Ю. та інші дослідники [11-13].

Аналіз останніх публікацій показує, що використання транспортно-технологічних схем доставки зернових культур за участю декількох видів транспорту має специфічні особливості, які породжують ряд проблем в логістиці транспортного та складського комплексів. Для України до визначальних особливостей технології доставки зернових відносяться наступні:

- обмежені можливості великих морських портів України в умовах воєнного стану;
- переорієнтація частини вантажопотоків на контейнерні перевезення залізничним транспортом;
- використання на більшій частині ланцюга постачань в середині країни автомобільного транспорту;
- стохастичність процесу прибуття автомобілів на термінали внаслідок значної децентралізації перевезень, що сприяє наднормативним простоям транспортних засобів в очікуванні своєї черги на розвантаження та погіршенню фізико-хімічних властивостей вантажу.
- збільшення собівартості перевезень та термінів доставки внаслідок відсутності ефективної взаємодії між різними видами транспорту.

### ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виявлення проблем та факторів, які впливають на ефективність процесу перевезення зернових культур в Україні, з метою пошуку шляхів організаційно-технічного розвитку агрологістики в умовах посилення ролі автомобільного транспорту в період воєнного стану.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Ланцюг постачань зернових культур із застосуванням декількох видів транспорту, який відображає можливі схеми руху вантажів на експорт подано на рис. 1.



Рисунок 1. Ланцюг постачань при експорті зернових культур

Зі схеми, представленої на рис. 1 видно, що більша частина ланцюга постачань забезпечується за рахунок функціонування автомобільного транспорту, і тому на нього припадає більшість проблемних питань з точки зору організаційно-технічного розвитку перевезень.

Ефективність діяльності підприємств автомобільного транспорту (ПАТ) можна покращити шляхом підвищення ефективності роботи основних засобів виробництва (транспортних засобів); розширення спектра транспортних та супутніх послуг; врахування запитів клієнтів; мінімізації експлуатаційних витрат; зниження ризиків при транспортуванні [14].

Використання логістичного підходу у забезпеченні перевезень змінює пріоритети у менеджменті господарської діяльності та надає можливість врахувати усі стадії виготовлення, транспортування й збуту продукції як єдиного процесу. На сьогоднішній день тенденціями розвитку міжнародного ринку логістичних послуг є [15-17]: покращення позицій підприємств, які мають розвинуті логістичні мережі; зростання обсягів аутсорсингу логістики з метою зосередження зусиль ПАТ на основних видах діяльності; підвищення ролі регіонів при формуванні логістичних мереж; мінімізація логістичного ланцюга з метою оптимізації логістичних витрат; нові підходи до дистрибуції різних продуктів на фоні скорочення їх життєвого циклу; інноваційність в логістичних процесах.

Розвиток логістики в Україні відповідає світовим тенденціям, має позитивну динаміку, значний потенціал, але перебуває на етапі формування та консолідації. Рейтинг Світового банку – Logistics Performance Index (LPI) за 2023 рік [17, 18] показує, що Україна має 79 місце з 160 країн у логістичній ефективності (рис. 2).

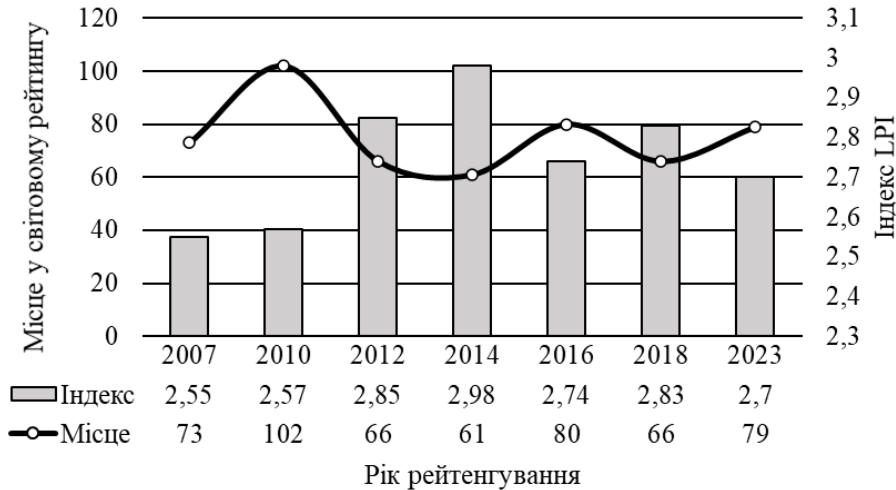


Рисунок 2. Рейтинг LPI України за останні роки

Індекс LPI формується на основі оцінок за 6-ма критеріями. У 2023 році Україна мала такі критеріальні оцінки (місця): митні процедури – 2,4 (90); інфраструктура – 2,4 (89); міжнародне транспортування вантажів – 2,8 (75); логістична компетентність – 2,6 (92); відстеження вантажів – 2,6 (94); своєчасність доставки – 3,1 (76). Аналіз наведених показників вказує на існування ряду проблем в Україні, пов'язаних з організацією і виконанням митних процедур, з розвитком інфраструктури, з логістичною компетентністю провайдерів та системою відстеження вантажів.

Аналіз статистичних даних [18, 19] показує, що в Україні частка транспорту, складського господарства, кур'єрської та поштової діяльності за останні десять років не перевищувала відмітки у 8% в загальній вартості валового внутрішнього продукту. Це свідчить про стабільність ситуації на логістичному ринку, але не дозволяє оцінити його реальний стан.

На даний час розвиток ринку логістичних послуг здійснюється шляхом аутсорсингу частини функцій виробних компаній. З 2012 р. у світі на логістичний аутсорсинг передається понад 50% обсягу логістичних послуг у вартісному еквіваленті [16]. Компанії з виробництва товарів і послуг намагаються передати спеціалізованим логістичним провайдерам непрофільну діяльність та сконцентруватись на своїх ключових компетенціях (рис. 3). Загальносвітовою тенденцією в логістиці є перетворення логістичних провайдерів на віртуальних логістичних інтеграторів з надання логістичних послуг. На ринку України більшість вітчизняних логістичних компаній є 2PL-провайдерами, які забезпечують надання послуг з транспортування та складування.

Логістичні витрати в Україні складають 30-50% у собівартості продукції [15], що свідчить про логістичний потенціал щодо суттєвого скорочення витрат підприємств. Розвитку логістики в Україні перешкоджає цілий ряд труднощів. Дія низки негативних факторів, спричинених військовими подіями на території України, підсилюється такими обставинами:

- нестаток організованих оптових товарних ринків;
- недостатня розвиненість систем зв'язку і телекомунікацій;
- дефіцит кваліфікованих фахівців;
- низька якість автомобільних доріг;
- нестаток вантажних терміналів, низький техніко-технологічний рівень їх розвитку;

- великий фізичний та моральний знос рухомого складу;
- низький рівень механізації та автоматизації складської діяльності;
- нестаток виробництва сучасної тари і упаковки тощо.



Рисунок 3 – Участь провайдерів логістичних послуг у ланцюгу постачань

Фактори, які сприяють розвитку логістики в Україні:

- вигідне географічне положення;
- збільшення обсягів оптової та роздрібної торгівлі;
- перевищення попиту на логістичні послуги над пропозицією;
- велика ємність логістичного ринку;
- вихід на ринок країни міжнародних компаній, які користуються логістичними послугами;
- порівняно низькі витрати будівництва складських терміналів щодо вартості спорудження інших об'єктів нерухомості.

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

В результаті аналізу ланцюга постачань при експорті зернових культур (див. рис. 1), можна прийти до висновку, що організаційно-технічний розвиток перевезень напряму залежить від рівня залучених провайдерів логістичних послуг (див. рис. 3) на усіх етапах використання автомобільного транспорту. При цьому, в умовах виникнення великої кількості ланцюжків постачань при організації змішаних перевезень найбільш перспективним є використання багатокритеріального оцінювання умов перевезень. Крім тимчасових і вартісних показників як визначальних факторів, що впливають на вибір схеми доставки, можна використовувати й інші показники: наприклад, приведену вартість транспортування, яка є інтегральною оцінкою вартості вантажу та його доставки з урахуванням фактора часу.

Вибір раціонального маршруту з безлічі варіантів проводиться на основі одного визначального на даний момент часу показника [20]. Якщо важливість показників має приблизно однакове значення і для жодної зі схем доставки не виявилось очевидного рішення, то для вибору раціональної схеми перевезення можна використовувати критерії прийняття рішення в умовах невизначеності. Найбільш відомі критерії Лапласа, Вальда, Севіджа та Гурвіца, що дозволяють ухвалити рішення в умовах невизначеності на основі аналізу матриці можливих результатів [21]. Зручним засобом моделювання багатфакторних залежностей на основі експертної інформації є нечіткі правила «якщо-то» [22], метод ранжування взаємодіючих факторів на основі нечіткої когнітивної карти [23], введеної Коско Б. [24] як узагальнення бінарних когнітивних карт Аксельрода Р. [25], призначених для моделювання динаміки причинно-наслідкових зв'язків.

### ВИСНОВКИ

Активні бойові дії на території України спричинили кардинальні зміни в умовах діяльності аграрного сектору країни, що в свою чергу призвело до зміни планів та ускладнення умов ведення аграрного бізнесу, скорочення площ засіву та експортних можливостей, збільшення частки експорту зерна на європейський ринок шляхом використання автомобільних та залізничних вантажоперевезень



через обмежені можливості великих морських портів, зростання ролі автомобільного транспорту у забезпеченні перевезень зернових культур всередині країни.

На даний час логістичні витрати в Україні складають 30-50% у собівартості продукції, що свідчить про логістичний потенціал щодо суттєвого скорочення витрат підприємств. Організаційно-технічний розвиток перевезень зернових культур автомобільним транспортом зокрема та ефективність функціонування економіки України взагалі значною мірою залежать від рівня розвитку логістичної інфраструктури, логістичного аутсорсингу та ступеня відповідності виконуваних логістичних функцій та операцій міжнародним стандартам і нормам. Відповідність виконуваних логістичних функцій міжнародним стандартам сприятиме підвищенню конкурентоспроможності української продукції, створенню сприятливих умов для її експорту, інтеграції підприємств України до світового ринку.

#### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Дикун А. Середній бізнес виробляє 65% аграрного ВВП та потребує найбільшої підтримки. Веб-сайт. URL: <https://uacouncil.org/uk/post/serednij-biznes-viroblae-65-agrarnogo-vvp-ta-potrebue-najbilsoi-pidtrimki-andrij-dikun>.
2. Витищенко В. Аграрний ринок України: тренди та виклики 2024 року. Веб-сайт. URL: <https://torgsoft.ua/articles/stati/agrarnij-rinok-ukrayini-trendi-ta-vikliki-2024-roku/>.
3. Ткачов В. Дороги, рейки, річка. Що відбувається із зерновою логістикою України. Веб-сайт. URL: <https://biz.nv.ua/ukr/experts/dorogi-relysy-reka-cto-proishodilo-s-zernovoy-logistikoy-ukrainy-50050423.html>.
4. Наумов М. С., Рибак Г. І. (2023). Основні проблеми експорту зернових культур в умовах воєнного стану. Економіка та суспільство. Вип. 52. 1-6. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-52-80>.
5. Topolšek, D., Čižiūnienė, K., & Cvahte Ojsteršek, T. (2018). Defining transport logistics: a literature review and practitioner opinion based approach. *Transport*, 33(5), 1196-1203. <https://doi.org/10.3846/transport.2018.6965>
6. Wong, C. W. Y.; Lai, K.-H.; Lun, Y. H. V.; Cheng, T. C. E. (2012). A study on the antecedents of supplier commitment in support of logistics operations, *International Journal of Shipping and Transport Logistics* 4(1): 5-16. <https://doi.org/10.1504/IJSTL.2012.044132>.
7. Lun, Y. H. V.; Lai, K.-H.; Cheng, T. C. E. (2010). *Shipping and Logistics Management*. Springer. 238 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-997-8>.
8. EC. (2015). Fact-Finding Studies in Support of the Development of an EU Strategy for Freight Transport Logistics Lot 1: Analysis of the EU Logistics Sector. Final report. European Commission. 442 p. URL: [https://transport.ec.europa.eu/document/download/0ff9b058-54d3-4296-a560-e93fd6355df3\\_en?filename=2015-01-freight-logistics-lot1-logistics-sector.pdf](https://transport.ec.europa.eu/document/download/0ff9b058-54d3-4296-a560-e93fd6355df3_en?filename=2015-01-freight-logistics-lot1-logistics-sector.pdf).
9. Міжнародна логістика. (2022). Електронний підручник за науковою редакцією професора Сохацької О. М. Тернопіль: ЗУНУ. 370 с.
10. Організація та логістика перевезень: підручник. (2021). [М. С. Ізтелеуова, І. В. Грицук, П. М. Арімбекова, Л. А. Тарандушка]. Херсон : Олді-плюс. 264 с.
11. Kysh L. M. (2020). Current State and Prospects of Grain Transportation by Different Types of Transport. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal)*. #5(57). 18-24.
12. Бережна Н.Г., Біляєва О.С., Войтов В.А., Горяїнов О.М., Карнаух М.В., Кравцов А.Г., Кутя О.В., Музилюк Д.О., Шраменко Н.Ю. (2019). Проблеми транспортно-логістичного забезпечення в аграрній галузі. Монографія. Харків: Міськдрук. 180 с.
13. Стельмащук А. М., Смоленюк Р. П., Чайківський І. А. (2015). Транспортно-логістична система підприємств сільських територій. *Науково-інформаційний вісник Івано-Франківського університету права імені Короля Данила Галицького*, 11. С. 203-215.
14. Кашканов В. А., Кашканов А. А., Кужель В. П. (2020). Інформаційні системи і технології на автомобільному транспорті. Навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ. 104 с.
15. Науково-технічні дослідження у галузі транспорту: монографія / за заг. ред. Д.В. Ломотька. (2022). Академія технічних наук України. Івано-Франківськ: Видавець Кушнір Г.М. Т1, Т2. 433 с.
16. Abele, E., Boltze M., Pfohl H.-C. (2017). *Dynamic and Seamless Integration of Production, Logistics and Traffic: Fundamentals of Interdisciplinary Decision Support*. Springer International Publishing. 207 p.
17. Кашканов А. А., Буряк В.В., Москалюк М.Л. (2023). Аспекти логістичного забезпечення виробничих процесів підприємств автомобільного транспорту України. Матеріали XVI міжнародної

- науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2023 року: збірник наукових праць. Вінниця: ВНТУ. С. 154-156.
18. Global Rankings 2023. URL: <https://lpi.worldbank.org/international/global>.
  19. Офіційний сайт Державної служби статистики України. URL: [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua).
  20. Кашканов В. А., Кашканов А. А., Варчук В. В. (2017). Організація автомобільних перевезень. Навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ. 139 с.
  21. Phil, Baker Peter. (2014). *The Handbook of Logistics and Distribution Management. Understanding the Supply Chain*. 5th edition. 721 p.
  22. Zadeh L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*. №8. 338-353.
  23. Rotshtein A., Katielnikov D. & Kashkanov A. (2019). A fuzzy cognitive approach to ranking of factors affecting the reliability of man-machine systems. *Cybernetics and Systems Analysis*. Vol. 55, No. 6, November, 958-966. <https://doi.org/10.1007/s10559-019-00206-8>.
  24. Kosko B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*. Vol. 24. 65-75.
  25. Axelrod R. (1976). *Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites*: Princeton University Press, NJ. 422 p.

#### REFERENCES

1. Dykun A. Serednii biznes vyrobliiae 65% ahrarnoho VVP ta potrebuie naibilshoi pidtrymky. Website. URL: <https://uacouncil.org/uk/post/serednij-biznes-viroblae-65-agrarnogo-vvp-ta-potrebuie-najbilsoi-pidtrimki-andrij-dikun>.
2. Vytyshchenko V. Ahrarnyi rynek Ukrainy: trendy ta vyklyky 2024 roku. Website. URL: <https://torgsoft.ua/articles/stati/agrarnij-rynek-ukrayini-trendi-ta-vyklyky-2024-roku/>.
3. Tkachov V. Dorohy, reiky, richka. Shcho vidbuvaietsia iz zernovoiu lohistrykoiu Ukrainy. Website. URL: <https://biz.nv.ua/ukr/experts/dorogi-reisy-reka-cho-to-proishodilo-s-zernovoy-logistikoy-ukrainy-50050423.html>.
4. Naumov M. S., Rybak H. I. (2023). Osnovni problemy eksportu zernovykh kultur v umovakh voiennoho stanu. *Ekonomika ta suspilstvo*. Vyp. 52. 1-6. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-52-80>.
5. Topolšek, D., Čižiūnienė, K., & Cvahte Ojsteršek, T. (2018). Defining transport logistics: a literature review and practitioner opinion based approach. *Transport*, 33(5), 1196-1203. <https://doi.org/10.3846/transport.2018.6965>
6. Wong, C. W. Y.; Lai, K.-H.; Lun, Y. H. V.; Cheng, T. C. E. (2012). A study on the antecedents of supplier commitment in support of logistics operations, *International Journal of Shipping and Transport Logistics* 4(1): 5-16. <https://doi.org/10.1504/IJSTL.2012.044132>.
7. Lun, Y. H. V.; Lai, K.-H.; Cheng, T. C. E. (2010). *Shipping and Logistics Management*. Springer. 238 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-84882-997-8>.
8. EC. (2015). *Fact-Finding Studies in Support of the Development of an EU Strategy for Freight Transport Logistics Lot 1: Analysis of the EU Logistics Sector*. Final report. European Commission. 442 p. URL: [https://transport.ec.europa.eu/document/download/0ff9b058-54d3-4296-a560-e93fd6355df3\\_en?filename=2015-01-freight-logistics-lot1-logistics-sector.pdf](https://transport.ec.europa.eu/document/download/0ff9b058-54d3-4296-a560-e93fd6355df3_en?filename=2015-01-freight-logistics-lot1-logistics-sector.pdf).
9. Mizhnarodna lohistryka. (2022). *Elektronnyi pidruchnyk za naukovoiu redaktsiieiu profesora Sokhatskoi O. M. Ternopil: ZUNU*. 370 s.
10. Orhanizatsiia ta lohistryka perevezen: pidruchnyk. (2021). [M. S. Izteleuova, I. V. Hrytsuk, P. M. Arimbekova, L. A. Tarandushka]. Kherson : Oldi-plus. 264 s.
11. Kysh L. M. (2020). Current State and Prospects of Grain Transportation by Different Types of Transport. *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal)*. #5(57). 18-24.
12. Berezna N.H., Biliaieva O.S., Voitov V.A., Horiainov O.M., Karnaukh M.V., Kravtsov A.H., Kutia O.V., Muzylov D.O., Shramenko N.Iu. (2019). *Problemy transportno-lohistrychnoho zabezpechennia v ahrarnii haluzi*. Monohrafiia. Kharkiv: Miskdruk. 180 s.
13. Stelmashchuk A. M., Smoleniuk R. P., Chaikivskiy I. A. (2015). *Transportno-lohistrychna systema pidpriemstv silskykh terytorii*. Naukovo-informatsiinyi visnyk Ivano-Frankivskoho universytetu prava imeni Korolia Danyla Halytskoho, 11. S. 203-215.
14. Kashkanov V. A., Kashkanov A. A., Kuzhel V. P. (2020). *Informatsiini systemy i tekhnologii na avtomobilnomu transporti*. Navchalnyi posibnyk. Vinnytsia : VNTU. 104 c.
15. *Naukovo-tekhnicni doslidzhennia u haluzi transportu: monohrafiia / za zah. red. D.V. Lomotka*. (2022). Akademiia tekhnichnykh nauk Ukrainy. Ivano-Frankivsk: Vydavets Kushnir H.M. T1, T2. 433 s.

16. Abele, E., Boltze M., Pfohl H.-C. (2017). *Dynamic and Seamless Integration of Production, Logistics and Traffic: Fundamentals of Interdisciplinary Decision Support*. Springer International Publishing. 207 p.
17. Kashkanov A. A., Buriak V.V., Moskaliuk M.L. (2023). Aspekty lohistychnoho zabezpechennia vyrobnychkh protsesiv pidpriemstv avtomobilnoho transportu Ukrainy. *Materialy XVI mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasni tekhnolohii ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu»*, 23-25 zhovtnia 2023 roku: zbirnyk naukovykh prats. Vinnytsia: VNTU. S. 154-156.
18. Global Rankings 2023. Website. URL: <https://ipi.worldbank.org/international/global>.
19. Ofitsiyni sait Derzhavnoi sluzhby statystyky Ukrainy. Website. URL: [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua).
20. Kashkanov V. A., Kashkanov A. A., Varchuk V. V. (2017). *Orhanizatsiia avtomobilnykh perevezhen. Navchalnyi posibnyk*. Vinnytsia : VNTU. 139 c.
21. Phil, Baker Peter. (2014). *The Handbook of Logistics and Distribution Management. Understanding the Supply Chain*. 5th edition. 721 p.
22. Zadeh L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*. №8. 338-353.
23. Rotshtein A., Katielnikov D. & Kashkanov A. (2019). A fuzzy cognitive approach to ranking of factors affecting the reliability of man-machine systems. *Cybernetics and Systems Analysis*. Vol. 55, No. 6, November, 958-966. <https://doi.org/10.1007/s10559-019-00206-8>.
24. Kosko B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*. Vol. 24. 65-75.
25. Axelrod R. (1976). *Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites*: Princeton University Press, NJ. 422 p.

#### **A. Kashkanov, V. Buriak. Problem Issues of Organizational and Technical Development of Grain Transportation by Road Transport in Ukraine**

Ukraine is one of the world's leading grain producers. The agricultural share of Ukraine's gross domestic product in 2023 was 17%. Active hostilities on the territory of Ukraine have led to dramatic changes in the operating conditions of the country's agricultural sector, which in turn has led to changes in plans and complications in the conditions for doing agricultural business, a reduction in sowing areas and export opportunities, an increase in the share of grain exports to the European market through the use of road and rail freight due to the limited capacity of large seaports, and an increase in the role of road transport in ensuring the transportation of grain crops within the country. Logistics costs in Ukraine account for 30-50% of production costs.

The article, based on the analysis of statistical data, reveals the general situation with the existence of problems and factors affecting the organizational and technical development of grain crops transportation by road in Ukraine. As a result of the analysis of cause-and-effect relationships, the author proposes to use the logistics potential to significantly reduce the costs of enterprises, which largely depend on the level of development of the logistics infrastructure, logistics outsourcing, and the degree of compliance of the performed logistics functions and operations with international standards and norms. Compliance of the logistics functions performed with international standards will help to increase the competitiveness of Ukrainian products, create favorable conditions for their export, and integrate Ukrainian enterprises into the global market.

**Key words:** road transport, organizational and technical development, logistics, transportation efficiency, production and sale of grain crops.

*КАШКАНОВ Андрій Альбертович*, д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [a.kashkanov@vntu.edu.ua](mailto:a.kashkanov@vntu.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0003-3294-6135>

*БУРЯК Валерій Володимирович*, аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [btr.vl@i.ua](mailto:btr.vl@i.ua), <https://orcid.org/0009-0009-6030-4173>

*Andrii KASHKANOV*, Dr.Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: [a.kashkanov@vntu.edu.ua](mailto:a.kashkanov@vntu.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0003-3294-6135>

*Valerii BURIK*, PhD student, Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: [btr.vl@i.ua](mailto:btr.vl@i.ua), <https://orcid.org/0009-0009-6030-4173>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1357

Кашканова А. А., Біліченко В. В.  
*Вінницький національний технічний університет*

## АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМАХ МІСТ УКРАЇНИ

Постійне розширення та удосконалення існуючих мереж транспортних систем міст є запорукою сталого розвитку місцевих громад. Для забезпечення розвитку міст та якісного функціонування їх транспортних мереж потрібно врахувати безліч умов та закономірностей. Недосконалість процесів прийняття рішень, технічні питання управління потоками транспорту, планування міського простору, проблеми фінансового та економічного забезпечення проектів досить часто стають перешкодою для місцевої влади на шляху підтримки належного рівня безпеки дорожнього руху. Подолання вищезначених труднощів можливе на основі інтелектуалізації управління вулично-дорожньою мережею з метою управління безпекою у містах.

В статті на основі аналізу статистичних даних було виявлено загальну ситуацію з рівнем безпеки руху в Україні та її динаміку, виконано порівняльний аналіз показників країн Євросоюзу, США та України. В результаті аналізу причинно-наслідкових зв'язків виникнення аварійних ситуацій та передового досвіду Швеції і Німеччини у сфері безпеки дорожнього руху сформовані шляхи зниження аварійності на транспорті. Аналіз факторів, які формують безпековий простір в транспортній системі міста, стану інтелектуалізації управління дорожнім рухом у контексті забезпечення цілей безпеки та розвитку транспорту дозволив окреслити перспективи розвитку транспортних систем міст України та запропонувати заходи для покращення безпеки доріг, транспортних засобів та інших учасників дорожнього руху з метою мінімізації ризиків і соціально-економічних втрат місцевих громад.

**Ключові слова:** транспортні системи міст, автомобільний транспорт, безпека дорожнього руху, аудит, аналіз аварійності, експертиза дорожньо-транспортних пригод.

### ВСТУП

На сьогоднішній день забезпечення безпеки та ефективності дорожнього руху є одним із найважливіших завдань. Транспортна галузь активно розвивається, і з кожним роком кількість одиниць транспорту, що виходить на дороги, зростає. Внаслідок цього відбувається насичення автомобільних шляхів та ускладнення умов руху, що спричиняє високий рівень аварійності на транспорті. Аналітичні дані всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) свідчать, що кожен рік в результаті дорожньо-транспортних пригод (ДТП) гине близько 1,19 млн. людей. Дорожньо-транспортний травматизм є основною причиною смертності дітей та молоді у віці 5-29 років. Україна відноситься до групи країн з низьким чи середнім рівнем доходу, на які припадає близько 60% світового автопарку, але при цьому в цій групі реєструється 92% усіх ДТП зі смертельним наслідком. Більшість країн світу зазнають збитки внаслідок ДТП, які досягають 3-5% їх валового внутрішнього продукту [1]. Генеральна Асамблея Організації Об'єднаних Націй поставила за мету скоротити до 2030 р. удвічі кількість загиблих та травмованих внаслідок ДТП у всьому світі. Її діяльність щодо досягнення поставленої мети включає створення глобальної мережі з координації діяльності національних відомств із забезпечення безпеки дорожнього руху (БДР).

Урбанізація населення України створює величезні проблеми в транспортних системах міст внаслідок необхідності задоволення потреб місцевих громад у сталому, безпечному та здоровому середовищі, у доступі та мобільності. Розвиток міст пов'язаний зі збільшенням пропускної здатності вулично-дорожніх мереж (ВДМ), яку досить часто забезпечують за рахунок безпеки пересування вразливих учасників дорожнього руху. Такі обставини є першопричиною підвищеного травматизму під час виникнення аварійних ситуацій на транспорті, а це, в свою чергу, серйозно обмежує сталий розвиток місцевих громад. Тому надзвичайно важливою є роль місцевої влади у забезпеченні безпекового простору міст. Недосконалість процесів прийняття рішень, технічні питання управління потоками транспорту, планування міського простору, проблеми фінансового та економічного забезпечення проектів досить часто стають перешкодою для місцевої влади на шляху підтримки належного рівня безпеки дорожнього руху. Подолання вищезначених труднощів можливе на основі інтелектуалізації управління ВДМ з метою покращення безпеки руху у містах.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Дослідження параметрів транспортного процесу та причин виникнення ДТП засновано на аналізі складних взаємозв'язків ланок системи водій-автомобіль-дорога-навколишнє середовище



(ВАДНС). ДТП є наслідком порушення взаємодії підсистем ВАДНС [2, 3]. Вони, як правило, тривають одну чи кілька секунд та спричиняються декількома причинами (рис. 1). Ці обставини суттєво ускладнюють аналіз аварійних ситуацій, спрямований на виявлення причинно-наслідкових зв'язків та визначення дій учасників ДТП, їх відповідності вимогам Правил дорожнього руху (ПДР) [4]. Основні труднощі рішення такого роду задач зумовлені таким [5, 6]:

1. Обґрунтованість та об'єктивність рішення про причини ДТП залежить від врахування факторів впливу та їх причинно-наслідкових зв'язків.
2. Застосування точних методів потребує великих витрат часу та ресурсів.
3. Використання теорії імовірностей утруднено внаслідок обмежених можливостей щодо набору статистичних даних.
4. Фактори впливу є різномірними за характером і представлені не лише кількісними (маса вантажу, швидкість руху транспортного засобу (ТЗ)), а і якісними (стан і тип дорожнього покриття, шин) показниками. Це викликає труднощі застосування відомих та розробки нових аналітичних залежностей для опису причинно-наслідкових зв'язків. Крім того, інформація про кількісні величини часто подається у лінгвістичній формі.



Рисунок 1. Причини виникнення аварійних ситуацій

Оскільки аналіз аварійних ситуацій базується на оцінюванні параметрів руху ТЗ, основні методи сучасної автотехнічної експертизи ґрунтуються на теорії експлуатаційних властивостей автомобіля [7, 8]. Теорію експлуатаційних властивостей автомобіля застосовували для розв'язку задач з БДР та експертного аналізу ДТП D. Morris, D. Collins, I. S. Jones, R. Bajett, R. Watts, M. Danner, J. Halm, C. G. Russell, M. Brach, R. Brach, H. Franck, D. Franck, H. Steffan, D. Struble, H. Burg, A. Moser, М. Я. Говорушенко, А. М. Туренко, В. І. Клименко, О. В. Сараєв, С. В. Данець та багато інших. Європейська мережа криміналістичних установ має свій перелік рекомендованих наукових та методичних робіт [9], які використовуються при експертизі ДТП. Запровадження методик, які



базуються на використанні сучасних цифрових засобів дослідження аварійних ситуацій та спеціальних програмних продуктів [10, 11] є також актуальними для підвищення якості експертних висновків.

Аналіз інноваційних розробок в автомобільній промисловості [12] розкриває перспективні шляхи використання інформації з електронних систем керування, безпеки та комфорту ТЗ для визначення обставин ДТП і формування ефективних заходів з покращення безпеки руху в транспортних системах міст [13]. Ці досягнення стали можливими завдяки розвитку різноманітних технологій, у тому числі глобальної системи позиціонування, яка дозволяє відстежувати місцезнаходження ТЗ [14]; систем реєстрації даних про події, інтегрованих в ТЗ, які дозволяють фіксувати параметри ТЗ під час ДТП [15]; автоматичних систем сповіщення про виникнення ДТП [16]; систем автономного водіння [17, 18]; систем, спрямованих на підвищення безпеки руху окремих ТЗ в транспортних потоках [19, 20]; систем керування та моніторингу транспортних потоків [21, 22], пов'язаних з організацією руху ТЗ, забезпеченням безпеки на вулично-дорожній мережі, особливо в контексті функціонування інтелектуальних транспортних систем [23] та формування безпечного простору у містах [24].

**ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Виявлення причин високої аварійності на автомобільному транспорті та формування напрямків розвитку транспортних систем міст України на основі впровадження заходів з підвищення безпеки доріг, транспортних засобів, учасників дорожнього руху з метою мінімізації ризиків і соціально-економічних втрат місцевих громад.

**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Загальну ситуацію з рівнем безпеки руху в Україні та її динаміку можна з'ясувати на основі аналізу статистичних даних [25], поданих у графічному вигляді на рис. 2, 3, 4.

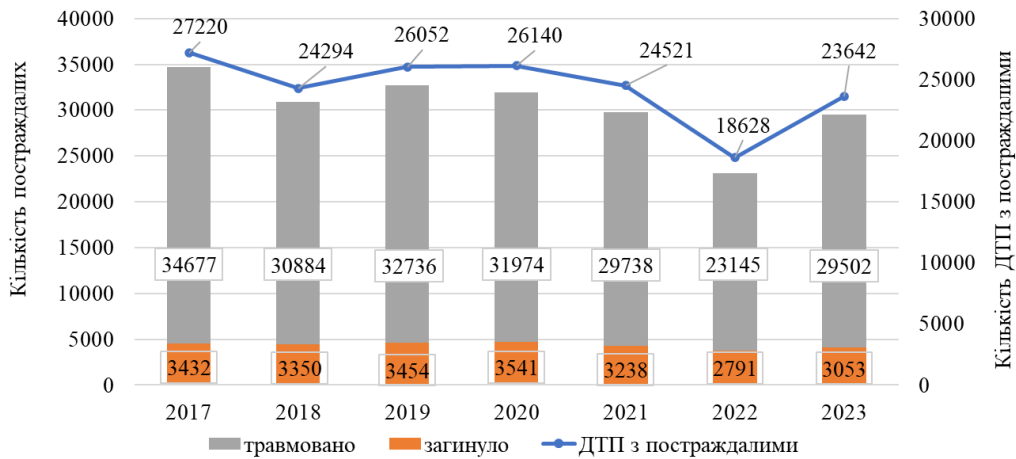


Рисунок 2. Аварійність в Україні у 2017–2023 рр. та її розподіл за видами



Рисунок 3. Зареєстровані причини ДТП з потерпілими у 2023 році

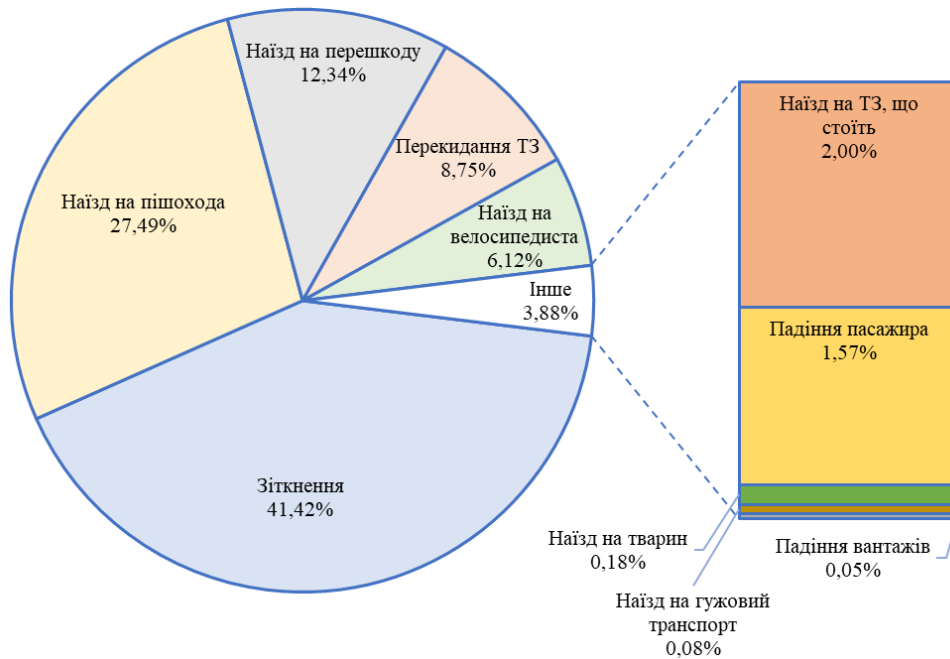


Рисунок 4. Розподіл ДТП за видами у 2023 р.

Порівняння даних останнього звіту Європейської асоціації виробників автомобілів (АСЕА) [26] та статистики департаменту патрульної поліції України [25] показує, що рівень смертності в результаті ДТП в нашій країні приблизно у два рази більший ніж середній показник країн Євросоюзу (ЄС), рис. 5, при рівні автомобілізації населення меншому у 2,6 рази [27].

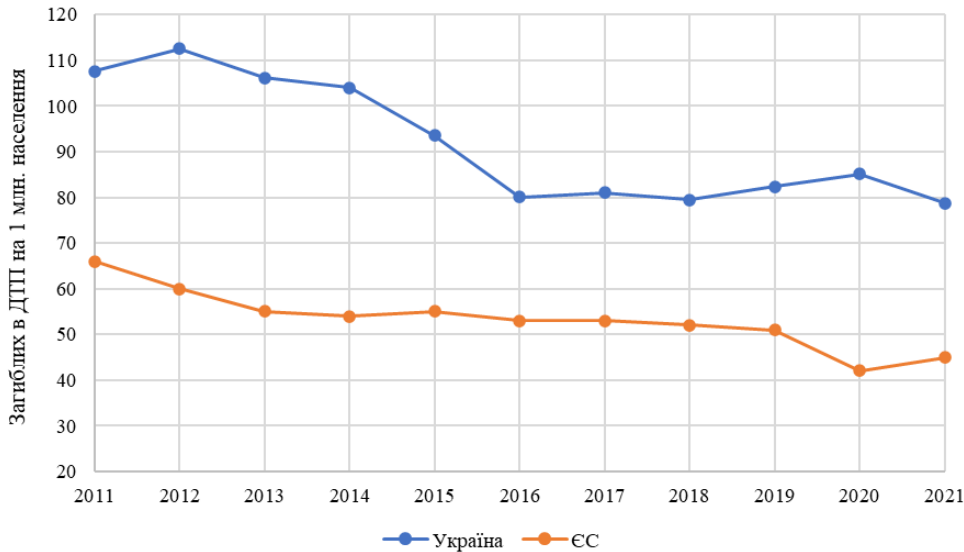


Рисунок 5. Смертність в ДТП (Україна – ЄС, 2011–2021)

Аналіз причин виникнення аварійних ситуацій дозволяє об'єднати їх у такі групи:

- 1) порушення Правил дорожнього руху (ПДР);
- 2) помилки в управлінні транспортних засобів (ТЗ);
- 3) порушення правил експлуатації ТЗ та несправності ТЗ;
- 4) незадовільні стан дороги чи рівень організації дорожнього руху.

З рис. 3 та 4 видно, що в Україні причинам ДТП 3 та 4 групи приділяється недостатня увага. Вони чомусь практично відсутні в офіційній статистиці [25]. Ситуація така є підозрілою. Відомі статистичні дані [28] свідчать, що середній вік автопарку України становить 23,2 років і має стійку тенденцію до збільшення. Для порівняння, середній показник в ЄС та у Сполучених штатах Америки (США) майже у двічі менше [26, 29]. Аналіз вікової структури автопарку України показує, що 83% ТЗ мають вік понад 11 років [28].

Середній вік ТЗ прямо впливає на екологію та безпеку дорожнього руху: нові моделі мають досконалішу архітектуру бортових систем безпеки та менше забруднюють навколишнє середовище. Крім того, старіння парку ТЗ призводить до зростання часу простою в технічному обслуговуванні та ремонті, що негативно впливає на ефективність використання рухомого складу [30]. За оцінками фахівців, автопарк України і далі буде старіти, оскільки переважна більшість імпорту – це старі ТЗ віком від 8 до 15 років [27, 28]. Стабілізацію вікових показників ТЗ можна очікувати лише у повоєнний період.

В Україні протягом останнього десятиліття діяли різноманітні програми з підвищення БДР [31] з метою зниження рівня смертності та травматизму на дорогах. Про неповне виконання прийнятих програм підвищення рівня безпеки дорожнього руху та критичність проблеми забезпечення безпеки руху в Україні свідчать результати аналізу статистики постраждалих в ДТП у 2023 році (див. рис. 2). Так в нашій країні за добу в середньому відбувається 65 ДТП з потерпілими, в яких 81 людина отримує травми та гине щонайменше 9 людей.

Основні причини високого рівня аварійності на автомобільних шляхах України:

- численні порушення ПДР та відсутність ефективного контролю з боку поліції;
- нехтування вимогами правил безпеки (користування мобільними пристроями під час керування ТЗ; ігнорування ременів безпеки в особистому транспорті та їх відсутність в ТЗ, що виконують пасажирські перевезення; перевантаження пасажирського транспорту; перехід дороги пішоходами у місцях, необлаштованих для цього тощо);
- порушення правил експлуатації ТЗ;
- відсутність ефективного контролю технічного стану ТЗ;
- незадовільний стан автомобільних доріг;
- недостатній рівень організації дорожнього руху;
- безкарність осіб, які скоїли правопорушення у сфері безпеки руху;
- недосконалість системи обліку ДТП та неякісна робота структур, що фіксують статистичні дані про ДТП та аналізують їх причини з метою розробки планів і рекомендацій щодо мінімізації аварійності у майбутньому.

Статистичні дані щодо ДТП в Україні [25] свідчать, що особливо гострою є проблема забезпечення БДР у населених пунктах, оскільки там відбувається близько 80% усіх ДТП із загиблими (травмованими) та більшість ДТП з загиблими (травмованими) пішоходами. Причому, рівень проблем зростає зі збільшенням розмірів населеного пункту і є особливо значимим для столиці та міст обласного підпорядкування.

Забезпечення транспортної безпеки міст є пріоритетним напрямком і в розвинутих країнах світу. З кожним роком зростає рівень загроз, кількість транспорту та людей, які можуть ним скористатися, а тому задача стає дуже складною. За останніми статистичними даними 7 з 10 терористичних актів відбувається на об'єктах транспортної інфраструктури [32]. Транспорт як одна з найважливіших складових економіки міст та регіонів постійно притягує до себе величезну кількість людей, що робить розробку та впровадження різних систем транспортної безпеки однією з пріоритетних задач.

В комплексну систему заходів, які забезпечують безпеку на транспорті, зазвичай включаються різні інструменти. Розробниками цих інструментів є державні органи або відповідні служби різних транспортних компаній. Такими інструментами можуть бути [33]:

- заходи організаційно-розпорядчого характеру, що сприяють захисту об'єктів та транспортних засобів;
- інженерні заходи, які виражаються у специфічних архітектурних та планувальних рішеннях;
- технічними заходами з розробки, впровадження та застосування засобів, які забезпечують захист об'єктів транспортної інфраструктури в автономному режимі;
- спеціально навчені співробітники державних силових структур та приватних служб безпеки, які працюють в галузі забезпечення безпеки на транспорті.

Гарним інструментом покращення безпеки руху у містах є автоматизація управління ВДМ в рамках функціонування інтелектуальної транспортної системи (ІТС) [34, 35]. Взагалі ІТС прийнято називати комплекс підсистем, що роблять можливою ефективну експлуатацію транспорту з використанням інформаційних, комунікаційних та управлінських технологій, вбудованих у транспортні засоби або дорожню інфраструктуру [24].

Методологія розвитку ІТС заснована на системному підході. Це дозволяє представити ІТС як модульну систему (рис. 6). Завдяки модульній технології в ІТС можна сформулювати блок сервісів,

спрямованих на вирішення певної задачі чи ряду задач, з можливістю розвитку в подальшому та перетворення в повнофункціональну комплексну інтелектуальну систему.

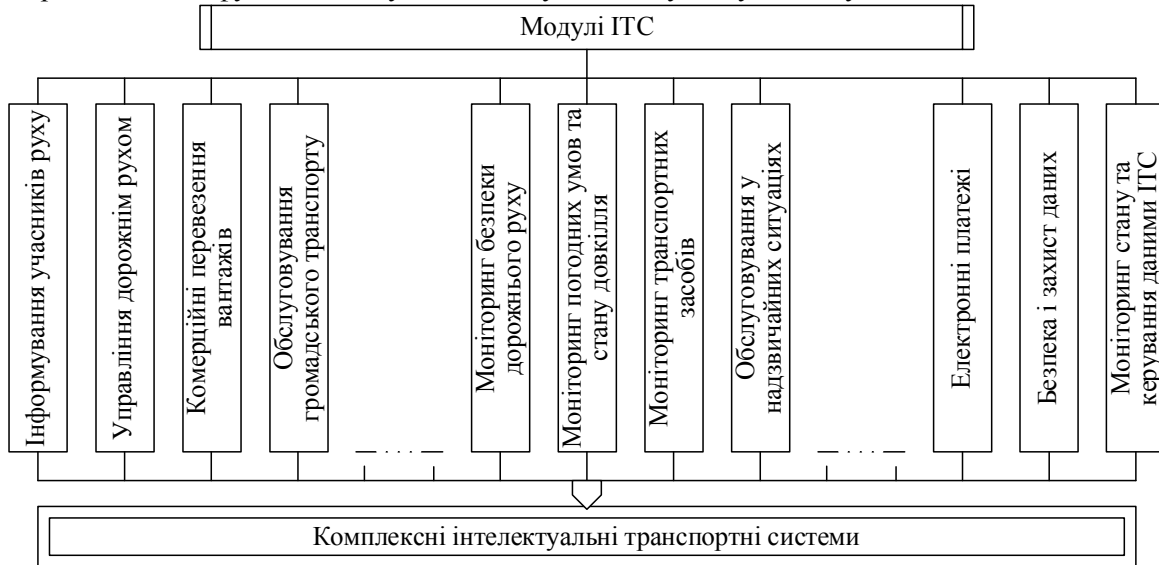


Рисунок 6. Сервісні модулі ІТС

В області ІТС в Україні найбільший розвиток мають АСУДР – автоматизовані системи управління дорожнім рухом. Використання принципів ІТС для їх розвитку забезпечує перехід від управління окремими світлофорними об'єктами до управління транспортними потоками на автомобільних дорогах, зонах ВДМ чи рухом у місті в цілому. Реалізація сервісів ІТС в цьому випадку здійснюється в рамках функціонування АСУДР автомагістраллю, АСУДР певної зони ВДМ чи АСУДР цілого міста. Використання в останніх двох випадках мережевих адаптивних методів управління дорожнім рухом є найбільш ефективним [36].

Головні завдання, які вирішують фахівці, що забезпечують роботу «розумного транспорту», полягають у збиранні, обробці, інтеграції та розповсюдженні інформації. Комплекси функціонального обладнання, що входить в інтелектуальні транспортні системи, збирають дані, регулюють транспортний потік і доносять необхідну інформацію до кожного учасника дорожнього руху (рис. 7).

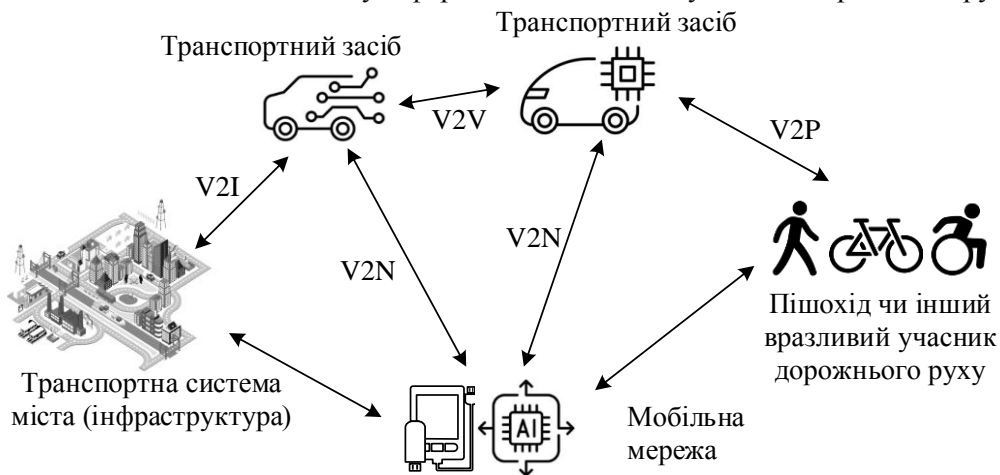


Рисунок 7. Види комунікацій в ІТС

Робота ІТС щодо забезпечення безпеки дорожнього руху включає використання підсистем, покликаних не тільки фіксувати порушення правил дорожнього руху, але і запобігати дорожньо-транспортним пригодам. Завдяки різним приладам покарання за порушення правил дорожнього руху, що призводять до небезпечних ситуацій на дорогах, стало практично невідворотним, що спонукало водіїв та пішоходів до більш відповідальної поведінки на дорогах.

Підвищення БДР можна забезпечити на основі розвитку таких сервісів:

- автоматизації контролю дотримання ПДР;

- попередження про місця ремонтних робіт, заторів на ВДМ, надання рекомендацій щодо об'їзду цих місць;
- оповіщення щодо погодних умов, стану покриття проїзної частини ВДМ;
- розпізнавання дорожніх знаків, автоматичного обмеження швидкості руху, попередження про небезпечне зближення, підтримки руху по смузі, адаптивного круїз-контролю тощо;
- управління дорожнім рухом з використанням знаків змінного значення;
- управління та моніторингу перевезень небезпечних вантажів;
- управління і моніторингу руху на мостових переправах, в тунелях, на швидкісних магістралях.

Фактори, від яких залежить безпека функціонування транспортної системи міста, подані на рис. 8.

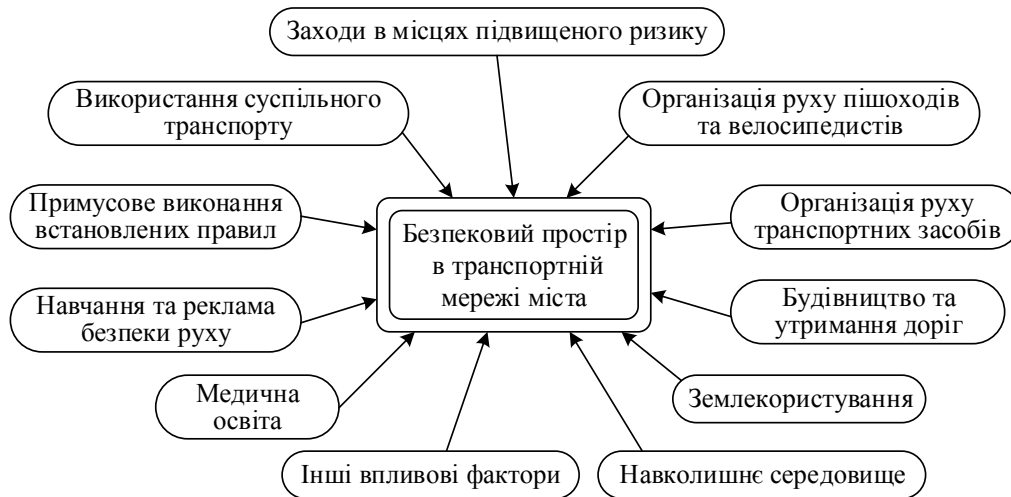


Рисунок 8. Фактори, які формують безпечний простір міста

Для підвищення БДР в транспортних системах міст необхідно:

- координувати політику БДР та інші цілі сталого розвитку громади;
- оцінювати проблеми та встановлювати цілі щодо мінімізації травматизму в ДТП;
- запроваджувати заходи зі створення безпечнішого дорожнього середовища;
- дотримуватись ПДР та заохочувати безпечну поведінку учасників дорожнього руху;
- підвищувати обізнаність громадськості та покращувати освіту;
- сприяти використанню більш надійних та безпечних ТЗ;
- удосконалювати систему надання допомоги постраждалим у ДТП;
- забезпечувати надійне фінансування БДР;
- інтегрувати усі перераховані вище елементи в обрану стратегію БДР та забезпечувати її практичну реалізацію.

Поряд з цим потрібно враховувати, що:

- в міських громадах встановлення цілей щодо покращення міської мобільності та руху транспорту може мати конкуруючі інтереси, а тому проблеми БДР не слід розглядати окремо;
- ДТП розподіляються по території міста нерівномірно, тому контрзаходи для окремих місць виникнення аварійних ситуацій слід розробляти з урахуванням особливостей руху в суміжних зонах;
- ефективність заходів з БДР залежить від їх координації з іншими заходами в рамках реалізації комплексних програм забезпечення безпеки у місті;
- існує потреба у об'єднанні заходів з БДР з іншими напрямками розвитку громади міста, оскільки не завжди ці заходи є головним пріоритетом для громадян та місцевих політиків, а інтегровані програми безпеки дозволяють місцевій владі отримати цілісну картину існуючих проблем та визначити пріоритети дій.

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проблеми забезпечення БДР в Україні властиві міжнародному суспільству в цілому, тому для покращення даної ситуації слід звернути увагу на позитивний досвід інших країн. Зокрема досвід Швеції та Німеччини у сфері БДР, який став основою створення європейської програми «Нульової смертності на дорогах», поширеної потім на Австралію та США. Завдяки цій програмі була знижена смертність на дорогах на 50% в період з 2001 по 2010 рік, та ще на 32,8% у наступне десятиліття (2010- 2020 роки), незважаючи на зростання розмірів автопарків країн ЄС [26].



У 2022 році набули чинності «General Safety Regulation (GSR)» [36], які є складовою зусиль ЄС зі скорочення вдвічі кількості смертельних і серйозних травм у результаті ДТП у ЄС до 2030 року. Збереження цієї тенденції є важливим для галузі, тому велика частина з 59 мільярдів євро, які автомобільний сектор щорічно інвестує в дослідження та розробки, присвячена технологіям безпеки. Нові суворіші правила безпеки та новітні технології безпеки, які повинні бути стандартними для нових типів ТЗ включають передові системи допомоги водієві (ADAS). При цьому наголошується, що автомобільні технології не єдиний спосіб мінімізації травматизму на автомобільних дорогах, вони повинні поєднуватися з більш безпечною поведінкою водіїв, кращим дотриманням існуючих ПДР та, що важливо, покращеною дорожньою інфраструктурою.

Таким чином, розв'язання проблеми підвищення БДР слід здійснювати на основі використання системного підходу, впровадження сучасних вимог, технологій, які враховують ключові аспекти безпеки руху (поведінку людини, інфраструктуру ВДМ, безпечність конструкцій ТЗ), на етапах попередження, зменшення наслідків скоєних ДТП та реалізації поставарійних заходів. Високий рівень аварійності в Україні потребує формування та реалізації заходів щодо підвищення БДР на основі наукового підходу, поглибленого вивчення обставин виникнення ДТП, з урахуванням встановлених на законодавчому рівні завдань автотехнічної експертизи [37] та аудиту безпеки дорожнього руху [38].

### ВИСНОВКИ

Процес створення безпекового простору в містах повинен враховувати принципи стратегії управління безпекою, яка забезпечує:

- безпеку для міської території в цілому;
- інтеграцію безпекової стратегії з іншими міськими стратегіями (наприклад, в питаннях розвитку муніципального транспорту, створення безпечніших маршрутів до шкіл, планування землекористування);
- врахування усіх видів учасників дорожнього руху;
- розгляд функцій різних видів доріг;
- інтеграцію існуючі заходів щодо зменшення травматизму на ВДМ;
- використання можливостей інших напрямків та стратегій підвищення безпеки (наприклад, покращення безпекового простору в рамках реалізації проектів реконструкції міста);
- заохочення усіх професійних груп до допомоги у досягненні цілей безпеки;
- захист від можливого несприятливого впливу на стан безпеки інших заходів, які реалізуються в межах програми розвитку міста;
- заохочення мешканців та усіх учасників руху на ВДМ бути відповідальними;
- відстеження прогресу у досягненні безпекових цілей.

Транспортні системи повинні реагувати на потреби користувачів та враховувати людський фактор. Підхід до організації дорожнього руху «Безпечна система» має на меті гарантувати безпеку транспортної системи для усіх учасників руху. Такий підхід враховує небезпеку серйозного травматизму та визнає необхідність побудови системи, стійкої до ризиків, що спричиняються людським фактором. Базисом цього підходу є безпечна ВДМ та придорожні зони, безпечні ТЗ, безпечний швидкісний режим, безпечні учасники дорожнього руху. Потрібно врахувати усі фактори, впливові на запобігання ДТП зі смертельним наслідком та скорочення серйозного дорожньо-транспортного травматизму. Для запобігання дорожньо-транспортному травматизму державні органи повинні вживати заходів щодо забезпечення БДР на основі системного підходу, що вимагає участі ряду секторів, зокрема транспортного сектору, правоохоронних органів, сектору охорони здоров'я, сектору освіти, а також приватного сектору та громадських організацій. Це вимагає запровадження комплексу заходів з підвищення безпеки ВДМ, ТЗ та інших учасників дорожнього руху.

Ефективними заходами є проектування більш безпечної інфраструктури на основі аудиту дорожньої безпеки та включення елементів забезпечення БДР в планування землекористування та розвитку транспорту, вдосконалення систем безпеки ТЗ, покращення допомоги постраждалим у дорожньо-транспортних пригодах, прийняття та забезпечення дієвості законодавчих актів, які стосуються основних ризиків, проведення інформаційно-просвітницьких кампаній.

### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Road traffic injuries. World Health Organization. Website. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/en/>.
2. Кашканов А.А., Грисюк О.Г. Безпека руху автомобільного транспорту : навчальний посібник.

Вінниця : ВНТУ, 2005. 177 с.

3. Кашканов А. А., Кужель В. П. Організація дорожнього руху : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2017. 125 с.

4. Traffic rules of Ukraine. (Ukrspetsvydav, 2023) <https://vodiy.ua/en/pdr/1/>.

5. Struble DE & Struble JD (2020) Automotive Accident Reconstruction: Practices and Principles (2nd ed.). CRC Press, London. DOI: 10.1201/9781003008972

6. Кашканов А. А. Технології підвищення ефективності автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод : монографія. Вінниця: ВНТУ, 2018. 160 с.

7. Pacejka HB (2012) Tyre and vehicle dynamics. 3rd Ed. Butterworth-Heinemann, Elsevier. DOI: 10.1016/C2010-0-68548-8.

8. Jazar RN (2014) Vehicle Dynamics: Theory and Application. 2nd Ed. NY: Springer, USA. DOI: 10.1007/978-1-4614-8544-5.

9. European Network of Forensic Science Institutes. Best Practice Manual for Road Accident Reconstruction, ENFSI, ENFSI-BPM-RAA-01. Version 01 - November 2015. [http://enfsi.eu/wp-content/uploads/2016/09/4.\\_road\\_accident\\_reconstruction\\_0.pdf](http://enfsi.eu/wp-content/uploads/2016/09/4._road_accident_reconstruction_0.pdf).

10. Kashkanov, A. & Kashkanova, A. Analysis of the implementation of information technologies in the practice of solving problems of autotechnical expertise of road accidents. In 5th International Scientific and Technical Internet Conference Innovative Development of Resource-Saving Technologies and Sustainable Use of Natural Resources. Book of Abstracts. 232–235 (Universitas Publishing, 2022) [https://www.upet.ro/cercetare/manifestari/Ukraine\\_2022\\_Book\\_of\\_Abstracts.pdf](https://www.upet.ro/cercetare/manifestari/Ukraine_2022_Book_of_Abstracts.pdf).

11. Kashkanov, A. A. et al. (2020) Tyre-Road friction Coefficient: Estimation Adaptive System. Bulletin of the Karaganda University. “Physics” Series 98, 50–59. DOI:10.31489/2020Ph2/50-59.

12. Chen, Y. (2022) Research on collaborative innovation of key common technologies in new energy vehicle industry based on digital twin technology. Energy Rep. 8, 15399–15407. DOI: 10.1016/j.egy.2022.11.120.

13. Кашканов А. А., Пальчевський О. В. Проблеми функціонування транспортних систем великих міст України в сучасних умовах. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2022. №1(18). С. 97-102. DOI: 10.36910/automash.v1i18.764.

14. Xu, G. & Xu, Y. G. P. S. Theory, Algorithms and Applications (Springer, 2016). DOI: 10.1007/978-3-662-50367-6.

15. European Commission. Directorate General for Mobility and Transport, TRL (Transport Research Laboratory). Study on the benefits resulting from the installation of event data recorders: final report. (Publications Office, 2014). DOI: 10.2832/66709.

16. Griffin, R. L., Carroll, S. & Jansen, J. O. (2020). Automatic collision notification availability and emergency response times following vehicle collision – An analysis of the 2017 crash investigation sampling system. Traffic Injury Prev. 21, S135–S139. DOI: 10.1080/15389588.2020.1817418.

17. Yue, W., Li, C., Wang, S., Xue, N. & Wu, J. (2023) Cooperative incident management in mixed traffic of CAVs and human-driven vehicles. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. DOI: 10.1109/TITS.2023.3289983.

18. Jiang, S., Zhao, C., Zhu, Y., Wang, C. & Du, Y. (2022). A practical and economical ultra-wideband base station placement approach for indoor autonomous driving systems. J. Adv. Transp. 2022, 1–12. DOI: 10.1155/2022/3815306.

19. Yu, S., Zhao, C., Song, L., Li, Y. & Du, Y. (2023). Understanding traffic bottlenecks of long freeway tunnels based on a novel location-dependent lighting-related car-following model. Tunnel. Undergr. Space Technol. 136, 105098. DOI: 10.1016/j.tust.2023.105098.

20. Han, Y. et al. (2023). Research on road environmental sense method of intelligent vehicle based on tracking check. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 24, 1261–1275. DOI: 10.1109/TITS.2023.3183893.

21. Chen, J., Wang, Q., Cheng, H. H., Peng, W. & Xu, W. (2022). A review of vision-based traffic semantic understanding in ITSs. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 23, 19954–19979. DOI: 10.1109/TITS.2022.3182410.

22. Chen, J. et al. (2023). A flow feedback traffic prediction based on visual quantified features. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 24, 10067–10075. DOI: 10.1109/TITS.2023.3269794.

23. Zhang, X., Wen, S., Yan, L., Feng, J. & Xia, Y. (2022). A hybrid-convolution spatial-temporal recurrent network for traffic flow prediction. Comput. J. DOI: 10.1093/comjnl/bxac171.

24. Kashkanova A., Kashkanov A., Bilichenko V. Conceptual principles of ensuring transport safety of cities. 6th International Scientific and Technical Internet Conference “Innovative development of resource-

saving technologies and sustainable use of natural resources” November 16, 2023. Book of Abstracts. Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2023. P. 176-178.

25. Статистика. Патрульна поліція України. Веб-сайт. URL: <http://https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/>.

26. European Automobile Manufacturers' Association (ACEA). The Automobile Industry Pocket Guide 2023/2024, Brussels, Belgium. URL: <https://www.acea.auto/files/ACEA-Pocket-Guide-2023-2024.pdf>.

27. Бучацький С., Дубровський В., Новицький О., Онищук О., Прокіпчук Л. Український авторинок: історія проблем та як їх розв'язати. ГС «Інститут досліджень авторинку». Веб-сайт. URL: <https://eauto.org.ua/news/130-ukrajinskiy-avtorinok-istoriya-problem-ta-yak-jih-rozv-yazati>.

28. Який середній вік автомобілів в Україні та Європі? Редакція Авто24 за матеріалами інформаційно-аналітичної групи AUTO-Consulting. URL: [https://auto.24tv.ua/yakui-serednii-vik-avtomobiliv-v-ukraini-ta-yevropi\\_n44681](https://auto.24tv.ua/yakui-serednii-vik-avtomobiliv-v-ukraini-ta-yevropi_n44681).

29. Nishant Parekh, Todd Campau. Average Age of Vehicles in the US Increases to 12.2 years, according to S&P Global Mobility. URL: <https://www.spglobal.com/mobility/en/research-analysis/average-age-of-vehicles-in-the-us-increases-to-122-years.html>.

30. Кашканов А. А., Біліченко В. В. Експлуатація та обслуговування транспортних машин: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2004. 136 с.

31. Державна програма підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2024 р. Офіційний вісник України. № 1. 04.01.2021.

32. Institute for Economics & Peace. Global Terrorism Index 2023: Measuring the Impact of Terrorism, Sydney. URL: <https://www.visionofhumanity.org/wp-content/uploads/2023/06/GPI-2023-Web.pdf>.

33. Розумний транспорт і логістика для міст : навчальний посібник / [авт. колектив: О.О. Лобашов, М.В. Ольхова, А.С. Галкін та ін.]. Житомир : «Житомирська політехніка», 2021. 612 с.

34. Maros Lacinak, Jozef Ristvej, Tomasz Lovecek. Smart Transport System, Its Layers and Safety. Logistics and Transport. 2018. 40(4), P. 51-56; DOI: 10.26411/83-1734-2015-4-40-7-18.

35. Кашканов В. А., Кашканов А. А., Кужель В. П. Інформаційні системи і технології на автомобільному транспорті: навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2020. 104 с.

36. New rules to improve road safety and enable fully driverless vehicles in the EU. Directorate-General for Communication of European Commission. Website. URL: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_22\\_4312](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_4312).

37. Інструкція про призначення та проведення судових експертиз та експертних досліджень. Наказ Міністерства юстиції України 08.10.98 № 53/5 (у редакції від 27.11.2023).

38. Порядок проведення аудиту безпеки автомобільних доріг. Наказ Міністерства інфраструктури України 09 квітня 2021 року № 204. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 02 червня 2021 р. за № 738/36360.

## REFERENCES

1. Road traffic injuries. World Health Organization. Website. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/en/>.

2. Kashkanov A.A., Hrysiuk O.H. Bezpeka rukhu avtomobilnoho transportu : navchalnyi posibnyk. Vinnytsia : VNTU, 2005. 177 s.

3. Kashkanov A. A., Kuzhel V. P. Orhanizatsiia dorozhnoho rukhu : navchalnyi posibnyk. Vinnytsia : VNTU, 2017. 125 s.

4. Traffic rules of Ukraine. (Ukrspetsvydav, 2023) <https://vodiy.ua/en/pdr/1/>.

5. Struble DE & Struble JD (2020) Automotive Accident Reconstruction: Practices and Principles (2nd ed.). CRC Press, London. DOI: 10.1201/9781003008972

6. Kashkanov A. A. Tekhnolohii pidvyshchennia efektyvnosti avtotekhnichnoi ekspertyzy dorozhno-transportnykh pryhod : monohrafiia. Vinnytsia: VNTU, 2018. 160 s.

7. Pacejka HB (2012) Tyre and vehicle dynamics. 3rd Ed. Butterworth-Heinemann, Elsevier. DOI: 10.1016/C2010-0-68548-8.

8. Jazar RN (2014) Vehicle Dynamics: Theory and Application. 2nd Ed. NY: Springer, USA. DOI: 10.1007/978-1-4614-8544-5.

9. European Network of Forensic Science Institutes. Best Practice Manual for Road Accident Reconstruction, ENFSI, ENFSI-BPM-RAA-01. Version 01 - November 2015. [http://enfsi.eu/wp-content/uploads/2016/09/4.\\_road\\_accident\\_reconstruction\\_0.pdf](http://enfsi.eu/wp-content/uploads/2016/09/4._road_accident_reconstruction_0.pdf).

10. Kashkanov, A. & Kashkanova, A. Analysis of the implementation of information technologies in

the practice of solving problems of autotechnical expertise of road accidents. In 5th International Scientific and Technical Internet Conference Innovative Development of Resource-Saving Technologies and Sustainable Use of Natural Resources. Book of Abstracts. 232–235 (Universitas Publishing, 2022) [https://www.upet.ro/cercetare/manifestari/Ukraine\\_2022\\_Book\\_of\\_Abstracts.pdf](https://www.upet.ro/cercetare/manifestari/Ukraine_2022_Book_of_Abstracts.pdf).

11. Kashkanov, A. A. et al. (2020) Tyre-Road friction Coefficient: Estimation Adaptive System. Bulletin of the Karaganda University. “Physics” Series 98, 50–59. DOI:10.31489/2020Ph2/50-59.

12. Chen, Y. (2022) Research on collaborative innovation of key common technologies in new energy vehicle industry based on digital twin technology. Energy Rep. 8, 15399–15407. DOI: 10.1016/j.egy.2022.11.120.

13. Kashkanov A. A., Palchevskiy O. V. Problemy funktsionuvannya transportnykh system velykykh mist Ukrainy v suchasnykh umovakh. Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti. 2022. №1(18). S. 97-102. DOI: 10.36910/automash.v1i18.764.

14. Xu, G. & Xu, Y. G. P. S. Theory, Algorithms and Applications (Springer, 2016). DOI: 10.1007/978-3-662-50367-6.

15. European Commission. Directorate General for Mobility and Transport, TRL (Transport Research Laboratory). Study on the benefits resulting from the installation of event data recorders: final report. (Publications Office, 2014). DOI: 10.2832/66709.

16. Griffin, R. L., Carroll, S. & Jansen, J. O. (2020). Automatic collision notification availability and emergency response times following vehicle collision – An analysis of the 2017 crash investigation sampling system. Traffic Injury Prev. 21, S135–S139. DOI: 10.1080/15389588.2020.1817418.

17. Yue, W., Li, C., Wang, S., Xue, N. & Wu, J. (2023) Cooperative incident management in mixed traffic of CAVs and human-driven vehicles. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. DOI: 10.1109/TITS.2023.3289983.

18. Jiang, S., Zhao, C., Zhu, Y., Wang, C. & Du, Y. (2022). A practical and economical ultra-wideband base station placement approach for indoor autonomous driving systems. J. Adv. Transp. 2022, 1–12. DOI: 10.1155/2022/3815306.

19. Yu, S., Zhao, C., Song, L., Li, Y. & Du, Y. (2023). Understanding traffic bottlenecks of long freeway tunnels based on a novel location-dependent lighting-related car-following model. Tunnel. Undergr. Space Technol. 136, 105098. DOI: 10.1016/j.tust.2023.105098.

20. Han, Y. et al. (2023). Research on road environmental sense method of intelligent vehicle based on tracking check. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 24, 1261–1275. DOI: 10.1109/TITS.2022.3183893.

21. Chen, J., Wang, Q., Cheng, H. H., Peng, W. & Xu, W. (2022). A review of vision-based traffic semantic understanding in ITSs. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 23, 19954–19979. DOI: 10.1109/TITS.2022.3182410.

22. Chen, J. et al. (2023). A flow feedback traffic prediction based on visual quantified features. IEEE Trans. Intell. Transp. Syst. 24, 10067–10075. DOI: 10.1109/TITS.2023.3269794.

23. Zhang, X., Wen, S., Yan, L., Feng, J. & Xia, Y. (2022). A hybrid-convolution spatial-temporal recurrent network for traffic flow prediction. Comput. J. DOI: 10.1093/comjnl/bxac171.

24. Kashkanova A., Kashkanov A., Bilichenko V. Conceptual principles of ensuring transport safety of cities. 6th International Scientific and Technical Internet Conference “Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources” November 16, 2023. Book of Abstracts. Petrosani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2023. P. 176-178.

25. Statystyka. Patrulna politsiia Ukrainy. Veb-sait. URL: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/>.

26. European Automobile Manufacturers’ Association (ACEA). The Automobile Industry Pocket Guide 2023/2024, Brussels, Belgium. URL: <https://www.acea.auto/files/ACEA-Pocket-Guide-2023-2024.pdf>.

27. Buchatskyi S., Dubrovskiy V., Novytskyi O., Onyshchuk O., Prokipchuk L. Ukrainyskyi avtorynok: istoriia problem ta yak yikh rozviazaty. HS «Instytut doslidzhen avtorynku». Veb-sait. URL: <https://eauto.org.ua/news/130-ukrajinskiy-avtorinok-istoriya-problem-ta-yak-jih-rozv-yazati>.

28. Iakyy serednii vik avtomobiliv v Ukraini ta Yevropi? Redaktsiia Avto24 za materialamy informatsiino-analitychnoi hrupy AUTO-Consulting. URL: [https://auto.24tv.ua/yakyy-serednii-vik-avtomobiliv-v-ukraini-ta-yevropi\\_n44681](https://auto.24tv.ua/yakyy-serednii-vik-avtomobiliv-v-ukraini-ta-yevropi_n44681).

29. Nishant Parekh, Todd Campau. Average Age of Vehicles in the US Increases to 12.2 years, according to S&P Global Mobility. URL: <https://www.spglobal.com/mobility/en/research-analysis/average-age-of-vehicles-in-the-us-increases-to-122-years.html>.

30. Kashkanov A. A., Bilichenko V. V. Eksploatatsiia ta obsluhovuvannya transportnykh mashyn: navchalnyi posibnyk. Vinnytsia: VNTU, 2004. 136 s.



31. Derzhavna prohrama pidvyshchennia rivnia bezpeky dorozhnogo rukhu v Ukraini na period do 2024 r. Ofitsiyni visnyk Ukrainy. № 1. 04.01.2021.
32. Institute for Economics & Peace. Global Terrorism Index 2023: Measuring the Impact of Terrorism, Sydney. URL: <https://www.visionofhumanity.org/wp-content/uploads/2023/06/GPI-2023-Web.pdf>.
33. Rozumnyi transport i lohistyka dlia mist : navchalnyi posibnyk / [avt. kolektyv: O.O. Lobashov, M.V. Olkhova, A.S. Halkin ta in.]. Zhytomyr : «Zhytomyrska politekhnika», 2021. 612 s.
34. Maros Lacinak, Jozef Ristvej, Tomasz Lovecek. Smart Transport System, Its Layers and Safety. Logistics and Transport. 2018. 40(4), P. 51-56; DOI: 10.26411/83-1734-2015-4-40-7-18.
35. Kashkanov V. A., Kashkanov A. A., Kuzhel V. P. Informatsiini systemy i tekhnolohii na avtomobilnomu transporti: navchalnyi posibnyk. Vinnytsia : VNTU, 2020. 104 s.
36. New rules to improve road safety and enable fully driverless vehicles in the EU. Directorate-General for Communication of European Commission. Website. URL: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip\\_22\\_4312](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_4312).
37. Instruksiiia pro pryznachennia ta provedennia sudovykh ekspertyz ta ekspertnykh doslidzhen. Nakaz Ministerstva yustytisii Ukrainy 08.10.98 № 53/5 (u redaktsii vid 27.11.2023).
38. Poriadok provedennia audytu bezpeky avtomobilnykh dorih. Nakaz Ministerstva infrastruktury Ukrainy 09 kvitnia 2021 roku № 204. Zareiestrovano v Ministerstvi yustytisii Ukrainy 02 chervnia 2021 r. za № 738/36360.

### **A. Kashkanova, V. Bilichenko. Aspects of ensuring road traffic safety in the transport systems of the cities of Ukraine**

Constant expansion and improvement of existing networks of transport systems of cities is a guarantee of sustainable development of local communities. To ensure the development of cities and the high-quality functioning of their transport networks, it is necessary to take into account many conditions and regularities. Inefficient decision-making processes, other issues such as traffic flow management, spatial and urban planning, economic and financial problems often prevent local authorities from taking measures to improve road safety. A good tool for overcoming the above-mentioned difficulties is the intellectualization of road management in the context of the goals of transport development and city safety management.

Based on the statistical data for recent years, the article was revealed the general situation with the level of traffic safety in Ukraine and its dynamics, and was performed a comparative analysis of the indicators of the EU countries, the USA and Ukraine. As a result of the analysis of the cause-and-effect relationships of accidents and the best practices of Sweden and Germany in the field of road safety, ways to reduce transport accidents were formed. The analysis of the factors that form a safe space in the city's transport system, the state of intellectualization of road management in the context of the goals of transport development and safety management made it possible to outline the prospects for the development of the transport systems of Ukrainian cities and to propose measures to increase the safety of roads, vehicles and road users in order to minimize risks and socio-economic losses of local communities.

**Key words:** urban transport systems, road transport, road safety, audit, accident analysis, road accident examination.

*КАШКАНОВА Анастасія Андріївна*, аспірантка кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [kashkanov9a@gmail.com](mailto:kashkanov9a@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-4268-0000>

*БІЛІЧЕНКО Віктор Вікторович*, доктор технічних наук, професор, ректор, професор кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [bilichenko.v@gmail.com](mailto:bilichenko.v@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-9681-5292>

*Anastasiia KASHKANOVA*, postgraduate student of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: [kashkanov9a@gmail.com](mailto:kashkanov9a@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0003-4268-0000>

*Viktor BILICHENKO*, Doctor of Science in Engineering, Professor, Rector, Professor of the Department of Automobiles and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: [bilichenko.v@gmail.com](mailto:bilichenko.v@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-9681-5292>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1358



Кищун В. А., Павлюк В. І., Зубенко В. А.  
*Луцький національний технічний університет*

## ХРОНОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ УКРАЇНСЬКОГО РИНКУ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ

Переведення автомобільного парку України на електромобілі – питання актуальне, оскільки електрична енергія сьогодні є єдиним прийнятним та доступним у необхідній кількості джерелом енергії, що може бути використане як альтернативне.

Практичні дослідження з вивчення доцільності використання електромобілів в Україні розпочалися у 2011–2013 роках. Встановлено, що основними недоліками на той час були їхня вартість та відсутність інфраструктури. Тому важливим і переломним моментом для поширення електромобілів могли стати лише державні дотації та прорив у технологіях, що дозволить значно знизити їх ціну.

Перші конкретні пропозиції на державному рівні стосовно заохочення купівлі електромобілів були запропоновані у Верховній Раді у березні 2014 року. Зрештою впродовж десятиліття (2014–2023 роки) розглядалося два десятки законопроектів спрямованих на стимулювання розвитку вітчизняного ринку електромобілів, з яких лише половина отримали статус законів. Суперечки точилися навколо прийняття (неприйняття) податкових знижок при розмитненні електричних транспортних засобів, оскільки їх власне промислове виробництво в країні так і не було налагоджено.

Знаковими можна назвати 2015-й рік, коли було скасовано ввізне мито, 2017-й рік – скасовано ПДВ, відміна відрахувань у пенсійний фонд у 2022 році, а також встановлення постійного акцизу у розмірі 1 євро за 1 кВт-год ємності батареї електромобіля. Цей «мікс» дозволив збільшити у 80 разів кількість реєстрацій у 2023 році порівняно з 2015 роком. Поза увагою потенційних покупців не залишилися також спеціальні «зелені» номерні знаки для електромобілів, власники яких мали певні переваги над іншими учасниками дорожнього руху, та збільшення у перспективі кількості електростанцій.

Попри прийняті закони, у 2023 році вітчизняний парк електромобілів складав менше 1,0% від усього парку легковиків. Тому подальше формування ринку і збільшення парку залежатиме від загальної ситуації у державі, стану її економіки та купівельної спроможності населення.

**Ключові слова:** електромобіль, законопроект, закон, Податковий кодекс, ПДВ, акциз, пільги і стимули, інфраструктура, реєстрація, ринок і парк електромобілів.

### ВСТУП

Електрична енергія сьогодні є єдиним прийнятним та доступним у необхідній кількості джерелом енергії, що може бути використане в автомобільному транспорті України як альтернативне джерело до традиційних видів пального з нафтопродуктів. Водночас переведення вітчизняного автомобільного парку на електричну енергію дозволить вирішити ряд важливих проблем, зокрема знизити рівень забруднення атмосферного повітря, дотримуватися зобов'язань, що взяла на себе держава відповідно до положень Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами «Щодо просування чистих та енергоефективних транспортних засобів автомобільного транспорту» та усунути загрозу критичної залежності України від російської федерації у поставках вуглеводних видів пального.

Практичні дослідження щодо вивчення доцільності використання електромобілів в Україні за інформацією сайту AUTO-Consulting розпочалася у грудні 2011 року [1]. Приводом для цього стали домовленості між двома українськими компаніями: «Торговий Дім – НІКО» та енергетичною «ДТЕК». Була підписана угода, яка передбачала закупівлю «ДТЕК» у «НІКО» десяти електромобілів MITSUBISHI innovative Electric Vehicle (iMiEV). Метою проекту було бажання перевірити на практиці експлуатацію електромобіля в українських умовах та обчислити вартість володіння таким рідкісним на той час видом транспорту.

Враховуючи ціну одного MITSUBISHI iMiEV (приблизно \$50 тисяч та неминучих витрат на створення відповідної інфраструктури), передбачався термін окупності проекту тривалістю 6,5 років [1]. Отримані у результаті пілотного проекту аналітичні дані передбачалося опрацювати та передати зацікавленим міністерствам (Мінтрансу, Мінінфраструктури), Державному агентству з енергоефективності та енергозбереження України й іншим. У планах «ДТЕК» було також лобіювання у Верховній Раді (ВР) законопроектів, які передбачали б пільги під час експлуатації електромобілів, зокрема нижчі тарифи на електроенергію для заряджання батарей.

Через два роки видання AUTO-Consulting спробувало проаналізувати, що заважає українцям пересісти на електромобілі. На противагу майбутнім вигодам став ряд недоліків, притаманних електричним транспортним засобам зокрема їхня вартість та відсутність інфраструктури. Тому

перший досвід із виведення електромобілів на український ринок не був таким успішним, як планувалося. Причиною стали саме відсутність інфраструктури для заправки електромобілів і їх дорожнеча через відсутність дотацій з боку держави на екологічні види транспорту. «Доля електромобілів в Україні найближчими роками дуже примарна», – зробили висновок журналісти AUTO-Consulting, – а переломним моментом для їхнього поширення можуть стати лише державні дотації (це залежить лише від політичної волі керівництва країни) та прорив у технологіях, що дозволить значно знизити вартість таких авто» [2].

### **АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Перші конкретні пропозиції щодо стимулювання продажів електромобілів на державному рівні були запропоновані у Верховній Раді у березні 2014 року. Законопроектom № 4605 «Про внесення змін до Митного тарифу України» пропонувалося внести зміни до 15 розділу додатку до Закону України «Про митний тариф України». Суть змін – відмінити мита, що діяли на той час: повне у розмірі 10% та преференційне у розмірі 8% на ввезення транспортних засобів, оснащених електричними двигунами [3]. У пояснювальній записці до документа зазначалося, що, «...ухвалення проекту закону має стимулювати попит на електромобілі. Скасування ввізного мита наблизить вартість електромобіля до вартості авто з двигуном внутрішнього згорання (ДВЗ) та прискорить процес формування вітчизняного автомобільного ринку електротранспорту».

А вже в останні дні грудня 2014 року у Верховній раді був зареєстрований законопроект під номером 1674 «Про внесення змін до Закону України «Про Митний тариф України» щодо скасування ввізного мита на електромобілі» [4]. Зміни стосувалися глави 87 розділу XVII Митного тарифу України, які, зокрема, у 2-му пункті були прописані таким чином: «цифри і слова «8703 90 10 00 -- транспортні засоби, оснащені електричними двигунами -- -- 8 -- 10 -- шт» замінити цифрами і словами «8703 90 10 00 -- транспортні засоби, оснащені електричними двигунами -- -- 0 -- 0 -- шт». Щось подібне вже пропонувалося у вище згаданому законопроекті № 4605.

Отже в Україні на кінець 2014 року були напрацьовані два законопроекти спрямовані на зниження вартості електромобілів, однак необхідні поправки у Податковий кодекс депутати так і не внесли. Попри те, що електромобілі були не надто популярними переважно через високі ціни, все ж основним фактором, що гальмував розвиток їх ринку, стала відсутність відповідної інфраструктури. Тому держава (в особі законодавців і урядовців) мала б одночасно займатися як цінами, так і зарядними станціями, орієнтуючись на багатий міжнародний досвід.

На початку лютого 2015 року у Верховній Раді було зареєстровано два чергові законопроекти, що передбачали скасування в Україні трьох митних платежів на ввезення електромобілів. У законопроекті № 1912 народні депутати пропонували звільнити від податку на додану вартість та акцизного податку ввезення на митну територію України транспортних засобів, оснащених електричними двигунами. Вказані нововведення планувалося запровадити до 1 січня 2020 року. У пояснювальній записці до документу вказувалося: «...у результаті ухвалення законопроекту вартість електрокарів в Україні зменшиться, згідно з розрахунками, на 20% (мінус податок на додану вартість) і 109 129 євро (акциз) та наблизиться до вартості автомобілів з ДВЗ» [5].

Водночас на сайті ВР України було опубліковано законопроект № 1913, що передбачав звільнення імпорту транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, від оподаткування ввізного мита. Термін скасування у законопроекті встановлено також до 1 січня 2020 року. У пояснювальній записці зазначалося: «...ця ініціатива дозволить знизити вартість електрокарів до 10%» [5]. Окрім того, упродовж 2015 року діяв ще додатковий імпорتنний збір у розмірі 5%.

Основним завданням обох законопроектів стало зменшення податкового навантаження на імпорт транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, що б дозволило знизити їхню ціну на 30%. Депутати також вважали, що якщо до 2020 року звільнити від сплати акцизу та ПДВ електромобілі, що імпортуються в країну, то це не тільки підвищить їхню популярність серед українців і зробить повітря трохи чистішим, а й сприятиме захисту від загрози національній безпеці у результаті зниження залежності від енергоресурсів.

Здавалося, що «лід рушив», коли 21 травня 2015 року Верховна Рада прийняла у першому читанні законопроекти № 1674 і № 1912, що запроваджували наведені вище податкові та митні пільги на електромобілі [6]. Натомість в експертному середовищі сумнівалися щодо майбутнього голосування законопроектів в цілому, оскільки у ВР існував суттєвий спротив цим пільгам.

Так, депутатів турбував той факт, що «...імпортери та виробники транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, будуть поставлені у нерівні умови з імпортерами та виробниками транспортних засобів, оснащених двигунами внутрішнього згорання». Крім цього,

пропонувалося, «враховуючи (на той час) складну економічну ситуацію в державі», скоротити період податкових та митних пільг або скасувати тільки акцизний податок, який складав всього 109,129 євро, однак суттєво на вартість авто не впливав [6].

І лише через пів року, 25 листопада 2015 року Верховна Рада зробила реальний крок на шляху до популяризації електромобілів серед українців. Депутати ухвалили у другому читанні законопроект № 1674, яким встановлювалася нульова ставка ввізного мита на транспортні засоби, оснащені виключно електричними двигунами (код 8703 90 10 10) замість 8% митної вартості. Натомість ВР не ухвалила законопроект № 1912, згідно з яким операції з ввезення та постачання на митну територію України транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, звільнялися до 1 січня 2020 року від ПДВ у розмірі 20% та акцизного збору 109,129 євро. Депутати надіслали проект закону на повторне друге читання [7].

Після підписання президентом закону у листопаді 2015 року розмитнення електромобілів з 1 січня 2016 року подешевшало лише на 8%. Якщо врахувати, що електромобілі у 1,5...2,0 рази дорожчі за аналогічні легковики з двигуном внутрішнього згоряння, то виникали сумніви, що рішення парламенту призвело б до очікуваного підвищення кількості ввезених електричних транспортних засобів. Потрібно було запроваджувати кардинальніші пільги, приймати обидва законопроекти і тоді вартість таких легковиків знизилася б на суттєві 30%.

Водночас інформація про електромобілі ставала все більш популярною в Україні. «У 2018 році електрокари можна буде придбати без ПДВ, акцизу та ввізного мита» – заголовки, якими рясніли друковані і електронні ЗМІ України. Верховна Рада ухвалила в цілому законопроект № 6776-д про внесення змін до Податкового кодексу, у такий спосіб скасувавши для українців податок на додану вартість та акциз на ввезення в Україну електромобілів [8].

Пільги запроваджувалися відповідно до закону № 2245-VIII – змін до Податкового кодексу та деяких інших законодавчих актів України. Згідно з документом упродовж 2018 року (з 1 січня до 31 грудня), транспортні засоби, які оснащені виключно електричними двигунами, можна було ввозити в Україну без сплати ПДВ та акцизу. Пізніше мав з'явитися комплексний законопроект, в якому пільги буде продовжено. Висловлювалися також сподівання, що вказані законодавчі зміни дадуть значний поштовх розвитку ринку електромобілів в Україні і пересічний мешканець зможе придбати таке авто за адекватною ціною.

То ж 23 листопада 2018 року Верховна Рада України ухвалила Закон № 9260, що вносить зміни до Податкового кодексу, зокрема продовжує дію пільгового режиму ввезення електромобілів в Україну [9]. У законі пропонувалося продовжити норму, що звільняє електромобілі від податку на додану вартість (20%). Відповідний спрощений режим оподаткування мав закінчитися 31 грудня 2018 року. Водночас, Верховна Рада не підтримала правку про звільнення електромобілів від оподаткування акцизом і він залишився однак був змінений. Таким чином станом на 01.01.2019 року при ввезенні на митну територію України транспортних засобів, оснащених виключно електричними двигунами (одним чи кількома), що зазначені у товарній підкатегорії 8703 90 10 10 згідно з УКТ ЗЕД, з метою вільного обігу діяли, відповідно до нормативних актів такі митні платежі: «нульове» ввізне мито; ПДВ у розмірі «нуль»; акцизний податок у розмірі 1 євро за 1 кіловат-годину ємності електричного акумулятора. Також продовжувала діяти сплата у пенсійний фонд від 3% до 5% вартості авто при першій реєстрації електромобіля.

У липні 2019 року Верховна Рада прийняла Закон №10405 «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо створення доступу до інфраструктури зарядних станцій для електромобілів», яким з 2020 року забезпечувалося превентивне право електромобілів на парковку у місцях підзарядки. Крім того, в законі передбачалося введення спеціальних зелених номерних знаків для легкої ідентифікації електромобілів, а також відповідних дорожніх знаків, яких раніше не було у Правилах дорожнього руху, зокрема знаки сервісу електрокарів, електрозарядок на АЗС і паркування для електромобілів. Таким чином власники зелених номерів матимуть право паркуватися на спеціально відведених місцях (зокрема щоб отримувати безперешкоджаний доступ до зарядних станцій) та зможуть користуватися перевагами перерахованих дорожніх знаків [10].

Також у Верховній Раді знаходилися законопроекти № 8159 і 8160, які передбачали і пропонували різні пільги для стимулювання продажів електротранспорту в Україні. Це безвідсоткові кредитні кошти, звільнення від сплати акцизного збору при ввезенні електромобілів і сплати у пенсійний фонд при першій реєстрації електромобіля (тимчасові до 2029 року) та інші [10].

Пропозиція щодо відміни сплати у пенсійний фонд вкотре була висунута у вересні 2019 року у законопроекті № 2054. Також у документі водіям електромобілів пропонувалося дозволити

користуватись смугами для руху маршрутних транспортних засобів. Така практика вже діє у деяких країнах, а після запуску видачі зелених номерів контролювати правомірність виїзду приватного транспорту на смуги для громадського транспорту поліції (чи системам автоматичної фіксації порушень) буде нескладно [11].

Пізніше у грудні 2019 року законопроектом № 2532 були уточнені терміни:

– до 31 грудня 2022 року скасовується Пенсійний збір при реєстрації електромобіля;

– до 31 грудня 2024 року електромобілі з зеленими номерними знаками зможуть їздити по смугі громадського транспорту.

У законопроекті також вказувалося, що для того, щоб зберегти навколишнє середовище, дотримуватися міжнародних зобов'язань щодо зменшення викидів в атмосферу, а також знизити залежності економіки від імпорту нафтопродуктів, держава означає як свій пріоритет – перехід на електрифікацію громадського автотранспорту до 1 січня 2030 року.

У червні 2020 року Верховна Рада України ухвалила законопроект № 3228 «Про митний тариф», яким змінювалася класифікація транспортних засобів, оснащених виключно електричними двигунами [12]. Класифікація таких авто мала відбуватися не за окремим кодом (8703 90 10 10), а за кодами для нових (8703 80 10 10) та тих, що використовувалися (8703 80 90 10) автомобілів, що зробило б неможливим подальше використання пільги із звільнення від сплати ПДВ. Неузгодження між документами були вчасно виявлені і усунуто. Розмитнення такого типу транспортного засобу, як електромобілі, у 2021 році продовжувалося за спрощеною схемою, яка передбачала лише акциз – 1 євро за 1 кВт-год тягового акумулятора.

15 липня 2021 року народні депутати у цілому ухвалили два законопроекти про підтримку виробництва електричного транспорту та його імпорту: № 3476 «Про внесення змін до Податкового кодексу України та деяких законодавчих актів України щодо стимулювання розвитку галузі електричного транспорту в Україні» та № 3477 «Про внесення змін до Митного кодексу України щодо стимулювання розвитку галузі електричного транспорту в Україні» [13].

Метою законопроекту № 3476 було стимулювання розвитку виробництва в Україні електромобілів, зарядних пристроїв і комплектуючих виробів до них. Згідно з документом, «...тимчасово до 1 січня 2031 року звільняються від обкладення податком на додану вартість операції з ввезення в Україну товарів підприємствами, що мають, створюють або модернізують виробничі потужності для промислового виробництва електромобілів». Законом також «...тимчасово, до 1 січня 2026 року, звільняються від ПДВ операції з ввезення на митну територію України та з постачання на митну територію України нових транспортних засобів, оснащених двигунами внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням, що працюють виключно на стиснутому природному газі метані, скрапленому природному газі метані або біогазі, а також електромобілів».

Водночас, згідно з законопроектом № 3477, «...до 1 січня 2031 року товари, які ввозяться на митну територію України підприємствами, які мають, створюють або модернізують виробничі потужності для промислового виробництва транспортних засобів, звільняються від оподаткування ввізним митом, якщо підприємства ввозять їх для власного виробництва».

2022 рік через відомі причини став роком прийняття абсолютно протилежних законопроектів стосовно імпорту автотранспортних засобів. Уряд пішов на безпрецедентне послаблення податкового тиску на бізнес та громадян – щоправда, виключно на час дії воєнного стану. Серед найважливіших ініціатив, які отримали втілення в екстремому Законі № 7190 – звільнення майже всього імпорту від податків і зборів, включно з транспортними засобами. Так, відповідно до літери закону, «...звільняються від оподаткування ввізним митом... автомобілі легкові, кузови до них, причепи та напівпричепи, мотоцикли, транспортні засоби, призначені для перевезення 10 осіб і більше, транспортні засоби для перевезення вантажів, які ввозяться громадянами на митну територію України для вільного обігу» [14].

У Податковому кодексі України також з'явився важливий «транспортний» підпункт 69.24 (розділ 10): «Звільняються від оподаткування податком на додану вартість, акцизним податком операції з ввезення фізичними особами на митну територію України автомобілів легкових, кузовів до них, причепів та напівпричепів, мотоциклів, транспортних засобів, призначених для перевезення 10 осіб і більше, транспортних засобів для перевезення вантажів у митному режимі імпорту» [14].

Завдяки ухваленню Верховною Радою Закону № 7190 з 1 квітня і до скасування воєнного стану будь-який громадянин України міг безкоштовно розмитнити ввезений ним з-за кордону автомобіль, мотоцикл, причіп тощо. Насправді, пільги діяли недовго і вже через три місяці парламент повернув мита та ПДВ на імпорту. І хоча Законом № 7418, який набув чинності з 1 липня 2022 року



скасовувалося безкоштовне розмитнення, але й вводилися нові пільги при купівлі електромобілів. Водночас з поверненням акцизу (1 євро за 1 кВт-год ємності батареї) при першій реєстрації більше не потрібно було платити відрахування до Пенсійного Фонду [15]. Таким чином влада намагалася стимулювати громадян переходити на електротранспорт, а причиною подібних рішень стала не лише екологія, а й паливна криза під час воєнного стану.

Останні законодавчі зміни були прийняті у березні 2023 року, коли Верховна Рада ухвалила Закон № 8172, спрямований на формування державної політики у сфері автомобільного електротранспорту [16]. Закон отримав назву «Про деякі питання використання транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, та внесення змін до деяких законів України щодо подолання паливної залежності і розвитку електрзарядної інфраструктури та електричних транспортних засобів».

У законі було наведено визначення електричних транспортних засобів, передбачався полегшений доступ до електричної інфраструктури для зарядних станцій, а також встановлено строки переходу громадського транспорту на екологічно чисті види енергії. Автори законопроекту небезпідставно вважали, що нові правила сприятимуть популяризації екологічно чистого транспорту і дадуть змогу розвивати мережу зарядних станцій.

### ЦІЛІ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ціллю роботи є дослідження впливу українського законодавства на формування вітчизняного ринку електричних автомобілів.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Чим більше у державі буде електромобілів, тим менше Україна буде залежна від імпорту пального. Поступове скорочення парку автомобілів з ДВЗ значно знизить рівень шкідливих викидів. Масове використання електричних транспортних засобів дозволить збалансувати споживання електроенергії в темні години доби. Заохочення українців до переходу від традиційних автомобілів з бензиновим двигуном до електромобілів має стати важливою ціллю вітчизняного законодавства.

У таблиці 1 наведена хронологія десятирічного (2014–2023 р.р.) законодавчого процесу у стінах Верховної Ради України. У третьому стовпці таблиці перераховані пропозиції і заходи, які передбачалися законопроектами, у четвертому – статус закону: «Не схвалений», «Схвалений в цілому», «Схвалений у другому читанні» тощо.

Як вже зазначалося, перші спроби оцінити доцільність використання електромобілів в Україні були зроблені наприкінці 2011 року. За результатами досліджень було прийнято рішення про лобювання у Верховній Раді законопроектів, які передбачали б пільги, зокрема під час експлуатації електромобілів. Натомість, реальні практичні рішення були прийняті народними депутатами тільки у листопаді 2015 року, коли була застосована нульова ставка ввізного мита замість 8% митної вартості електромобіля (див. табл. 1). Здешевлення автомобіля на 8...10% не робило його доступнішим для українського споживача, оскільки на той час він апріорі був дорогим.

Наступні зміни відбулися через два роки, коли у листопаді 2017 року були скасовані на 2018 рік

Таблиця 1 – Хронологія законотворчої діяльності депутатів ВР України у контексті формування вітчизняного ринку електромобілів

№ законо-проекту	Дата внесення	Пропозиції	Статус законопроекту
1	2	3	4
4605	Березень, 2014 р.	Відміна повного мита на рівні 10% та преференційного мита 8%, що діяли на той час на ввезення транспортних засобів, оснащених електричними двигунами.	Не схвалений
1674	Грудень, 2014 р.	Зміни у Митному тарифі України: «цифри і слова «8703 90 10 00 -- транспортні засоби, оснащені електричними двигунами -- -- 8 -- 10 -- шт» замінити цифрами і словами «8703 90 10 00 -- транспортні засоби, оснащені електричними двигунами -- -- 0 -- 0 -- шт». Відміна сплати у пенсійний фонд на електромобілі.	Не схвалений
1912	Лютий, 2015 р.	Скасування акцизу і податку на додану вартість на електромобілі.	Не схвалений
1913	Лютий, 2015 р.	Скасування ввізного мита на електромобілі.	Не схвалений
1674 1912	Травень, 2015 р.	Див. вище.	Законопроекти пройшли перше читання



1674	Листопад, 2015 р.	Нульова ставка ввізного мита на транспортні засоби, оснащені виключно електричними двигунами (код 8703 90 10 10), замість 8% митної вартості.	Схвалений у другому читанні
1912	Листопад, 2015 р.	Транспортні засоби, оснащені електричними двигунами звільнялися до 1 січня 2020 року від ПДВ у розмірі 20% та акцизного збору 109,129 євро.	Відправлений на повторне друге читання
6776-д	Листопад, 2017 р.	Скасовано податок на додану вартість та акциз на ввезення в Україну електромобілів на 2018 рік.	Схвалений в цілому
9260	Листопад, 2018 р.	Продовжено норму, яка звільняє електромобілі від ПДВ (20%). Акциз на електромобілі з 1 січня 2019 року залежав від місткості акумулятора і складав 1 євро за 1 кіловат-годину.	Схвалений в цілому
10405	Липень, 2019 р.	Внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо створення доступу до інфраструктури зарядних станцій для електромобілів.	Схвалений в цілому
8159 8160	Липень, 2019 р.	Пільги для стимулювання продажів електротранспорту: безвідсоткові кредитні кошти, звільнення від сплати акцизного збору і сплати у пенсійний фонд при ввезенні електромобілів.	Не схвалені
2054	Вересень, 2019 р.	Відміна сплати у пенсійний фонд. Дозволити користуватись смугами для руху маршрутних транспортних засобів.	Не схвалений
2532	Грудень, 2019 р.	Уточнені терміни: – до 31 грудня 2022 року скасовується Пенсійний збір при реєстрації електромобіля; – до 31 грудня 2024 року електромобілі з зеленими номерними знаками зможуть їздити по смузі громадського транспорту; – перехід на електричний автомобільний транспорт до 1 січня 2030 року»	Не схвалений
3228	Червень, 2020 р.	Змінена класифікація транспортних засобів, оснащених виключно електричними двигунами	Схвалений в цілому
3476	Липень, 2021 р.	Звільняються від ПДВ операції з ввезення в Україну товарів підприємствами, що мають, створюють або модернізують виробничі потужності для промислового виробництва електромобілів до 1 січня 2031 року і до 1 січня 2026 року – нових транспортних засобів, оснащених двигунами внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням, що працюють виключно на стиснутому природному газі метані, скрапленому природному газі метані або біогазі, а також електромобілів.	Схвалений в цілому
3477	Липень, 2021 р.	Звільняються до 1 січня 2031 року від оподаткування ввізним митом товари, якщо підприємства ввозять їх для власного промислового виробництва транспортних засобів.	Схвалений в цілому
7190	Березень, 2022 р.	Звільняються від оподаткування податком на додану вартість, акцизним податком операції з ввезення фізичними особами на митну територію України легкових автомобілів	Схвалений в цілому
7418	Червень, 2022 р.	Повернення акцизу (1 євро за 1 кВт-год ємності батареї) при першій реєстрації електромобіля і відміна плати відрахування до Пенсійного Фонду.	Схвалений в цілому
8172	Березень, 2023 р.	Сформульовано визначення електричних транспортних засобів, полегшено доступ до електричної інфраструктури для зарядних станцій, а також визначено строки переходу громадського транспорту на екологічно чисті види енергії.	Схвалений в цілому

податок на додану вартість та акциз на ввезення в Україну електромобілів (що також пропонувалося у листопаді 2015 року, але було відправлено на повторне друге читання) (див. табл. 1). Запроваджені рішення призвели до зменшення ціни у 2017 році на електромобілі на 17%.

Через рік, у листопаді 2018 р., депутати продовжили норму, що звільняє електромобілі від ПДВ (20%), але поновили акциз, який тепер залежав від ємності акумулятора і складав 1 євро за 1 кіловат-годину.

У липні 2019 року депутатами були внесені чергові зміни до окремих законодавчих актів з метою створення доступу до інфраструктури зарядних станцій для електромобілів. Натомість пропозиція щодо звільнення від сплати акцизного збору і сплати у пенсійний фонд при ввезенні електромобілів не набрала достатньої кількості голосів.

У середині 2020 року ВР України ухвалює законопроект «Про митний тариф», яким змінюється класифікація транспортних засобів, оснащених виключно електричними двигунами. Набула остаточного вигляду спрощена схема розмитнення електромобіля, яка передбачала «нульове» мито і відсутність сплати ПДВ; залишався лише акциз.

Важливі події відбулися у законотворчій діяльності у липні 2021 року, коли були ухвалені два законопроекти про підтримку виробництва електричного транспорту та його імпорту. Була зроблена спроба переходу від стимулювання імпорту до стимулювання виробництва в Україні. Однак, більше це стосувалося міського електричного транспорту ніж легкових електромобілів.

У березні 2022 року через введення воєнного стану було прийнято рішення звільнити майже весь імпорту від податків і зборів, зокрема транспортних засобів. Закон діяв лише три місяці і вже у червні того ж року був повернутий акциз при першій реєстрації електромобіля, але нарешті відмінені відрахування до Пенсійного Фонду.

Насамкінець ще одна важлива подія у законотворчій діяльності депутатів ВР відбулася через рік у березні 2023 року, коли був прийнятий закон під довгою назвою «Про деякі питання використання транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, та внесення змін до деяких законів України щодо подолання паливної залежності і розвитку електрзарядної інфраструктури та електричних транспортних засобів». Мета закону була закладена вже у його назві.

Результати десятирічної діяльності законотворців можна оцінити за числом реєстрацій і обсягом парку електромобілів упродовж цих років, хоча через суперечливу статистику про реєстрацію та парк в Україні було проблематично сформулювати реальну ситуацію на ринку. Дані наводилися сервісним центром МВС, Мінінфраструктури, Федерацією автопрому України, різноманітними автомобільними сайтами. Окрім того, нерідко до статистики включалися не лише «чисті» електромобілі але й гібриди. Тому за основне джерело було прийнято інформацію від МВС та Мінінфраструктури. Результати досліджень наведені на рисунках 1 і 2. [17, 18, 19, 20, 21].

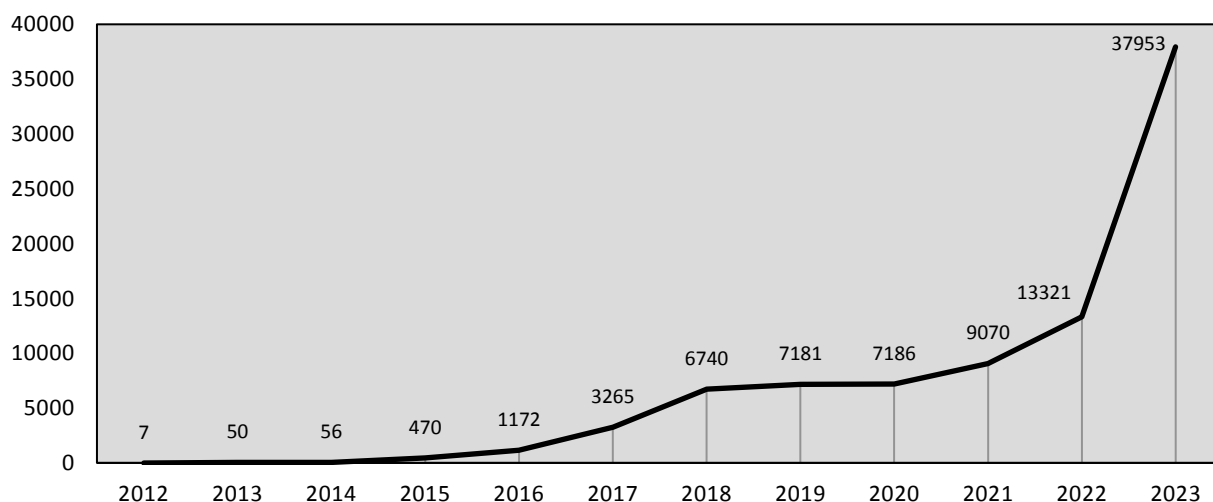


Рисунок 1 – Динаміка реєстрації легкових електромобілів по роках, одиниць

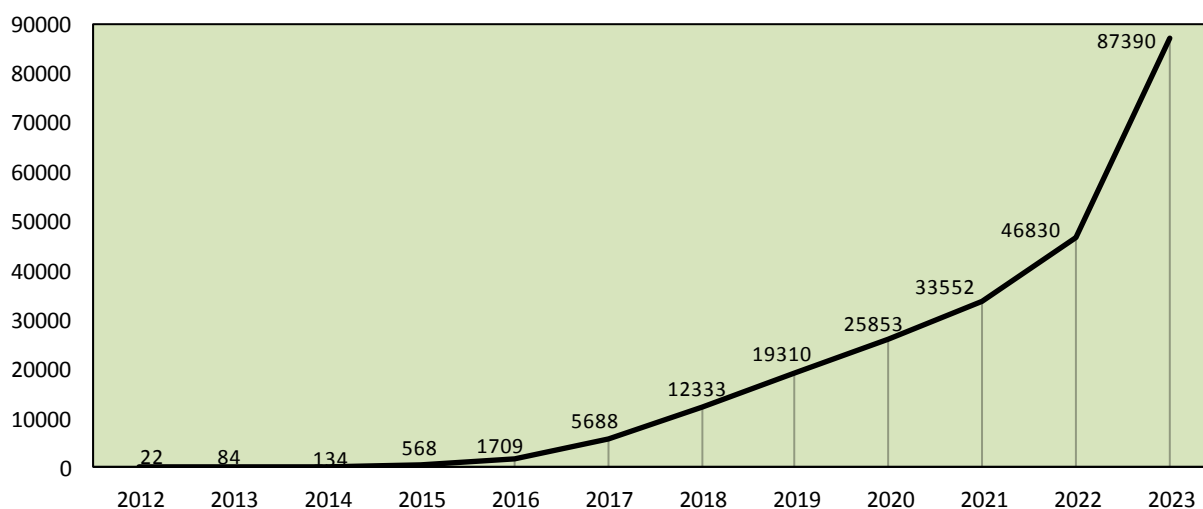


Рисунок 2 – Динаміка зміни парку легкових електромобілів по роках, одиниць

На побудованих графіках добре помітні зміни, викликані прийнятими законодавчими актами депутатами Верховної Ради. Так, завдяки Закону № 1674 кількість реєстрацій електромобілів у 2016 році зросла майже у 2,5 рази у порівнянні з 2015-м. Скасований у 2017 році ПДВ та акциз на ввезення в Україну електромобілів дозволив збільшити реєстрацію у 2 рази (див. рис. 1).

Зростання кількості реєстрацій у 2022 році було зумовлено кількома причинами. Насамперед цьому сприяло трьохмісячне «нульове» розмитнення усіх автомобілів. Наступним фактором стала боязнь відсутності достатньої кількості пального для автомобілів з ДВЗ, на відміну від електроенергії. Відміна сплати у пенсійний фонд також відіграла свою роль у збільшенні кількості реєстрацій, яка у порівнянні з 2021 роком зросла у 1,26 рази (див. рис. 1).

Наступний злет реєстрацій у 2023 році був спричинений тими ж передумовами, а також прийнятим Верховною Радою і підписаним президентом Законом № 8172. Як результат – зростання їх у порівнянні з 2022 роком приблизно у 2,8 рази (див. рис. 1).

Водночас зі збільшенням кількості реєстрацій, змінювався і парк легкових електромобілів (див. рис. 1). Також необхідно зазначити, що статистика розглядалася сумарно для нових і вживаних автотранспортних засобів; перші у різні роки складали всього 8...17 %, а вже у 2023 році – 20%.

Найпопулярнішими електромобілями у 2023 році на вітчизняному ринку стали моделі наведені у таблиці 3. Слід зауважити, що більшість з них виготовлені і завезені з Китаю, зокрема і VOLKSWAGEN ID.4; американські моделі TESLA завозяться переважно вживаними (див. табл. 3).

Таблиця 3 – Найпопулярніші електромобілі у 2023 році [21]

Місце	Нові		Вживані	
	Модель	Кількість	Модель	Кількість
1	VOLKSWAGEN ID.4	2655	NISSAN Leaf	5190
2	HONDA M-NV	559	TESLA Model 3	3282
3	VOLKSWAGEN ID.6	491	VOLKSWAGEN e-Golf	3273
4	HONDA eNS1	327	TESLA Model Y	2171
5	BYD Song	189	VOLKSWAGEN ID.4	1740

У країнах Європейського Союзу та інших існує перелік різноманітних пілг і стимулів для заохочення купівлі електричних транспортних засобів. Україна також намагається привернути увагу своїх мешканців до питання електрифікації парку автомобілів. Ціна – чи не найважливіший чинник для автомобілів з електродвигуном, тому відчутний інтерес до них в українських споживачів прокинувся лише тоді, коли вартість таких транспортних засобів почала знижуватися.

У таблиці 1 можна побачити, як розвивався процес фіскальної підтримки через зниження митних платежів при ввезенні в Україну електромобілів. Оскільки власного промислового виробництва подібного типу легковиків не було, це вважалося основним і вагомим фактором стимулювання купівлі. Спочатку була встановлена нульова ставка ввізного мита (2015 р.), пізніше скасовано податок на додану вартість (2017 р.), насамкінець відмінено відрахування до Пенсійного Фонду (2022 р.). Також власники електромобілів не платять за користування дорогами, адже «дорожній збір» включено у вартість бензину і дизельного пального.

Тривалий час велися суперечки щодо акцизного податку на ввезений електромобіль: то відміняли його, то знову запроваджували. Зрештою у 2018 році депутати дійшли згоди і встановили

акциз у розмірі 1 євро за 1 кіловат-годину батареї.

Так само народні обранці дискутували стосовно запровадження тих чи інших стимулів, метою яких було заохотити українців переходити на електромобілі. Прийнятий у 2019 році Закон № 10405 передбачав:

- введення спеціальних зелених номерних знаків для легкої ідентифікації електромобілів;
- превентивне право електромобілів на парковку у місцях підзарядки;
- введення відповідних дорожніх знаків, яких раніше не було у ПДД.

Спеціальні номерні знаки із символами зеленого кольору закріплюються виключно за електротранспортом – автомобілями, квадроциклами та іншим транспортом, які приводяться в рух електричним двигуном і не мають ДВЗ. Вони починаються з літери «Z», що означає «zero» (англ. «нуль»), тобто «нульові викиди». Пізніше для маркування серії електромобіля почали використовуватися комбінації, де першою літерою була літера «Y». Власник авто може сам обрати варіант – з літерою «Z» чи «Y», а за бажанням власники із Z-номерами можуть змінити їх на знаки з Y-серією.

**Водії автомобілів з зеленими номерами мають певні переваги перед іншими учасниками дорожнього руху, зокрема:**

- можна їздити смугою, відведеною для громадського транспорту;
- на стоянках, де встановлені зарядні пристрої, інші автомобілі повинні поступатися місцем електрокарам;
- власники «зелених» авто мають знижки на проїзд платними автотрасами, на деяких стоянках можуть залишати транспорт безплатно;
- електромобілі можуть їздити окремими вулицями, де проїзд транспорту з ДВЗ заборонено;
- зелений номерний знак добре зчитується навіть чорно-білими камерами, що підвищує рівень безпеки [22].

Введення дорожніх знаків 6.7.3 «Електрозарядні станції» і 7.23 «Місце для зарядки автомобілів» регулюють роботу зарядних станцій, кількість яких буде невпинно зростати.

Також у Верховній Раді знаходилися законопроекти № 8159 і 8160 у яких пропонувалися різні пільги для стимулювання продажів електричного транспорту в Україні але не були проголосовані (див. табл. 1). Це стосувалося безвідсоткового кредиту на купівлю електромобілів чи комплектуючих до них, 5% місць на платних парковках з встановленими зарядними пристроями тощо.

Ухвалений у березні 2023 року Закон № 8172 містить низку положень, спрямованих на розвиток мережі електрозарядних станцій (ЕЗС) для екологічно чистого транспорту: встановлення, підключення, фінансування, а також розміщення перших на парковках, у житлових комплексах і об'єднаннях. Держава запроваджувала ряд фінансових стимулів та ініціатив пришвидшення розвитку зарядної інфраструктури. Зокрема це:

- спрощення земельних вимог щодо розміщення зарядних станцій для електричних транспортних засобів;
- до кінця 2024 року діятиме спрощена система підключення ЕЗС до електромереж «Укренерго» та скасовано оплату за потужність при приєднанні;
- дозвіл на встановлення зарядних станцій в ОСББ на прибудинкових територіях або територіях загального користування;
- технічна документація для нових багатоквартирних будинків повинна передбачати щонайменше 50% місць для паркування та зберігання електромобілів;
- державним та комунальним комерційним підприємствам до 31 грудня 2024 року встановити станції зарядки електромобілів на існуючих автостоянках, у гаражах та інших місцях для паркування;
- закон окреслює механізм компенсації встановлення зарядних станцій для електромобілів у громадських місцях з місцевих бюджетів [16].

«Взагалі, парковки та стоянки у майбутньому повинні стати основним місцем, де буде можливість підзарядки електромобілів, адже за статистикою транспортні засоби в умовах міської експлуатації 90...95% часу проводять на парковках або стоянках. Тому логічно, що у цьому законі закладена норма облаштування 50% паркувальних місць з зарядними станціями для електромобілів у новобудовах», – зазначили вітчизняні експерти [23]. Реалізація окремих норм Закону № 8172 у Луцьку показана на рисунках 3 і 4.

Полегшення процедури під'єднання до мереж дозволить будувати більш потужні зарядні станції, відповідно сучасним вимогам, оскільки сьогодні ЕЗС невеликої потужності забезпечують заряджання автомобіля впродовж двох години і більше. В Україні потужною вважається зарядка на



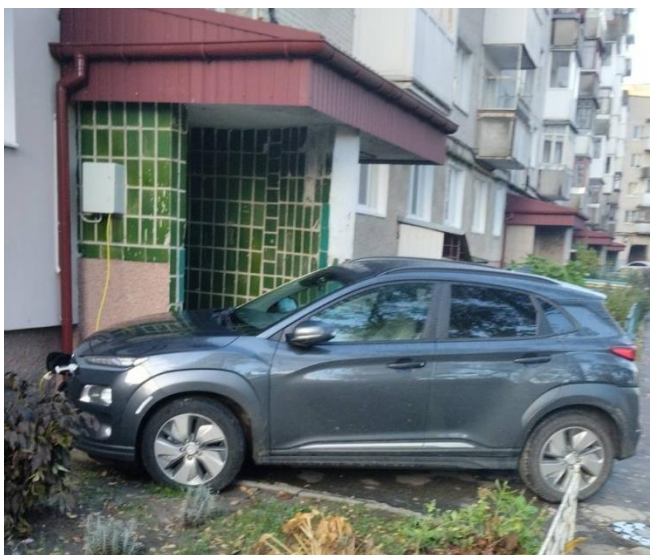


Рисунок 3 – Зарядна станція біля багатоквартирного будинку



Рисунок 4 – Зарядна станція на стоянці біля торговельного закладу

50 кіловат, у той час як в Європі навіть 150 кіловатні замінюють на більш потужні (у Porsche Taycan 2024 закладена пікова потужність зарядки 320 кВт). Це забезпечить скорочення часу перебування авто на ЕЗС до 15 хвилин. Нове законодавство безперечно стало значущим кроком на шляху становлення вітчизняного ринку електромобілів.

#### **ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Результати проведеного дослідження показали, що упродовж останніх десяти років депутатами Верховної ради України було розглянуто два десятки законопроектів, спрямованих на стимулювання розвитку вітчизняного ринку електромобілів. Оскільки власного промислового виробництва електричних легковиків так і не було налагоджено, стимулювання відбувалося за допомогою зниження або повної відміни окремих митних платежів при імпорті транспортних засобів, а також пільг у процесі їх зарядки і експлуатації.

Попри позитивний тренд реєстрацій, у 2023 році вітчизняний парк електромобілів складав менше 1,0% від усього парку легковиків. Тому сьогодні слід говорити швидше про початок формування ринку. Подальше зростання парку залежатиме від загальної ситуації у державі, стану її економіки та купівельної спроможності населення.

#### **ВИСНОВКИ**

Вітчизняними стимулами для охочих придбати електромобілі стали фіскальна підтримка при розмитненні, надання переваг авто із «зеленими» номерними знаками та розвинута у перспективі мережа ЕЗС. Таким чином скасування ввізного мита у 2015 році призвело до збільшення у 2017 році числа реєстрацій електромобілів у 6,9 разів, а скасування ПДВ у 2017-му до збільшення у 2021 році у 2,8 рази. 2022, а особливо 2023 роки відзначилися черговими зростаннями кількості реєстрацій у порівнянні з попередніми відповідно на 46% і 185%, чому сприяли чергові зміни в українському законодавстві. Ріст ринку та зміни у вітчизняному парку електричних легковиків корелювалися з результатами їх реєстрацій.

#### **ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Выгодно ли покупать электромобиль? URL: <https://autoconsul-ting.ua/article.php?sid=22350>.
2. Что мешает электромобилям стать популярными в Украине? URL : <https://autoconsulting.ua/article.php?sid=28885>.
3. Додаток до Закону України «Про Митний тариф України» від 19 вересня 2013 року № 584-VII. URL: [https://ukurier.gov.ua/media/documents/2013/10/23/2013\\_10\\_23\\_584z.pdf](https://ukurier.gov.ua/media/documents/2013/10/23/2013_10_23_584z.pdf).
4. Проект Закону 28.12.2014. URL: [http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4\\_1?pf3511=53254](http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=53254).
5. Депутаты хотят отменить спецпошлины и налоги на электромобили. URL: <https://delo.ua/business/deputaty-hotjat-otmenit-specposhliny-i-nalogi-na-elektromobili-289899/>.
6. Сергій Лук'ячук. Електрошок. Автомобілі на електричній тязі можуть подешевшати в Україні на третину. URL: [https://texty.org.ua/articles/60099/Jelektroshok\\_Avtomobili\\_na\\_jelektrychnij\\_tazi\\_mozhut\\_podeshevshaty-60099/](https://texty.org.ua/articles/60099/Jelektroshok_Avtomobili_na_jelektrychnij_tazi_mozhut_podeshevshaty-60099/).
7. Рада отказалась отменить НДС и акциз на импорт электромобилей. URL: <https://www.unian.net/economics/transport/1193625-rada-otkazalas-otmenit-nds-i-aktsiz-na-import-elektromobiley.html>.



8. Верховна Рада внесла зміни до Податкового кодексу URL: [https://zaxid.net/verhovna\\_rada\\_vnesla\\_zmini\\_do\\_podatkovogo\\_kodeksu\\_n1443582](https://zaxid.net/verhovna_rada_vnesla_zmini_do_podatkovogo_kodeksu_n1443582).
9. В Україні електромобілі звільнили від акцизу та ПДВ до 2022 року. URL: <https://www.village.com.ua/village/business/news/278983-v-ukrayini-elektromobili-zvilnili-vid-aktsiziv-ta-pdv-do-2022-roku>.
10. Які привілеї на дорозі отримують електромобілі. URL: <https://fra.org.ua/uk/an/publikatsii/novosti/iaki-privileyi-na-dorozi-otrimaiut-elektromobili>.
11. Для електромобілів в Україні готують нові пільги. URL: [https://auto.24tv.ua/dlia\\_elektromobiliv\\_v\\_ukraini\\_hotuiut\\_novi\\_pilhy\\_n15677](https://auto.24tv.ua/dlia_elektromobiliv_v_ukraini_hotuiut_novi_pilhy_n15677).
12. Рада змінила Митний тариф.
13. Парламент підтримав виробництво електротранспорту в Україні та його імпорт. URL: <https://sluganarodu.com/parlament-pidtrymav-vyrobnystvo-elektrotransportu-v-ukraini-ta-yoho-import/>.
14. Розмитнення автомобілів в Україні: з 1 квітня – безкоштовно! URL: <https://columbauto.com.ua/ua/news/rastamozhka-avtomobiley-v-ukraine-s-1-aprelya-besplatno/>.
15. Верховна Рада України прийняла Закон «Про внесення змін до Податкового кодексу України та інших законодавчих актів України щодо перегляду окремих пільг з оподаткування». URL: <https://www.rada.gov.ua/news/razom/224389.html#>.
16. Закон України «Про деякі питання використання транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, та внесення змін до деяких законів України щодо подолання паливної залежності і розвитку електрзарядної інфраструктури та електричних транспортних засобів». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2956-20#Text>.
17. Електромобілізація України. URL: <https://fra.org.ua/ru/an/publikatsii/analitika/ieliektromobilizatsiia>.
18. Тиха революція. Як електромобілі завойовують частку ринку. URL: <https://biz.nv.ua/ukr/markets/yera-ye-50012295.html>.
19. У березні продаж електромобілів збільшився на 13% до 1,9 тис. одиниць. URL: <https://ukranews.com.ua/news/925268-u-berezni-prodazh-elektromobiliv-zbilshyvsvya-na-13-do-1-9-tys-odinyts>.
20. Свіжа статистика: кількість електромобілів в Україні переvalила за позначку 12000 шт. URL: [https://elektrovesti.net/64030\\_svizha-statistika-kilkist-elektromobiliv-v-ukraini-perevalila-za-poznachku-12-000-shit](https://elektrovesti.net/64030_svizha-statistika-kilkist-elektromobiliv-v-ukraini-perevalila-za-poznachku-12-000-shit).
21. Продаж електромобілів в Україні зріс майже втричі URL: <https://hromadske.ua/posts/prodazh-elektromobiliv-v-ukrayini-zris-majzhe-vtrichi>.
22. Зелені номерні знаки на авто: що це та як їх отримати? URL: <https://porady.org.ua/zeleni-nomerni-znaky-na-avto-shcho-tse-ta-yak-yikh-otrymaty>.
23. Підписано закон про розвиток електромобілів: що він передбачає. URL: [https://auto.24tv.ua/pidpysano\\_zakon\\_pro\\_rozvytok\\_elektromobiliv\\_shcho\\_vin\\_peredbachaie\\_n44300](https://auto.24tv.ua/pidpysano_zakon_pro_rozvytok_elektromobiliv_shcho_vin_peredbachaie_n44300).

#### REFERENCES

1. Vygodno li pokupat' elektromobil'? URL: <https://autoconsul-ting.ua/article.php?sid=22350>.
2. Chto meshayet elektromobilyam stat' populyarnymi v Ukraine? URL: <https://autoconsulting.ua/article.php?sid=28885>.
3. Dodatok do Zakonu Ukrayiny «Pro Mytnyy taryf Ukrayiny» vid 19 veresnya 2013 roku № 584-VII. URL: [https://ukurier.gov.ua/media/documents/2013/10/23/2013\\_10\\_23\\_584z.pdf](https://ukurier.gov.ua/media/documents/2013/10/23/2013_10_23_584z.pdf).
4. Proekt Zakonu 28.12.2014. URL: [http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4\\_1?pf3511=53254](http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=53254).
5. Deputaty khotyat otomnit spetsposhliny i nalogi na elektromobili. URL: <https://delo.ua/business/deputaty-hotjat-otmenit-specposhliny-i-nalogi-na-elektromobili-289899/>.
6. Serhiy Luk'yanchuk. Elektroshok. Avtomobili na elektrychniy tyazi mozhut' podeshvshaty v Ukrayini na tretynu. URL: [https://texty.org.ua/articles/60099/Jelektroshok\\_Avtomobili\\_na\\_jelektrychnij\\_tazi\\_mozhut\\_podeshevshaty-60099/](https://texty.org.ua/articles/60099/Jelektroshok_Avtomobili_na_jelektrychnij_tazi_mozhut_podeshevshaty-60099/).
7. Rada otkazalas otmenit' NDS i aktsiz na import elektromobiley. URL: <https://www.unian.net/economics/transport/1193625-rada-otkazalas-otmenit-nds-i-aktsiz-na-import-elektromobiley.html>.
8. Verkhovna Rada vnesla zminy do Nalohovoho kodeksu URL: [https://zaxid.net/verhovna\\_rada\\_vnesla\\_zmini\\_do\\_podatkovogo\\_kodeksu\\_n1443582](https://zaxid.net/verhovna_rada_vnesla_zmini_do_podatkovogo_kodeksu_n1443582).
9. V Ukrayini elektromobili zvil'nyly vid aktsyzu ta PDV do 2022 roku. URL: <https://www.village.com.ua/village/business/news/278983-v-ukrayini-elektromobili-zvilnili-vid-aktsiziv-ta-pdv-do-2022-roku>.
10. Yaki pryvileyi na dorozi otrymayut elektromobili. URL: <https://fra.org.ua/uk/an/publikatsii/novosti/iaki-privileyi-na-dorozi-otrimaiut-elektromobili>.
11. Dlya elektromobiliv na Ukrayini hotuyut novi pilhy. URL: [https://auto.24tv.ua/dlia\\_elektromobiliv\\_v\\_ukraini\\_hotuiut\\_novi\\_pilhy\\_n15677](https://auto.24tv.ua/dlia_elektromobiliv_v_ukraini_hotuiut_novi_pilhy_n15677).
12. Rada zminyly Mytnyy taryf.
13. Parlament pidtrymav vyrobnystvo elektrotransportu v Ukrayini ta yoho import. URL: <https://sluganarodu.com/parlament-pidtrymav-vyrobnystvo-elektrotransportu-v-ukraini-ta-yoho-import/>.

14. Rozmytnennya avtomobiliv v Ukraini: z 1 kvitnya – bezkoshtovno! URL: <https://columbauto.com.ua/ua/news/rastamozhka-avtomobiley-v-ukraine-s-1-aprelya-besplatno/>.
15. Verkhovna Rada Ukrainy ukhvalyla Zakon «Pro vnesennya zmin do Nalohovoho kodeksu Ukrainy ta inshykh zakonodavchykh aktiv Ukrainy shchodo perehlyadu okremykh pil'h z opodatkovannya». URL: <https://www.rada.gov.ua/news/razom/224389.html#>.
16. Zakon Ukrainy «Pro deyaki pytannya vykorystannya transportnykh zasobiv, osnashchenykh elektrychnymy dvyhunamy, ta vnesennya zmin do deyakykh zakoniv Ukrainy shchodo podolannya palyvnoyi zalezhnosti ta rozvytku elektrozaryadnoyi infrastruktury ta elektrychnykh transportnykh zasobiv». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2956-20#Text>.
17. Elektromobilizatsiya Ukrainy. URL: <https://fra.org.ua/ru/an/publikatsii/analitika/ieliektromobilizatsiia>.
18. Tykha revolyutsiya. Yak elektromobili zavoyovuyut' dolyu rynku. URL: <https://biz.nv.ua/rus/markets/yera-ye-50012295.html>.
19. U berezni prodazh elektromobiliv zbilshyvsya na 13% do 1,9 tys. odynyts. URL: <https://ukranews.com/ua/news/925268-u-berezni-prodazh-eklektromobiliv-zbilshyvsya-na-13-do-1-9-tys-odynyts>.
20. Svizha statystyka: kilkist elektromobiliv v Ukraini perevyschyla poznachku 12000 sht. URL: <https://elektrovesti.net/64030-svizha-statistika-kilkist-eklektromobiliv-v-ukraini-perevalila-za-poznachku-12-000-sht>.
21. Prodazh elektromobiliv v Ukraini zris mayzhe vtrychi URL: <https://hromadske.ua/posts/prodazh-eklektromobiliv-v-ukraini-zris-majzhe-vtrychi>.
22. Zeleni nomerni znaky na avto: shcho tse ta yak yikh otrymaty? URL: <https://porady.org.ua/zeleni-nomerni-znaky-na-avto-shcho-tse-ta-yak-yikh-otrymaty>.
23. Pidpysano zakon pro rozvytok elektromobiliv: shcho vin peredbachaye. URL: [https://auto.24tv.ua/pidpysano\\_zakon\\_pro\\_rozvytok\\_elektromobiliv\\_shcho\\_vin\\_peredbachaie\\_n44300](https://auto.24tv.ua/pidpysano_zakon_pro_rozvytok_elektromobiliv_shcho_vin_peredbachaie_n44300).

#### **V. Kyshchun, V. Paviuk, V. Zubenko. Chronology of the formation of the Ukrainian electric car market.**

The transition of the Ukrainian car fleet to electric cars is a pressing issue, since electrical energy today is the only acceptable and accessible in the required quantity source of energy that can be used as an alternative.

Practical studies to assess the feasibility of using electric vehicles in Ukraine began in 2011–2013. It was established that the main disadvantage of that time was their cost and lack of infrastructure. Therefore, only government subsidies and breakthroughs in technology could become an important turning point in the spread of electric vehicles, which would significantly reduce their price.

The first concrete proposals at the state level regarding incentives for purchasing electric vehicles were put forward in the Verkhovna Rada in March 2014. After all, over the course of a decade (2014–2023), two dozen bills were considered aimed at stimulating the development of the domestic electric vehicle market, of which only half received the status of laws. Debates centered around the acceptance (or rejection) of tax discounts for the customs clearance of electric vehicles, as domestic industrial production had not been established.

Significant years include 2015, when the import duty was abolished, 2017 when VAT was abolished, the elimination of contributions to the pension fund in 2022, and the establishment of a permanent excise tax of 1 euro per 1 kWh of electric vehicle battery capacity. This «mix» allowed an 80-fold increase in the number of registrations in 2023 compared to 2015. Special «green» license plates for electric vehicles, which granted certain benefits to their owners over other road users, and the prospective increase in electric charging stations, were also notable.

Despite the laws enacted in 2023, the domestic electric vehicle fleet accounted for less than 1.0% of the total passenger car fleet. Therefore, the further development of the market and the expansion of the fleet will depend on the overall situation in the country, the state of its economy, and the purchasing power of the population.

**Key words:** electric car, bill, law, Tax Code, VAT, excise tax, benefits and incentives, infrastructure, registration, market and fleet of electric vehicles.

*КИЩУН Володимир Андрійович*, кандидат економічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: [kyshchun52@ukr.net](mailto:kyshchun52@ukr.net). <http://orcid.org/0000-0003-4019-8034>.

*ПАВЛЮК Василь Іванович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: [v.pavliuk@lutsk-ntu.com.ua](mailto:v.pavliuk@lutsk-ntu.com.ua), [Vasyl Pavliuk](mailto:Vasyl Pavliuk) <https://orcid.org/0000-0002-0678-3566>

*ЗУБЕНКО Віталій Андрійович*, магістрант кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет.

*Volodymyr KYSHCHUN*, PhD. in Economic, Assoc. Professor of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: [kyshchun52@ukr.net](mailto:kyshchun52@ukr.net). <http://orcid.org/0000-0003-4019-8034>.

*Vasyl PAVLIUK*, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Automobiles and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: [v.pavliuk@lutsk-ntu.com.ua](mailto:v.pavliuk@lutsk-ntu.com.ua), [Vasyl Pavliuk](mailto:Vasyl Pavliuk) <https://orcid.org/0000-0002-0678-3566>

*Vitalii ZUBENKO*, master of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University.

DOI 10.36910/automash.v1i22.1359

Козак С.В.

*Національний університет водного господарства та природокористування***ЕФЕКТИВНІСТЬ ТРАНСПОРТУ, ПРОЕКТНИЙ АНАЛІЗ ТА ПОТЕНЦІАЛ ТРНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Підвищення ефективності використання потенціалу транспортних підприємств завдяки проведеному проектному аналізу сприяє зниженню величини їх загальних витрат, зростанню прибутковості, забезпечує стабільний та збалансований розвиток. А також допомагає оцінити ефективність проектних рішень та розрахувати соціальні показники проекту, удосконалити функціонування транспортної мережі. На етапі формування потенціалу забезпечення ефективності передбачає вирішення таких задач: визначення достатньої величини усіх складових потенціалу, гармонізація їх структури. Ключовою складовою збалансованого формування потенціалу транспортного підприємства є забезпечення достатньої величини та оптимізація резерву провізних можливостей. Для цього необхідно провести розрахунок змін загального часу руху транспортних засобів по мережі, розрахувати зміну транспортно-експлуатаційних витрат і зміну загального пробігу транспортних засобів по мережі. Оптимізація резерву провізних можливостей базується на прогнозуванні величини попиту на перевезення з високим рівнем достовірності та оперативності. Запропоновано визначати прогнозу величину попиту на перевезення з урахуванням відповідної системи чинників впливу на обсяги перевезень за технологією нерівномірних раціональних бе-сплайнів (nurbs-технологією). В якості критерію оптимізації величини резерву провізних можливостей запропоновано мінімум суми загальних втрат від невиконання перевезень та витрат на утримання необхідних резервних одиниць рухомого складу. Для забезпечення резерву провізних можливостей обґрунтовано стратегію аутсорсингу рухомого складу.

В статті розглянуто основні методичні підходи до оцінки ефективності використання потенціалу транспортних підприємств завдяки проведеному проектному аналізу. оцінка ефективність проектних рішень, етапи формування потенціалу, забезпечення ефективності передбачає вирішення таких задач: визначення достатньої величини усіх складових потенціалу, гармонізація їх структури. Ключовою складовою збалансованого формування потенціалу транспортного підприємства є забезпечення достатньої величини та оптимізація резерву провізних можливостей.

**Ключові слова:** ефективність, потенціал підприємства, проектний аналіз, продуктивність, собівартість, транспортний процес, управління запасами, час, інвестиції, інновації, комерційна діяльність.

**ВСТУП**

Динамічний розвиток транспортного підприємства можливий лише за умови забезпечення ефективного використання потенціалу транспортних підприємств та проведеному проектному аналізу. Саме наявність достатньої, обґрунтованої величини та збалансованої структури потенціалу підприємства забезпечує необхідну динаміку усіх показників його діяльності, а також оцінка ефективність проектних рішень та розрахунок соціальних показників проекту, удосконалення функціонування транспортної мережі

Вирішення задачі підвищення ефективності використання потенціалу транспортних підприємств є актуальним і важливим, оскільки сприяє зниженню величини загальних витрат транспортних підприємств, зростанню їхньої прибутковості, забезпечує стабільний та збалансований розвиток. Тому дослідження проблемних питань щодо ефективного формування та реалізації потенціалу транспортних підприємств є актуальним.

**АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Проблематика ефективного функціонування потенціалу підприємств, в тому числі транспортних, висвітлена у працях О.Ю. Амосова., О.В. Ареф'євої, О.О. Бакаєва, Д.М. Барановського, С.М. Боняр, Н.І. Богомолової, В.М. Гурнака, В.Л. Диканя, С.П. Дунди, В.В. Жихаревої, В.П. Ільчука, В.Г. Коби, К.Г. Ковцура, Н.М. Колесникової, О.М. Котлубая, Г.Ю. Кучерук, М.А. Нефедова, Н.М. Побережної, В.Г. Шинкаренка, Т.В. Харчук та інших. Віддаючи належне результатам їх досліджень, слід зазначити, що ціла низка проблем управління потенціалом транспортного підприємства, пов'язаних із забезпеченням його ефективного використання залишаються недослідженими. Зокрема, питання формування достатньої величини та раціональної структури виробничо-технологічного потенціалу транспортних підприємств.

**ЦІЛІ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Метою статті є обґрунтування напрямів забезпечення ефективного формування та реалізації потенціалу транспортного підприємства, забезпечення ефективного використання потенціалу транспортних підприємств завдяки проведеному проектному аналізу.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Одним з ключових завдань функціонування підприємства є забезпечення ефективності його діяльності. В найбільш загальному визначенні, ефективний – це такий, «який приводить до потрібних результатів, наслідків, дає найбільший ефект» [1], а ефективність – це «відносний ефект, результативність процесу, операції, проекту, що визначається як відношення результату до затрат, які зумовили його одержання» [2]. Тобто, економічна ефективність є комплексним показником, що відображає результати «складного процесу взаємодії факторів, що впливають на розвиток виробництва» [3].

В науковому середовищі існують різні підходи до усвідомлення сутності поняття ефективність. Науковці визначають ефективність як результат діяльності, рівень ефективності може змінюватися залежно від цілей оцінки, тому ефективність є до певної міри суб'єктивним показником. Існує підхід до визначення ефективності через рівень використання потенціалу, за якого під ефективністю розуміють ступінь відповідності фактичного результату тому, якого можна було б досягти за умови максимальної реалізації функцій системи. Забезпечення ефективності також пов'язують з цільовими установками підприємства [4].

Слід зазначити, що необхідно розрізняти задачі забезпечення ефективності, методики оцінки її рівня, ключові чинники ефективності на етапі формування потенціалу транспортного підприємства та на етапі його реалізації.

Забезпечення ефективності на етапі формування потенціалу передбачає вирішення таких задач: визначення достатньої величини усіх складових потенціалу, гармонізація їх структури, збалансованість розвитку кожної функціональної складової потенціалу. Забезпечення ефективності на етапі реалізації потенціалу передбачає вирішення таких задач: досягнення цілей функціонування, забезпечення достатніх темпів зростання.

Формування потенціалу підприємства – це процес ідентифікації та створення підприємницьких можливостей, його структуризації та побудови певних організаційних форм для стабільного розвитку та ефективного відтворення [5]. В процесі формування потенціалу «урахування ключових чинників сприятиме підвищенню ефективності прийняття управлінських рішень щодо формування максимального рівня потенціалу підприємств» [6].

З метою гармонізації структури потенціалу підприємства «потрібно врахувати основні складові його внутрішнього середовища...Оптимальна структура потенціалу повинна мати мінімальну кількість компонентів, але повною мірою виконувати задані функції» [3].

Для транспортного підприємства збалансоване формування потенціалу передбачає синхронний розвиток виробничо-технологічної, маркетингової, трудової, фінансової, управлінської складових щодо їх співвідношення та рівня розвитку кожної. Ефект від гармонізації формується за рахунок ліквідації не використовуваних активів та надмірних витрат на їх утримання і проявляється в збільшенні прибутку підприємства, зменшенні ресурсомісткості перевезень тощо.

В сучасних умовах особливого значення набуває формування екологічної складової потенціалу. Ефект від реалізації екологічного потенціалу має багатовимірний прояв для підприємства, який включає не тільки прямий екологічний ефект, а й також економічний, ринковий, фінансовий, структурний, техніко-технологічний, соціальний. Економічний ефект для підприємства від реалізації екологічного потенціалу проявляється в таких напрямках: зниження витрат за рахунок ресурсо- та енергозбереження; мінімізації витрат на ресурси і забруднення навколишнього середовища; зростання доходів за рахунок більш високих цін на екологічно чисту продукцію; формування позитивного іміджу підприємства та підвищення його конкурентоспроможності [7].

Ключовою складовою збалансованого формування потенціалу транспортного підприємства є забезпечення достатньої величини виробничо-технологічної складової та оптимізації резерву провізних можливостей.

Теоретичні та практичні підходи до оптимізації резерву провізних можливостей досить широко висвітлено у працях вітчизняних науковців. В роботі [8] запропоновано метод розрахунку та алгоритм визначення оптимальної кількості рухомого складу як окремих перевізників, так і регіонів у цілому. В роботі [9] визначено методику резервування провізних можливостей, з метою зниження витрат на доставку. Однак, проблемним питанням залишається прогнозування попиту на перевезення, від величини якого залежать кількісні розрахунки необхідної величини провізних можливостей підприємства.

В основі оптимізації резерву провізних можливостей транспортного підприємства знаходиться задача прогнозування величини попиту на перевезення з високим рівнем достовірності та



оперативності. З цією метою для моделювання та прогнозування попиту на перевезення з урахуванням відповідної системи чинників впливу на обсяги перевезень запропоновано використовувати технологію нерівномірних раціональних бесплейнів (скорочено *nurbs*). Сутність технології *nurbs* полягає в способі математичного опису моделі кривою інтерполяції між трьома та більшою кількістю контрольних вектор точок, область впливу яких на форму кривої опису моделі є різною, що є суттєвою властивістю для моделювання іррегулярних кривих.

Такий підхід дозволяє отримати інтерактивну інтерпретацію криволінійного графічного опису моделі на неперервному інтервалі часу, що надає можливість отримати відомості про значення стану моделі у будь-який момент часу з інтервалу  $T$ , дає перевагу у швидкості відтворення графічної інтерпретації моделі за рахунок обчислювальної стабільності та точності використовуваних алгоритмів, зберігає інваріантність як при афінних перетвореннях, так і при перспективних трансформаціях.

Задача оптимізації резерву провізних можливостей транспортного підприємства вирішується за етапами, що наведені на рис. 1.

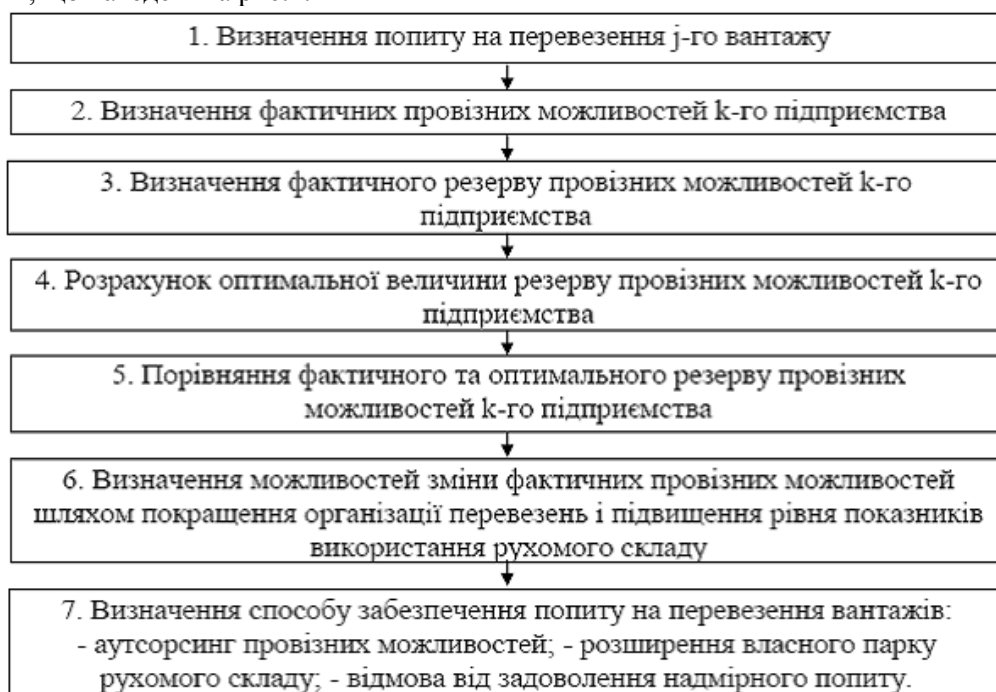


Рисунок 1 – Етапи оптимізації резерву провізних можливостей транспортного підприємства.

Ефект від оптимізації резерву провізних можливостей проявляється у зменшенні витрат, збільшенні прибутку, покращенні використання активів. Однак, навіть оптимальна величина резерву не забезпечує мінімальних витрат, а лише мінімізує потенційні втрати за умови середньостатистичної динаміки ринку, тому показники які використовують в проектному аналізі, є необхідними для покращення роботи транспортної галузі.

Сьогодні динаміка транспортності економіки та динаміка обсягів виробництва свідчать про потенційне вивільнення провізних можливостей транспортних підприємств, тому стратегія забезпечення резерву провізних можливостей власним транспортом не є пріоритетною, особливо враховуючи відсутність фінансових ресурсів у підприємств. За цих умов більшого ринкового потенціалу набуває стратегія забезпечення резерву шляхом аутсорсингу рухомого складу. Тобто, підприємство забезпечує стабільний попит на перевезення власним рухомим складом, а усі «пікові» навантаження перевозить рухомим складом, залученим на умовах аутсорсингу.

На етапі реалізації потенціалу ефективність «означає раціональне використання ресурсів для задоволення потреб споживачів і, відповідно, досягнення високих результатів діяльності підприємства» [7] та може бути визначена за традиційною системою показників (рентабельності, оборотності тощо). Оцінити ефективність реалізації на якісному рівні можна за динамікою об'ємних і якісних показників.

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Таким чином, глобальною тенденцією розвитку світової економіки на сучасному етапі стає розвиток ефективності транспорту та застосування проектного аналізу для підприємств, що дозволяє



підвищити його організаційно-економічну стійкість. Проектний аналіз дозволив виділити основні елементи ефективності транспортного процесу. Забезпечення ефективності транспорту та завдяки проектному аналізу, допомагає сформувавши необхідний потенціал та передбачає вирішення основних задач сьогодення.

### ВИСНОВКИ

Якість обслуговування споживачів пов'язана і з підвищенням ефективності транспортної діяльності. Аналізуючи ефективність транспорту необхідно розглядати показники, розраховані завдяки проектному аналізу, які є критичними для підтримки необхідного рівня сервісу і найбільш повно характеризують результати виконаної роботи з погляду споживача. Найважливішими факторами в даному відношенні є час транспортування, собівартість перевезень та продуктивність.

На первинному рівні оцінка ефективності транспортних послуг за допомогою запропонованих показників, розрахованих завдяки проектному аналізу, можна оцінити вплив цих показників на транспортування та розмір транспортних витрат по кожному виду транспорту. Це дозволить отримати більш точні розрахунки, ніж використання усереднених значень. Цей підхід є дуже ефективним та дозволяє зв'язати складові моделі ефективності управління запасами з продуктивністю транспортного процесу та врахувати чинники, що впливають на тривалість перевезення. Використання проектного аналізу дає можливість проводити не просто моделювання, а розробляти систему оцінки транспортних витрат для конкретного підприємства. Зробити показники ефективності роботи більш індивідуальними, аналітично підходити до процесу оцінки ефективності транспорту на етапі планування, оцінювати всі загрози і ризики та інвестиційну привабливість з якими потенційно може зіткнутися спроектований транспортний процес.

Подальші дослідження у цьому напрямку пов'язані із програмуванням та побудовою імітаційних моделей для аналітичної оцінки продуктивності та ефективності транспортних процесів та розробки проектів для інвестиційної привабливості.

### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Устенко М. О. Актуальність формування транспортно-логістичних систем в умовах євроінтеграції / М. О. Устенко // Вісн екон. трансп. і пром-сті.— 2015. — № 49. — С. 207–210.
2. Бойко О. В. Ринок транспортних послуг: основи методології розвитку: монограф. / О. В. Бойко. — К.: Кондор, 2014. — 494 с.
3. Брагінський В. В. Розвиток транспортно-логістичної системи як форма реалізації транзитного потенціалу України / В. В. Брагінський // Державне управління: теорія і практика.—2011— № 2 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.academy.gov.ua/ej/ej14/index.htm>.
4. Іртищева І. О. Структура транспортно-логістичної системи України / І. О. Іртищева, С. М. Мінакова, О. А. Христенко // Глобальні та національні проблеми економіки.—201 — № 4. — С. 146–149.
5. Михайличенко К. М. Відновлення транзитного потенціалу як чинник підвищення конкурентоспроможності України / К. Михайличенко // Стратегічні пріоритети.—2015. — № 4. — С. 59–65.
6. Попова Н. В. Транспортно-логістична система: дефініція та складові / Н. В. Попова // Бізнес Інформ. — 2016. — № 1. — С. 169–174.
7. Соколова О. Є. Теоретико-методологічні основи формування транспортно-логістичної системи України [Електронний ресурс] / О.Є.Соколова.—Режим доступу : <http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/PPEI/article/view/182/173>.
8. Чернявська Т. А. Стратегічні напрями розвитку транспортно-комунікативної системи України в контексті забезпечення національної безпеки і самодостатності / Т. Чернявська // Екон. вісн. Нац. гірн. ун-ту. — 2015. — № 3. — С. 68–76.
9. Зайцева І. Ю. Фінансово-правові аспекти процесу інтеграції України до Транс-Європейської транспортної мережі ТЕМ-Т / І. Ю. Зайцева // Вісн. екон. трансп. і пром-сті. — 2014. — № 46. — С. 223–227.
10. Садловська І. П. Розвиток національної транспортної мережі України та її інтеграція до пріоритетних транспортних мереж ЄС / І. Садловська // 36. наук пр. Держ. екон.-техн. ун-ту трансп. — 2015. — № 31. — С. 16–26.
11. Ткач О. В. Формування єдиної логістичної системи: важлива складова євро-інтеграційних процесів / О. В. Ткач, І. А. Волощук // Наук вісн. Херсон. держ. ун-ту. — 2014. — № 9. — С. 208–212. — (Серія «Економіка»).
12. Співробітництво Україна – ЄС в сфері транспорту // Офіційний сайт Представництва України при Європейському Союзі та Європейському Співтоваристві з атомної енергії [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://ukraine-eu.mfa.gov.ua/ua/ukraine-eu/sectoral-dialogue/transport>.
13. Міжнародна технічна допомога ЄС у сфері транспорту // Офіційний сайт Міністерства інфраструктури України [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://mtu.gov.ua/content/mizhnarodna-tehnicna-dopomoga-es-u-sferi-transportu.html>.

## REFERENCES

1. Ustenko M. O. Aktual'nist' formuvannja transportno-logistychnyh system v umovah jevrintegracii' / M. O. Ustenko // *Visn ekon. transp. i prom-sti.* — 2015. — № 49. — S. 207–210.
2. Bojko O. V. Rynok transportnyh poslug: osnovy metodologii' rozvytku : monograf. /O. V. Bojko. — K. : Kondor, 2014. — 494 s.
3. Bragins'kyj V. V. Rozvytok transportno-logistychnoi' systemy jak forma realizacii' tranzynogo potencialu Ukrai'ny / V. V. Bragins'kyj // *Derzhavne upravlinnja: teorija i praktyka.* — 2011. — № 2 [Elektronnyj resurs]. — Rezhym dostupu : <http://www.academy.gov.ua/ej/ej14/index.htm>.
4. Irtyshheva I. O. Struktura transportno-logistychnoi' systemy Ukrai'ny / I. O. Irtyshheva, S. M. Minakova, O. A. Hrystenko // *Global'ni ta nacional'ni problemy ekonomiky.* — 2015. — № 4. — S. 146–149.
5. Myhajlychenko K. M. Vidnovlennja tranzynogo potencialu jak chynnyk pid- vyshhennja konkurentospromozhnosti Ukrai'ny / K. Myhajlychenko // *Strategichni priorityety.* — 2015. — № 4. — S. 59–65.
6. Popova N. V. Transportno-logistychna systema: definicija ta skladovi / N. V. Popova // *Biznes Inform.* — 2016. — № 1. — S. 169–174.
7. Sokolova O. Je. Teoretyko-metodologichni osnovy formuvannja transportno-logistychnoi' systemy Ukrai'ny [Elektronnyj resurs] / O. Je. Sokolova. — Rezhym dostupu : <http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/PPEI/article/view/182/173>.
8. Chernjavs'ka T. A. Strategichni naprjamy rozvytku transportno-komunikatyvnoi' systemy Ukrai'ny v konteksti zabezpechennja nacional'noi' bezpeky i samodostatnosti / T. Chernjavs'ka // *Ekon. visn. Nac. girn. un-tu.* — 2015. — № 3. — S. 68–76.
9. Zajceva I. Ju. Finansovo-pravovi aspekty procesu integracii' Ukrai'ny do Trans- Jevropejs'koi' transportnoi' merezhi TEM-T / I. Ju. Zajceva // *Visn. ekon. transp. i prom-sti.* — 2014. — № 46. — S. 223–227.
10. Sadlovs'ka I. P. Rozvytok nacional'noi' transportnoi' merezhi Ukrai'ny ta i'i' integracija do prioritytnyh transportnyh merezh JeS / I. P. Sadlovs'ka // *Zb. nauk pr. Derzh. ekon.- tehn. un-tu transp.* — 2015. — № 31. — S. 16–26.
11. Tkach O. V. Formuvannja jedynoi' logistychnoi' systemy: vazhlyva skladova jevro- integracijnyh procesiv / O. V. Tkach, I. A. Voloshhuk // *Nauk visn. Herson. derzh. un-tu.* — 2014. — № 9. — S. 208–212. — (Serija «Ekonomika»).
12. Spivrobotnyctvo Ukrai'na – JeS v sferi transportu // Oficijnyj sajt Predstavnytva Ukrai'ny pry Jevropejs'komu Sojuzi ta Jevropejs'komu Spivtovarystvi z atomnoi'energii' [Elektronnyj resurs]. — Rezhym dostupu : <http://ukraine-eu.mfa.gov.ua/ua/ukraine-eu/sectoral-dialogue/transport>.
13. Mizhnarodna tehnicna dopomoga JeS u sferi transportu // Oficijnyj sajt Ministerstva infrastruktury Ukrai'ny [Elektronnyj resurs]. — Rezhym dostupu : <http://mtu.gov.ua/content/mizhnarodna-tehnicna-dopomoga-es-u-sferi-transportu.html>.

**S. V. Kozak, Transport efficiency, project analysis and potential of transport enterprises.**

The article discusses the main methodical approaches to evaluating the efficiency of using the potential of transport enterprises thanks to the project analysis. Evaluation of the effectiveness of project solutions, stages of potential formation, ensuring efficiency involves solving the following tasks: determining the sufficient value of all potential components, harmonizing their structure. The key component of the balanced formation of the potential of a transport enterprise is the provision of a sufficient amount and optimization of the reserve of transport capabilities.

Increasing the efficiency of using the potential of transport enterprises thanks to the conducted design analysis helps to reduce the amount of their total costs, increase profitability, ensures stable and balanced development. And it also helps to evaluate the effectiveness of project solutions and calculate the social indicators of the project, to improve the functioning of the transport network. At the stage of potential formation, ensuring efficiency involves solving the following tasks: determining the sufficient value of all components of the potential, harmonizing their structure. The key component of the balanced formation of the potential of a transport enterprise is the provision of a sufficient amount and optimization of the reserve of transport capabilities. To do this, it is necessary to calculate the changes in the total time of movement of vehicles on the network, calculate the change in transport and operating costs and the change in the total mileage of vehicles on the network. Optimizing the reserve of transportation opportunities is based on forecasting the amount of demand for transportation with a high level of reliability and efficiency. It is proposed to determine the forecast value of demand for transportation taking into account the appropriate system of factors influencing the volume of transportation using the technology of non-uniform rational B-splines (nurbs technology).

**Key words:** efficiency, enterprise potential, project analysis, productivity, cost, transport process, inventory management, time, investment, innovation, commercial activity.

*КОЗАК Світлана Володимирівна*, кандидат економічних наук, доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу Національний університет водного господарства та природокористування e-mail: [svetakoza1971@ukr.net](mailto:svetakoza1971@ukr.net), <http://orcid.org/0009-0006-3204-1861>

*Svitlana KOZAK*, Doctor of Economics, Associate Professor of the department of transport technologies and technical service National University of Water Management and Nature Management e-mail [svetakoza1971@ukr.net](mailto:svetakoza1971@ukr.net), <http://orcid.org/0009-0006-3204-1861>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1360

Козак С.В.

*Національний університет водного господарства та природокористування*

## ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ ТА РИЗИКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МІЖНАРОДНИХ ТРАНСПОРТНИХ КОРИДОРІВ

В умовах значного поширення процесів глобалізації та інтернаціоналізації відбувається перехід до нового рівня міжнародних економічних відносин. Це стало одним із ключових моментів для підвищення ефективності роботи транспорту. При поступовому зникненні осі геополітичної конфронтації по лінії "Захід-Схід" на поверхню міжнародного життя впливають більш глибокі форми глобальних взаємодій. Іноді говорять про нові форми протистоянь по лінії "багаті (розвинені) країни" - "бідні країни", "Південь -Північ" тощо.

Досить тривалий час ядром світової господарства виступала економіка Сполучених Штатів. Однак, останнім часом багато експертів висловлюють думку про можливість втрати Америкою своєї світової гегемонії та формування багатопольного світу.

У балансі сил на світовій арені, основними потенційними конкурентами США виступають Китай, Індія, Бразилія, кожна з яких прагне посісти належне місце у глобальній політиці, економіці та фінансовій системі, у яких для цього є всі передумови. Золотовалютні запаси Китаю перевищують трильйон доларів, промислове виробництво незважаючи на вихід з глобальної кризи, продовжує розвиватися високими темпами. Не менш вражаючі досягнення демонструє Індія, що приділяє більшу увагу на розвиток сектору високих технологій. За прогнозами експертів, у тому числі й американських, до 2025 року Пекін та Делі за своїм економічним розвитком вийдуть на друге й четверте місце на планеті.

Згідно з представленим у Давосі рейтингом Edelman Trust Barometer, країни, що розвиваються після кризи показують настільки ж різкий розігрів, як і спад в самому його початку. Тільки через 10 років економіка країн, що розвиваються перевищить масштаб економіки США (\$ 20 трлн.). Китай - головна інтрига глобальних фінансів на нинішньому етапі - вже обігнав Світовий банк за 7обсягом кредитування країн, що розвиваються і є найбільшим кредитором США. У 2009 р. зростання ВВП КНР склав майже 10%, в результаті чого країна вийшла на друге місце в світі за паритетом купівельної спроможності та за абсолютним обсягом ВВП[2], а за експортом продукції вийшов на перше місце в світі (1 трлн.дол.).

Такий швидкий прорив Азіатського світу в умовах виходу з світової кризи, свідчить про втрату Сполученими Штатами ролі наддержави на світовій торговій арені та можливість зміщення світового центру торгівлі.

Однак, як явище в світовій економіці, на думку багатьох вчених, світова фінансова криза, яка супроводжувалася різким спадом промислового виробництва, рекордним зростанням цін на нафту та нафтопродукти, а відповідно і енергоносії, зростанням безробіття та зниженням рівня життя населення, забезпечила вихід на світовий паливно-енергетичний ринок таких країн як Іран, Ірак – основних постачальників енергоносіїв на світовий ринок .

Адже в умовах боротьби за першість в світі, головним питанням світової спільноти залишається проблема контролю над енергетичними ресурсами та шляхами їх транспортування. За контроль над джерелами їх видобутку й шляхами постачання ведуть постійну жорстоку конкурентну боротьбу великі світові держави, могутні транснаціональні корпорації, оскільки володіння ними дає право не тільки на їх використання, а й позбавлення таких можливостей конкурента, обмежуючи перспективи його подальшого економічного зростання. Такий розвиток подій на світовій торговій арені відкриває нові можливості для країн-транзитерів, в тому числі і України.

Посилення ролі України пов'язане, в першу чергу, тим, що завдяки своєму географічному положенню впродовж цілого тисячоліття слугує містком між Європою і Азією, між Північчю та Півднем. Крім того, вона вкрита густою сіткою транспортних шляхів і має розвинутий сучасний рухомий склад усіх видів транспорту, що надає їй можливість реалізації свого транзитного потенціалу.

**Ключові слова:** ефективність, транспорт, транзит, ризик, міжнародні перевезення, транспортний процес.

### ВСТУП

Ефективність роботи транспортної системи України, особливо на міжнародному ринку, має перелік різноманітних ризиків при використанні транспортних коридорів. Розвиток транспортної системи можливе лише за умови забезпечення ефективного використання потенціалу транспортних підприємств та врахуванню всіх ризиків. Саме наявність достатньої, обґрунтованої інформації зможе збалансувати ефективну роботу транспортного підприємства при використанні міжнародних транспортних коридорів, а це забезпечить необхідну динаміку усіх показників його діяльності, а також збалансує всі ризики пов'язані з оцінкою ефективності проектних рішень та розрахунків соціальних показників проекту, удосконалення функціонування транспортної мережі

Вирішення задачі підвищення ефективності роботи транспортних підприємств є актуальним і важливим, оскільки сприяє розвитку зовнішніх економічних відносин та утягуючи в сферу

міжнародних економічних відносин усе нові і більш віддалені, складні ринки товарів знижуючи величини загальних витрат транспортних підприємств, зростанню їхньої прибутковості, забезпечує стабільний та збалансований розвиток. Тому дослідження проблемних питань щодо ефективної роботи транспорту України та використання міжнародних транспортних коридорів є актуальним.

### **АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Проблемам забезпечення ефективності функціонування транспортної системи України присвячено ряд праць вітчизняних вчених, а саме М.І.Данька, В.Л.Диканя, Н.В.Якименко, Ю.В.Соболева, Л.О.Позднякової, О.Г.Дейнеки, Ю.С.Бараша, Л.Ю.Яцківського, В.Д.Зеркалова [3-8], Н.В.Чебанової, О.Г.Кірдіної та ін. Однак, незважаючи на те, що проблемам транспортної системи нашої держави приділялась величезна увага, в умовах трансформації світового господарства та переділу світового транспортного ринку питання забезпечення її ефективного функціонування потребують подальшого вивчення.

Відаючи належне результатам їх досліджень, слід зазначити, що ціла низка проблем управління потенціалом транспортного підприємства, пов'язаних із забезпеченням його ефективного використання залишаються недослідженими. Зокрема, питання формування достатньої величини та раціональної структури виробничо-технологічного потенціалу транспортних підприємств.

### **ЦІЛІ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Метою статті є вивчення сучасного стану транспортної системи України та виявлення основних ризиків на шляху успішного її виходу на світовий транспортний ринок як могутньої транзитної держави.

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

В зв'язку з процесами глобалізації відбуваються зміни в транспортно-економічних зв'язках країн, які вимагають застосування нових підходів до розвитку транспортної галузі, пошук нових технологій та альтернативних раціональних шляхів перевезення пасажирів та вантажів, що безумовно призводить до перерозподілу сегментів транспортного ринку, формуючи його нову структуру. Транспорт - галузь нематеріального виробництва. Але він здійснює дуже великий вплив на покращення транспортної активності держави, забезпечуючи тим самим її економічне зростання, а з іншого, сприяє розвитку зовнішньоекономічних відносин, оскільки підвищення продуктивності транспортних систем приводить до скорочення питомих транспортних витрат, сприяючи розвитку зовнішніх економічних відносин та утягуючи в сферу міжнародних економічних відносин усе нові і більш віддалені, складні ринки товарів. З іншого боку, транспорт, виступаючи інфраструктурною галуззю, перебуває в значній залежності від промислового виробництва та сільського господарства, оскільки він виступає як споживач продукції, так і основний засіб її транспортування. Тому можна говорити про те, що існує дуже багато ризиків пов'язаних з реалізацією національних інтересів та забезпечення належного місця країни в системі міжнародних відносин.

Україна має дуже розвинуту транспортну систему, до складу якої входять 22,3 тис.км залізничних колій, 169,5 тис.км автомобільних доріг, майже 3 тис.км внутрішніх водних шляхів, 18 морських та 10 річкових портів, 36 аеропортів[9]. При цьому кожен із цих видів транспорту володіє власною унікальністю та техніко-експлуатаційними особливостями. Але сьогодні країна знаходиться у стані війни, тому використовувати аеропорти неможливо, тому основні ризики міжнародних перевезень лягли на інші види транспорту.

Сучасний стан транспортної системи України не відповідає вимогам світового транспортного ринку, в результаті чого наша держава поступово втрачає свій транзитний потенціал.

Володіючи розгалуженою мережею залізничних магістралей, за експлуатаційною довжиною яких посідає 4-е місце в Європі після Німеччини, Франції і Польщі та утримуючи друге місце за обсягом перевезення вантажів, Україна значно відстає від європейських країн за рівнем технічного розвитку транспортного комплексу.

Технологічні потужності національної транспортної інфраструктури попри застарілість дозволяють щороку перевозити залізницями, внутрішнім водним та автомобільним транспортом і переробляти в портах понад 60-70 млн. тонн та доставляти трубопровідним транспортом близько 200 млн. тонн транзитних вантажів. Однак, фактичні обсяги транзиту становлять лише 200 млн. тонн, тобто наявний транзитний потенціал України використовується на 70 відсотків, а на транспорті загального користування (без трубопроводів) - лише на 50 відсотків[11].

Такі труднощі в реалізації Україною своєї ролі транзитної держави викликані, перш за все, відсутністю тривалий час державної інвестиційної підтримки транспортних галузей, в результаті чого останні втратили свої провізні спроможності.



На сьогоднішній день на залізницях України особливо гостро стоїть проблема забезпечення рухомим складом, оскільки рівень зносу останніх давно досяг критичного і становить більше 70%, потребують заміни та реконструкції 30 % верхньої будови колії, 40 % систем тягового суцільного енергозабезпечення та понад 11 % дефектних мостів, інших штучних споруд [12]. Актуальним залишається і питання різної ширини колії, що значно ускладнює процедуру перетинання кордону і вимагає утримання на західних кордонах країни 14 спеціально обладнаних станцій, 11 станцій, де здійснюється перевантаження імпортованих вантажів, та 8 пунктів перестановки вагонів на візки західноєвропейської колії.

Для залучення додаткового обсягу транзитних вантажів та збільшення пропускної спроможності українських залізниць необхідно вирішити проблему впровадження швидкісного та високошвидкісного руху (швидкість руху пасажирських поїздів повинна сягати 300-350 км, а вантажних—200-250 км), досягнення чого можливе лише за рахунок розмежування руху пасажирських та вантажних поїздів. Але це має дуже багато ризиків в виконанні транспортних процесів.

Також необхідно впроваджувати різноманітні системи інформаційного обслуговування. Це допомогло би здійснювати зберігання та обробку інформації про вантажі, визначило б потреби в транспортних засобах, забезпечувало б контроль під час проходження вантажів. Також є потреба в організації транспортно-логістичних центрів, які б забезпечували обробку, складування та зберігання вантажів, дозволило б наблизити якість обслуговування вантажів до європейського рівня.

Автомобільний транспорт виступає ключовим елементом транспортної системи України. На його долю у 2019 році припадало 3354,20 тис.т транзитного вантажу[13], а у загальній структурі вантажообігу- 2 місце після залізничного (8,9%) за винятком трубопровідного, здійснюючи доставку в комплексі «від дверей до дверей» та гарантуючи практично повне їх збереження. Разом з тим, автомобільні дороги України не відповідають європейським стандартам щодо багатьох показників, зокрема таких, як: швидкість пересування, навантаження на вісь, забезпеченість сучасними дорожніми знаками і розміткою, необхідною кількістю пунктів технічної та медичної допомоги, харчування і відпочинку, заправки паливом і мастилом, телефонного зв'язку тощо. Практично відсутні дороги 1 категорії з багаторядним рухом на високих швидкостях. Значного поліпшення потребує матеріально-технічна база організацій, які здійснюють розвиток і обслуговування автомобільної транспортної мережі [14].

Важливу роль в реалізації Україною функції транзитної держави відіграє і водний транспорт. Щорічно в портах переробляється близько 60 тис.т вантажів [9], хоча в структурі вантажообігу на його долю приходить лише 2 %. У даний час гостро постало завдання оновлення флоту - з огляду на значне моральне старіння і фізичне спрацювання суден (понад 15 років), а також їх малотоннажність (її середній показник є в 3-5 разів меншим від аналогічного у США, Японії, Греції та Ліберії). Його вирішення вимагає реструктуризації суднобудівної галузі, налагодження випуску суден різного призначення на конверсійних заводах[9].

Однак не достатньо лише того, щоб вантажі швидко та якісно перевалювалися в портах, перш за все необхідно забезпечити своєчасну доставку цих вантажів до кінцевого місця призначення, що можливо лише шляхом тісної взаємодії залізничного, морського та автомобільного видів транспорту. Проявом такої співпраці є організація контейнерних, контрейлерні, мультимодальних та інтермодальних перевезень. За оцінкою комісії ЄС найуспішнішим проектом 2019 року був визнаний поїзд комбінованого транспорту «Вікінг», протяжністю руху якого складає 1753 км, що з'єднав чорноморські порти Іллічівськ та Одеса з балтійською торговельною гаванню «Клайпеда».

Успішно функціонує і контрейлерний поїзд «Зубр» на лінії Таллінн - Рига . У 2019 році розпочав функціонування і поїзд для контрейлерних та контейнерних перевезень «Ярослав» за маршрутом Київ - Славкув (Польща) [15], у складі якого налічується 15 платформ з контрейлерами, 12 платформ з контейнерами та 2 пасажирських вагони [16].

Але, лідируючі позиції в забезпеченні реалізації нашої державою транзитної функції належить трубопровідному транспорту. Україна виступає найбільшим в світі транзитером 5 з яких виходить за межі України, та 12 основних нафтопроводів ( «Дружба», Одеса – Броди та ін.).

Великі ризики у трубопровідному транспорту становить значне фізичне старіння його господарства. На сьогоднішній день потребують заміни сотні кілометрів магістральних трубопроводів і десятки газоперекачувальних станцій та діагностики трубопроводів. Другим і можливо найбільш важливим ризиком для трубопровідного господарства України є втрата частини транзитного газу, який постачається в Європу.



Особливе занепокоєння викликало наміри спорудження альтернативного газопроводу в обхід території України, а саме газопроводу «Південний потік», який пролягає по дну Чорного моря в Болгарію, а звідти в Італію і через Балкани в Австрію. Другий газопровід, який будується в обхід України з півдня - «Набукко» для постачання туркменського газу до Європи в обхід Росії та України і реалізується за участю шістьох енергетичних компаній Австрії, Німеччини, Болгарії, Угорщини, Румунії та Туреччини (див.рис.1)[18].

При цьому не лише технічні проблеми трубопровідного транспорту, а ще й нестабільна економічна та політична ситуація в країні значно псує імідж української газотранспортної системи, що в кінцевому результаті може призвести до втрати Україною свого геополітичного впливу на регіон. За таких умов лише будівництво та реконструкція газопроводів і компресорних станцій дозволять підвищити потужність і надійність діючої газотранспортної системи України та забезпечити виконання нею своєї транзитної функції. З метою покращення транзитного іміджу України необхідно особливо увагу приділити розбудові на території нашої держави мережі МТК, оскільки їх розвиток має для країни геостратегічне значення.



Рисунок1 – Газопровід «Набукко».

Загалом територією України проходить такі міжнародні транспортні коридори: № 3, 5, 7, 9, ОЧЕС, Європа-Азія, ТНТК, Балтика-Чорне море.

Коридор №3 маршрут якого пролягає по території 3 держав (Україна, Німеччина, Польща), по українській території проходить через великі транспортні вузли Львів та Київ і ще в 2011 році забезпечував сумарні обсяги перевезень 53,4 млн. тонн вантажі автомобільним і залізничним транспортом, що становить 39% загальних міжнародних перевезень України (при цьому в обсяг міжнародних перевезень включається експорт та імпорт України і транзит через Україну вантажів інших країн)[19].

Протяжністю 1595 км, в тому числі по Україні - залізницею - 266 км. – автомобільним транспортом -338,7 км.(в тому числі відгалуження 47,2 км), коридор №5: зв'язує Італію, Словенію, Угорщину, Словаччину та Україну, ще на початку свого функціонування забезпечував обсяги перевезень в 15.2 млн. тонн вантажів, що становило 33% загального міжнародного потоку України[19].

Коридор «Дунайський» або №7 до якого відносяться українські порти Рені та Ізмаїл, має стратегічне значення для регулярних міжнародних комбінованих перевезень.

Коридору №9 –Гельсінкі – Київ – Одеса – Фінляндія, Литва, Україна, Молдова, Румунія, Болгарія, Греція), ділянки якого забезпечували перевезення 79,3 млн. тонн вантажів, або 57% загального міжнародного потоку України, визначений як одним з першочергових напрямків розбудови на території України мережі МТК[19]

Розбудова мережі МТК має стратегічне значення для розвитку транспортного та промислового комплексу України, оскільки транспортні шляхи, які пролягають через нашу державу, забезпечують найбільш оптимальні, з точки зору транспортних витрат, шляхи сполучення регіонів Середньої Азії, Кавказу, Західної та Північної Європи.

Особливо пріоритетне значення для України має МТК Європа – Азія, який з'єднує Німеччину, Австрію, Чехію, Словаччину, Угорщину, Польщу, Україну, країни Середньої Азії та Китай і проходить через регіональні промислово-економічні вузли України: Київський, Луганський, Донецький, Дніпропетровський, Черкаський, Кіровоградський, Житомирський, Рівненський, Вінницький, Тернопільський, Хмельницький, Львівський, а також крупні центри: Львів, Київ, Дніпропетровськ, виступаючи для останніх важливим джерелом експорту товарів та послуг, валютних надходжень до бюджету та створення додаткових робочих місць[4].

Таким чином, мережа МТК створить всі передумови для виходу України як активного гравця ринку міжнародного транзиту, за умови проведення комплексу заходів, спрямованих на нормативно-правове забезпечення транзиту вантажів територією України, адаптацію національного законодавства до міжнародного транспортного права, техніко-технологічну модернізацію великої транспортної інфраструктури міжнародного значення та пунктів пропуску через державний кордон, удосконалення тарифно-цінової та податкової політики у сфері міжнародного транзиту, впровадження логістичних технологій в організацію транзитних вантажних, інформаційних та фінансових потоків, а також державне стимулювання залучення додаткових обсягів вантажів дотранзиту через Україну.

За таких умов особлива увага повинна приділятися й ефективній взаємодії різних видів транспорту, адже досить часто перевезення одним видом транспорту стає просто неможливим і вимагає залучення інших видів, досягнення чого можливе лише за рахунок сумісного планування транспортних процесів на різних видах транспорту, переходу на інформаційно-логістичні методи та обслуговування вантажопотоків, що сприятиме усуненню перебоїв в переміщенні товарів і транспортних засобів від пункту відправлення до пункту призначення та забезпечить своєчасність доставки вантажів.

### **ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Таким чином, вирішення задачі підвищення ефективності роботи транспортних підприємств є актуальним і важливим, оскільки сприяє розвитку зовнішніх економічних відносин та утягуючи в сферу міжнародних економічних відносин усе нові і більш віддалені, складні ринки товарів знижуючи величини загальних витрат транспортних підприємств, зростанню їхньої прибутковості, забезпечує стабільний та збалансований розвиток. Тому дослідження проблемних питань щодо ефективної роботи транспорту України та використання міжнародних транспортних коридорів є актуальним.

### **ВИСНОВКИ**

В умовах нової розстановки сил на світовій арені та випереджаючого розвитку країн Азії, Україна має неабиякі можливості реалізації свого транзитного потенціалу. Так з метою недопущення транзитної ізоляції України та забезпечення ефективного функціонування її транспортної системи необхідно виконати ряд завдань передбачених Концепцією розвитку транспортно-дорожнього комплексу України, які спрямовані на:

- оновлення і модернізацію основних фондів, розвиток систем телекомунікації;
- розвиток мережі міжнародних транспортних коридорів;
- поліпшення інвестиційного клімату;
- розвиток швидкісного залізничного сполучення;
- перехід на ресурсозберігаючі технології;
- впровадження технологій перевізного процесу, орієнтованих на високу якість транспортних послуг і зниження ресурсоємності перевезень, розширення комплексу сервісних послуг з урахуванням зростання вимог користувачів до їх якості, перехід на систему гарантованого забезпечення перевезень за договорами і довгостроковими контрактами, організація системи комплексного транспортного обслуговування, що базується на широкому застосуванні сучасних засобів інформатизації, створення та розвиток з цією метою національних систем керування пасажирськими та вантажними перевезеннями;
- створення гнучкої системи регулювання транспортних тарифів, яка б враховувала інтереси споживачів транспортних послуг і транспортних організацій. Розробка та реалізація відповідно до вимог ринкової економіки механізмів прямої, адресної компенсації пільг на проїзд окремих категорій пасажирів на всіх видах транспорту;
- уніфікацію національної нормативно-правової бази вітчизняного транспорту і транспортної діяльності в Україні у відповідності з міжнародно-правовими нормами;
- впровадження комбінованих перевезень, інформаційних та логістичних технологій;

- забезпечення постійного зростання показників якості транспортного обслуговування населення та ефективності використання рухомого складу;  
- суттєве поліпшення експлуатаційного стану автодоріг та штучних споруд, будівництво нових автомагістралей та ін. [20].

Успішне виконання цієї Концепції дозволить Україні забезпечити ефективне функціонування її транспортної системи та закріпитися на міжнародному транспортному ринку в якості надійного транзитера, зробивши транзит вагомим джерелом прибутку для бюджету.

#### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1.Зленко А. Україна у мінливому світі [Текст]/А.Зленко//Газета «Дзеркало тижня.Україна». -№31.-2019.- С.1-7.
- 2.Данько М.І., Дикань В.Л., Якименко Н.В. Забезпечення конкурентоспроможності промислових підприємств в умовах міжнародних транспортних коридорів[Текст]:монографія/М.І.Данько, В.Л.Дикань, Н.В.Якименко / - Харків: УкрДАЗТ, 2018. -с.24
- 3.Бараш Ю.С. Управління залізничним транспортом країни [Текст]: монографія /Ю.С.Бараш/ Дніпропетр. нац. універс. залізн. транспорту ім.ак.В.Лазаряна,2016. –264с.
- 4.Яцківський Л.Ю., Зеркалов Д.В. Загальний курс транспорту[Текст]:Навчальний посібник./Л.Ю.Яцківський,Д.В.Зеркалов/ – Кн. 1. – К.: Арістей, 2017. –544с.
- 5.Чебанова Н.В. Ефективне управління економічною діяльністю підприємств залізничного транспорту та його вплив на конкурентоспроможність галузі [Текст] /Н.В.Чебанова// Вісник економіки транспорту і промисловості -2010.-№29.-С.382-387.
- 6.Кірдіна О.Г. Аспекти впливу залізничного транспорту на економіку України[Текст]/О.Г.Кірдіна// Вісник економіки транспорту і промисловості - 2016.-№29.- С.221-226.
- 7.ХахлюкА.Україна–транзитна держава[Електронний ресурс]Режим доступу: <http://eu2001.narod.ru/1/5.htm>.
- 8.Данько М.І., Дикань В.Л., Дейнека О.Г., Позднякова Л.О., Юрченко Ю.М.Економіка міжнародних транспортних перевезень [Текст]: Підручник / М.І.Данько, В.Л. Дикань, О.Г. Дейнека, Л.О.Позднякова, Ю.М.Юрченко/-Х.:ТОВ «Олант», ЧП Чиженко, 2014.-352с.
- 9.Закон України Про Комплексну програму утвердження України як транзитної держави у 2012-2020 роках [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://zakon.nau.ua/doc/?uid=1087.941.0>
- 10.ЗадворновВ.Здобутки, наміри та перешкоди[Текст]/В.Задворнов // Транспорт. - 2018. -№ 10. -С.12 -20.
- 11.Вісник економіки транспорту і промисловості № 33, 2018 Проблеми транспортного комплексу України
- 12.Офіційний сайт державного комітету статистики України [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
- 13.П'ятаченкоГ.Г.Транспортна система України в контексті європейської інтеграції [Текст]/Г.Г.П'ятаченко/- К. "Наукова думка", 2018.
- 14.Офіційний сайт Міністерства транспорту України [Електронний ресурс]// Режим доступу: <http://www.mintrans.gov.ua/>.
- 15.Пероганич Ю.М. Состояние и перспективы правового урегулирования железнодорожного сообщения между Украиной и Польшей в контексте европейских транспортных коридоров //Konferencja Naukowo - Techniczna Wykorzystanie kolejowych przejść granicznych pomiędzy Ukrainą i Polską w aspekcie europejskich korytarzy transportowych. Kielce -Ameliówka - Cedzyna, Polska, 11-12 czerwca 2016. – Lublin: WDO PKP.[Текст]/Ю.М.Пероганич/ – 2016. – С.55-64.
- 16.Виворіт газової війни [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://vidgolos.com/1056-bb-vivorit-gazovoyi-vijjni.html>
- 17.Саліженко О. В обхід України можливості, які втрачаємо. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://novynar.com.ua/analytics/economics/90536>
- 18.Кутах Ю. Транзитні зв'язки України і міжнародні транспортні коридори [Текст]// Економіст. - 2012. - №1. - С. 50-57.
- 19.Концепція розвитку транспортно-дорожнього комплексу України на середньостроковий період та до 2020року [Текст]Режим доступу [http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art\\_id=32874&cat\\_id=3185475](http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=32874&cat_id=3185475)

#### REFERENCES

- 1.Zlenko A. Ukraine in a changing world [Text]/A. Zlenko//Newspaper "Dzerkalo tyzhnia.Ukraine".-№31.- 2019.-P.1-7.
- 2.Danko M.I., Dykan V.L., Yakymenko N.V. Ensuring the competitiveness of industrial enterprises in the conditions of international transport corridors [Text]: monograph / M.I. Danko, V.L. Dykan, N.V. Yakymenko / - Kharkiv: UkrDAZT, 2018. -p.24
- 3.Barash Yu.S. Management of the country's railway transport [Text]: monograph /Y.S.Barash/ Dnipropetr. national the universe iron of transport named after V. Lazaryan, 2016. -264 p.
- 4.Yatskivskiyi L.Yu., Zerkalov D.V. General course of transport[Text]: Study guide./L.Yu.Yatskivskiyi,

D.V.Zarkalov/ – Book. 1. - К.: Aristei, 2017. -544p.

5.Chebanova N.V. Effective management of the economic activity of railway transport enterprises and its impact on the competitiveness of the industry [Text] /N.V. Chebanova// Herald of transport and industry economics -2010.- №29.-P.382-387.

6.Kirdina O.H. Aspects of the influence of railway transport on the economy of Ukraine[Text]/O.G. Kirdina// Bulletin of the economy of transport and industry - 2016.-№29.- P.221-226.

7.Khakhlyuk A. Ukraine – transit state [Electronic resource] Mode of access: <http://eu2001.narod.ru/1/5.htm>.

8.Danko M.I., Dykan V.L., Deyneka O.G., Pozdniakova L.O., Yurchenko Yu.M. Economics of international transport [Text]: Textbook / M.I. Danko, V.L. Dykan, O.G. Deineka, L.O. Pozdniakova, Yu.M. Yurchenko / -Kh.: TOV "Olant", ChP Chizhenko, 2014.-352p.

9.Law of Ukraine On the Comprehensive Program for the Approval of Ukraine as a Transit State in 2012-2020 [Electronic resource] Access mode: <http://zakon.nau.ua/doc/?uid=1087.941.0>

10.ZadvornovV. Achievements, intentions and obstacles [Text]/V. Zadvornov // Transport. - 2018. - No. 10. - P.12 -20.

11.Bulletin of the Economy of Transport and Industry No. 33, 2018 Problems of the transport complex of Ukraine

12.Official website of the State Statistics Committee of Ukraine [Electronic resource] Access mode: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.

13.H.G. Pyatachenko. The transport system of Ukraine in the context of European integration [Text]/H.G. Pyatachenko/- K. "Scientific opinion", 2018.

14.Official website of the Ministry of Transport of Ukraine [Electronic resource]// Access mode: <http://www.mintrans.gov.ua/>.

15.Yu.M. Peroganych Status and prospects of legal regulation of railway communication between Ukraine and Poland in the context of European transport corridors. Kielce -Ameliówka - Cedzyna, Polska, June 11-12, 2016. Lublin: WDO PKP. [Text]/Y.M. Peroganych/ – 2016. – C.55-64.

16.The reverse of the gas war [Electronic resource] Access mode: <http://vidgolos.com/1056-bb-vivorit-gazovoyi-vijjni.html>

17.Salizhenko O. Bypassing Ukraine, the opportunities we are losing. [Electronic resource] Access mode: <http://novynar.com.ua/analytics/economics/90536>

18.Kutakh Yu. Transit connections of Ukraine and international transport corridors [Text]// Economist. - 2012. - #1. - P. 50-57.

19.Concept of the development of the transport and road complex of Ukraine for the medium-term period and until 2020 [Text] Access mode [http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art\\_id=32874&cat\\_id=3185475](http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=32874&cat_id=3185475)

#### **S. V. Kozak, Efficiency of transport of Ukraine and risks when using international transport corridors.**

The common characteristics of the supply chains efficiency are a high level of economic efficiency and the necessary levels of stability and quality of the all processes operation in it, including the transportation efficiency. When the transport processes in the supply chains is evaluated it is necessary to consider the indicators which are critical to maintain the required service level and most fully characterize the results of the executed work from the consumer's point of view. The most important factors in this meaning are the transportation time, the transportation cost and productivity.

The basic methodological approaches of the assessing supply chain operation efficiency has been reviewed in this article. The improvement of the mathematical models of the production transport indicators impact assessment on the transport costs size in the supply chains have been done. A methodological approach that allows to link the components of the inventory management efficiency in the supply chains with the transport process efficiency has been developed. The main factors which have influence on the transportation duration have been taken into account.

Key words: efficiency, supply chain, productivity, cost, transport process, inventory management, time.

*КОЗАК Світлана Володимирівна*, кандидат економічних наук, доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу Національний університет водного господарства та природокористування e-mail: [svetakozak1971@ukr.net](mailto:svetakozak1971@ukr.net), <http://orcid.org/0009-0006-3204-1861>

*Svitlana KOZAK*, Doctor of Economics, Associate Professor of the department of transport technologies and technical service National University of Water Management and Nature Management e-mail [svetakozak1971@ukr.net](mailto:svetakozak1971@ukr.net), <http://orcid.org/0009-0006-3204-1861>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1361



Кочина А.А., Азімов К. Н.  
*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТОКУ РАЗОВИХ ЗАМОВЛЕНЬ НА РИНКУ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У МІЖМІСЬКОМУ СПОЛУЧЕННІ З ВИКОРИСТАННЯМ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПАРСИНГУ

В роботі описано підходи до створення програмного продукту для автоматизованого збирання інформації та її обробки. Розглянуто питання автоматизації збирання разових заявок на міжміські вантажні перевезення та аналізу попиту на здійснення перевезень. Наведено важливі для розробки визначення парсингу, термінів якості програмного забезпечення, дефекту та збою програми. Розглянуто переваги та рекомендації щодо автоматизації дослідження.

Розроблено система автоматизованого парсингу, яка виконує структурування інформації веб-сторінки і надає їх у готовому для аналізу вигляді. В даній роботі під поняттям парсера розуміється система автоматизованого збору заявок на разові перевезення вантажів у міжміському сполученні. Вона виконує зчитування та обробку інформації до стану, придатного для аналізу. Було описано етапи проектування парсера, визначено головні критерії відбору заявок. Основна функція програмного продукту полягає у зчитуванні інформації про разові замовлення на вантажні перевезення з веб-сайту della.ua і її розміщення у файлових носіях інформації на локальному комп'ютері. Для перевірки працездатності програмного продукту та проведення аналізу ринку вантажних перевезень було організовано спостереження за попитом на міжміські вантажні перевезення на протязі одного тижня. В результаті було сформовано масиви даних з докладною інформацією про кожний вид вантажу та структуру замовлення. Отримані дані мали дефекти, що проявлялось в дублюванні заявок. Для видалення даного дефекту та зменшення похибки при аналізі даних було проведено видалення дублюючих записів.

Розробка системи автоматизованого парсингу дозволило отримати матрицю разових замовлень на регіональному рівні України, яка характеризує попит на вантажні перевезення на ринку вантажних перевезень в міжміському сполученні. Проведено оцінка потенційних замовлень, аналіз ринку, планування маршрутів, інтеграція в бізнес-процеси підприємства, які пов'язані з обробкою та аналізом інформації.

**Ключові слова:** парсинг, разові замовлення, міжміське сполучення, попит, система автоматизованого пошуку даних.

### ВСТУП

Останніми роками суттєво зростає, зважаючи на кризові явища в економіці країни та посилення конкуренції на внутрішньому та зовнішньому ринках, застосування вітчизняними підприємствами комплексного логістичного підходу до організації перевезень вантажів на міжміських сполученнях. Логістика загалом і транспортна логістика зокрема дають можливість підвищити ефективність вантажних перевезень та зменшити транспортні витрати. Планування доставки товарів можна пояснити забезпеченням гнучкості, щодо реакції на ринковий попит, зменшенням витрат на зберігання продукції, технічною неможливістю створення значних запасів продукції, забезпеченням виконання певних маркетингових стратегій підприємства тощо. У ролі підприємств нерідко виступають транспортні компанії, які надають логістичні послуги і виконують функції перевезення вантажу на потребу замовника. Таким чином, малий та середній бізнеси можуть перенести свої бізнес-процеси стосовно перевезення вантажів на аутсорсингові компанії. В результаті виникає попит на логістичний аутсорсинг[1].

Значним ускладненням під час прийняття рішення про перевезення вантажу є відсутність операторів, які пропонують повний потрібний спектр логістичних послуг у всіх регіонах України на доступних умовах [1]. Для вирішення даної проблеми створюються веб-ресурси, на яких розміщується інформація про разові заявки на автомобільні перевезення. Даний підхід створює стихійний ринок транспортних послуг, для якого характерно невизначеність та хаотичність виникнення попиту. Тому для утримання ринку та отримання прибутку компаніям доцільно виконувати прогнозування попиту на платформах розміщення разових заявок, враховуючи діяльність конкурентів. При цьому важливо дотримуватись правил конкуренції для уникнення монополії, задоволення потреб ринку та розвитку економіки країни.

Транспортування продукції часто пов'язано із специфікою видів транспорту необхідних для організації перевезень, сезонністю, стану доріг та іншими факторами [2]. Всі зазначені обставини відображаються на вартості перевезення. При розміщенні заявки на транспортні послуги компанія має їх враховувати. Це спонукає проводити дослідження попиту на вантажні перевезення та вести



статистичні розрахунки з залученням інформації про вартість автомобільного обслуговування, стан ринку послуг на вантажні перевезення та іншої інформації. Особливу увагу варто приділити структуруванню інформації, розміщеної на інтернет ресурсі. Дійсно, для доставки вантажу від замовника до вантажоотримувача необхідно володіти інформацією про дату виконання заявки, на яку вантажівку розраховує замовник, тип вантажу, його габарити (вагу та об'єм), місця відправлення та доставки. На основі зазначеної інформації можна розрахувати оптимальний маршрут доставки вантажу та прорахувати вартість доставки [3].

Одним з найкращих просторових та кількісних відображень попиту на міжміські вантажні перевезення є матриця разових замовлень на їх виконання, тому саме її формування в програмному середовищі Microsoft Office Excel є актуальним завданням.

### **АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Визначення стохастичної моделі попиту разових заявок залежить від закону розподілу, за яким відбувається утворення даних заявок [4]. До найбільш поширених розподілів разових заявок є розподіли Пуассона та Ерланга [5]. Кількість заявок на перевезення також може відповідати параметрам марковського процесу.

Для моделювання потоку разових замовлень останнім часом дедалі частіше використовуються методи машинного навчання. Ці методи дозволяють враховувати складні залежності між різними чинниками, які впливають на перевезення.

У найзагальнішому випадку розрізняють два типу машинного навчання: навчання по прецедентах, або індуктивне навчання, і дедуктивне навчання. Оскільки останнє прийнято відносити до області експертних систем, то терміни «машинне навчання» і «навчання по прецедентах» можна вважати синонімами. Цей метод навчання зараз, як прийнято говорити, в тренді, а ось експертні системи переживають кризу. Бази знань, що лежать в їх основі, важко узгоджувати з реляційною моделлю даних, тому промислові СУБД неможливо ефективно використовувати для наповнення баз знань експертних систем.

До типових завдань, які вирішуються експертними системами, відносяться [6]:

- вилучення інформації з первинних даних (таких як сигнали, що надходять від гідролокатора); діагностика несправностей (як у технічні системи, так і в людському організмі);
- структурний аналіз складних об'єктів (наприклад, хімічних з'єднань);
- вибір конфігурації складних багатокомпонентних систем (наприклад, розподілених комп'ютерних систем);
- планування послідовності виконання операцій, що призводять до заданої мети (наприклад, виконуваних промисловими роботами).

Однією з характерних особливостей експертних систем є те, що система, крім виконання обчислювальних операцій, формує певні міркування та висновки, ґрунтуючись на тих знаннях, які вона має. При цьому, знання в системі, як правило, представлені, деякою спеціальною мовою і зберігаються окремо від власне програмного коду, який і формує висновки та міркування, а цей компонент програми прийнято називати базою знань). Базовими функціями експертних систем є придбання знань, а також їх відтворення у вигляді, прийнятному для користувачів даних систем. В даній роботі було розроблено програмний продукт, що побудований на основі експертної системи.

Парсинг дозволяє прискорити процес збирання даних у десятки разів у порівнянні з ручним методом, що відкриває нові можливості для дослідників та експертів [7]. У порівнянні з ручним збиранням інформації, парсинг менш схильний до помилок. Але якщо було допущено неточності на етапі проектування (логічну помилку), це може призвести до спотворення даних та їх знецінення.

Недоліки програмного забезпечення (ПЗ) називають *дефектами* або *багами* (обидва значення рівносильні). Тут важливо пам'ятати, що програмне забезпечення – це дещо більше, ніж просто код [8]. Але спотворення інформації ще не є дефектом програми, а скоріше дефектом самої інформації. Оскільки діяльність програми призвела до дефекту даних, тут говорять про збій роботи програми. Дефект, виявлений під час виконання програми, може викликати відмову окремого компоненту або всієї системи. Дефекти можуть виникати на різних рівнях життєвого циклу програми, і від того, чи будуть вони виправлені та коли, буде напряму залежати якість системи. Збій в роботі програми може бути індикатором наявності в ній дефекту. Враховуючи вище визначені терміни доцільно вважати, що невідповідність отриманих даних до фактичних (розміщених у відкритих джерелах) є збоєм програми. Відповідно, якість програмного забезпечення – парсеру – буде зведена нанівець. Таким чином, для розробки якісного програмного забезпечення для збирання даних (парсеру) необхідно

розуміти або мати уявлення про те, як працюють сервіси, на яких розміщено потрібну інформацію та сам процес парсингу веб-сторінок.

Послуги, які надають компанії по автоматизації збору та аналізу даних є статичними і актуальними лише певний час та мають свою вартість. Тому було розроблено власну систему ПЗ для автоматизації збору даних (парсингу) з метою зменшення витрат на виконання роботи. Щоб автоматизувати парсинг необхідно розуміти, як працює процес парсингу. Навіть якщо ПЗ працює належним чином для підтримання якості ПЗ необхідно перевіряти правильність посилань на веб-ресурси та слідкувати за відповідністю отриманих даних фактичним.

На просторах інтернету можна знайти велику сукупність готових рішень та різноманітних підходів до парсингу даних. Всі вони були написані та функціонують на певній мові програмування. Розглянемо найпопулярніші з них, що використовуються для даних цілей:

Python – це універсальна мова програмування, яка широко використовується для парсингу даних. Існує безліч бібліотек та фреймворків Python, які можна використовувати для парсингу даних із різних джерел.

Java – це об'єктно-орієнтована мова програмування, яка також широко використовується для парсингу даних. Існує безліч бібліотек та фреймворків Java, які можна використовувати для парсингу даних із різних джерел.

C++ – це високопродуктивна мова програмування, яка іноді використовується для парсингу даних з великих обсягів даних.

Perl – це інтерпретована мова програмування, яка часто використовується для парсингу даних із текстових файлів.

R – це мова програмування для статистичного аналізу, яку також можна використовувати для парсингу даних.

Збір даних з веб-сайту, який надає інформацію про потік разових замовлень та створення парсингу для обробки та аналізу даних запропоновано використання мови програмування Python та сторонніх бібліотек. Головною перевагою Python є те, що він йде в пакеті з дуже великою бібліотекою стандартних пакетів та ще більшим списком пакетів Open Source, доступних в публічних репозиторіях. Інтерпретатор Python і обширна стандартна бібліотека доступні у вихідному або двійковому вигляді для всіх основних платформ на веб-сайті Python. Інтерпретатор Python легко розширюється за допомогою нових функцій і типів даних, реалізованих у C або C++ (або інших мовах, похідних від C).

### **ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Для автоматизованого збору й аналізу даних необхідно розробка системи автоматизованого пошуку, яка революціонізує сегмент міжміської логістики, забезпечуючи ефективно, рентабельне та своєчасне перевезення вантажів на ринку разових замовлень в міжміському сполученні. Для створення системи автоматизованого парсингу необхідно визначити теоретичні основи розробки програмного забезпечення для автоматизованого збору замовлень на вантажоперевезення в міжміську сполученні. Створений програмний продукт, що виконує автоматизований пошук даних дозволить проаналізувати ринок разових замовлень на регіональному рівні, що надасть змогу вирішувати питання оперативного прийняття рішень перевізником на ринку міжміських перевезень.

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Об'єктом дослідження в роботі розглядається система автоматизованого парсингу разових заявок на вантажні перевезення в межах міжміських сполучень. В якості об'єкта управління може виступати модель попиту на перевезення. Після того як інформація отримана дослідник, який виконує роль виконавчих органів та органу управління, має перевірити відповідність отриманих результатів дійсності. Переконавшись у дійсності отриманих даних, він може зробити певні висновки стосовно стану ринку вантажних перевезень, перевірити існуючу модель на відповідність реаліям ринку перевезень та запропонувати внесення змін в модель попиту. У разі знаходження невідповідності моделі попиту до реального попиту приймається рішення про доповнення або зміну моделі. У разі такої потреби на основі проведених розрахунків визначаються нові параметри та коефіцієнти моделі. Результат даного дослідження можна інтегрувати до блоку обробки та аналізу інформації.

Вхідними даними системи є дані про сукупність заявок на разові вантажні перевезення, що розміщені на відкритих інтернет-ресурсах. В своїй сукупності вони включають наступну інформацію:

- тип транспорту;
- просторові характеристики – вага та об'єм вантажу, габарити;

– маршрут перевезення;  
 – вартість виконання заявки, що розміщується замовником або встановлюється перевізником.

Перелічена інформація є своєрідним банком даних.

Важливим елементом у структурі системи автоматизованого парсингу є процес обробки даних. Даний процес полягає у вилученні інформації з вхідних даних, перевірці її на коректність та формуванні вихідних даних. Для автоматизації цього процесу було створено програмний продукт. На першому етапі процесу обробки система повинна мати доступ до інформації з відкритих джерел. Це може бути зроблено за допомогою різних методів, таких як:

- розпізнавання тексту;
- розпізнавання образів;
- розпізнавання мови;
- перевірка інформації на коректність.

У даній роботі увага була приділена методам розпізнаванню тексту, а саме парсингу даних.

Парсинг даних є одним з найвідоміших методів розпізнавання тексту, який використовується для отримання структурованої інформації з тексту веб-сторінки, непридатного для опрацювання стандартними методами дослідження та аналізу даних. Таким чином, методом дослідження є розпізнавання тексту веб-сторінки.

На другому етапі процесу обробки система перевіряє інформацію на коректність. Це необхідно для того, щоб переконатися, що отримані дані відповідають встановленим вимогам.

На третьому етапі процесу обробки система формує вихідні дані. Ці дані можуть включати інформацію про вартість перевезення, терміни доставки тощо.

Результатом роботи системи автоматизованого збору є вихідні дані.

Вихідними даними системи називають дані, які вона повертає її користувачу. Вони можуть бути представлені в різних формах, таких як текст, таблиця, графік, тощо. В досліджуваній системі вихідними даними є кількість разових заявок, що припадає на кожну область за досліджуваний період. Вони представлені в табличному форматі.

Загалом, роботу парсера можна описати наступним чином. На першому кроці відбувається завантаження інформації з веб-ресурсу за допомогою методів бібліотеки `requests`. Отримавши відповідь на запит, завантажена інформація конвертується в текстовий формат та передається на обробку до бібліотеки `beautifulsoup4`, яка відбудовує структуру веб-сторінки локально для подальшої навігації по ключовим елементам.

На останньому кроці за допомогою методів навігації по елементам веб-сторінки завантажена інформація оброблюється та зберігається в словнику Python, після чого записується до csv-файлу. Для запису до файлу використовується бібліотека `pandas`. Середовище виконання з прикладом роботи наведено на рисунку. 1. Об'єктом спостереження є заявки на вантажні перевезення по Україні, що розміщуються на сервісі `della.ua` в режимі онлайн.

```

C:\Windows\system32\cmd.exe
D:\Project Files\data_export>python dellaUA_url_parser.py
Всього 12793 заявок.

Звернення до https://della.ua/search/a204bd204ef1071z1z2z3z4z5z6z7z8z9y1y2y3y4y5y6h0i2309041240101k0m1r.html
Адреса оброблена.

Звернення до https://della.ua/search/a204bd204ef1071z1z2z3z4z5z6z7z8z9y1y2y3y4y5y6h0i2309041240101k0m1r25125.html
Адреса оброблена.

Звернення до https://della.ua/search/a204bd204ef1071z1z2z3z4z5z6z7z8z9y1y2y3y4y5y6h0i2309041240101k0m1r50125.html
Адреса оброблена.

Звернення до https://della.ua/search/a204bd204ef1071z1z2z3z4z5z6z7z8z9y1y2y3y4y5y6h0i2309041240101k0m1r75125.html
Адреса оброблена.
  
```

Рисунок 1 – Приклад виконання програми

В результаті виконання парсингу веб-ресурсу della.ua було отримано інформацію про вантажні перевезення по Україні за тиждень, що відображено в таблиці 1.

Отримані далі мали дефекти, що проявлялось в дублюванні заявок. Причиною даного дефекту є навмисне подання заявки користувачами Інтернет ресурсу. Можливо зробити припущення, що дана ситуація виникає, коли замовнику потрібно терміново знайти виконавця, але такого не спостерігається тривалий час, а його заявка вже втратила пріоритет і зсунулась вниз списку. Інакше кажучи, як тільки заявка втрачає перше місце в списку заявок на веб-сторінці, користувач системи подає нову для підвищення пріоритету своєї заявки.

Таблиця 1 – Статистичні дані про вантажні перевезення по Україні (фрагмент)

Дата розміщення заявки	Тип транспорту	Вага вантажу, т	Об'єм, м <sup>3</sup>	Вантаж	Пункт відправки	Пункти призначення		Відстань, км	Вартість доставки, грн.	Додаткова інформація	
05.09 – 08.09	тент	0,75	-	мішки на палетах	Київська обл.	Київ	Чернігівська обл.	Чернігів	148	700	Довантаження   Кільк. палет 1   При розвантаженні   Будь-яка   4,73 грн/км
05.09	рефрижератор	6,5	20	тнв	Харківська обл.	Харків	Одеська обл.	Одеса	993	-	Задня
05.09 – 09.09	тент	22	-	пелети на палетах	Житомирська обл.	Коропець	Закарпатська обл.	Ужгород	677	15 000	Збоку   На картку   22,16 грн/км
05.09 – 09.09	тент	22	-	пелети на палетах	Київська обл.	Бородянка	Закарпатська обл.	Ужгород	780	15 000	Збоку   На картку   19,23 грн/км
05.09	тент	20	-	Політ илен	Київська обл.	Ірпін	Чернігівська обл.	Озеряни	234	-	Збоку   Задня   42,74 грн/км

Для видалення даного дефекту та зменшення похибки при аналізі даних було проведено видалення дублюючих записів. Одним зі способів зробити це є використання можливостей табличного процесора Excel. Видалення дублікатів виконувалось за наступними полями з однаковими значеннями:

- тип транспорту;
- вантаж;
- вага вантажу;
- пункт відправки;
- пункт призначення;

– вартість доставки.

Отримавши оброблені дані було виконано підрахунок кількості заявок, що припадають на кожну область та сформовано матрицю разових замовлень на міжміські вантажні перевезення. Для автоматизації цього процесу було написано скрипт на Python.

В результаті збору та структуризації інформації щодо попиту на міжміські вантажні перевезення було сформовано матриці даних про разові замовлення по кожній області. Розмірність матриць 24x24. Матриці є несиметричними відносно головної діагоналі. Це означає, що кількість замовлень на ввезення продукції до одного й того ж населеного пункту не відповідає кількості замовлень на її вивезення. Для наочного уявлення інформації про попит було побудовано стовпчасті діаграми з накопиченням. Розглядається два випадки прямування вантажу: ввезення та вивезення. Кількість замовлень на ввіз товарів, що була зібрана за досліджуваний період наведена на рисунку 2, про вивіз – на рисунку 3.

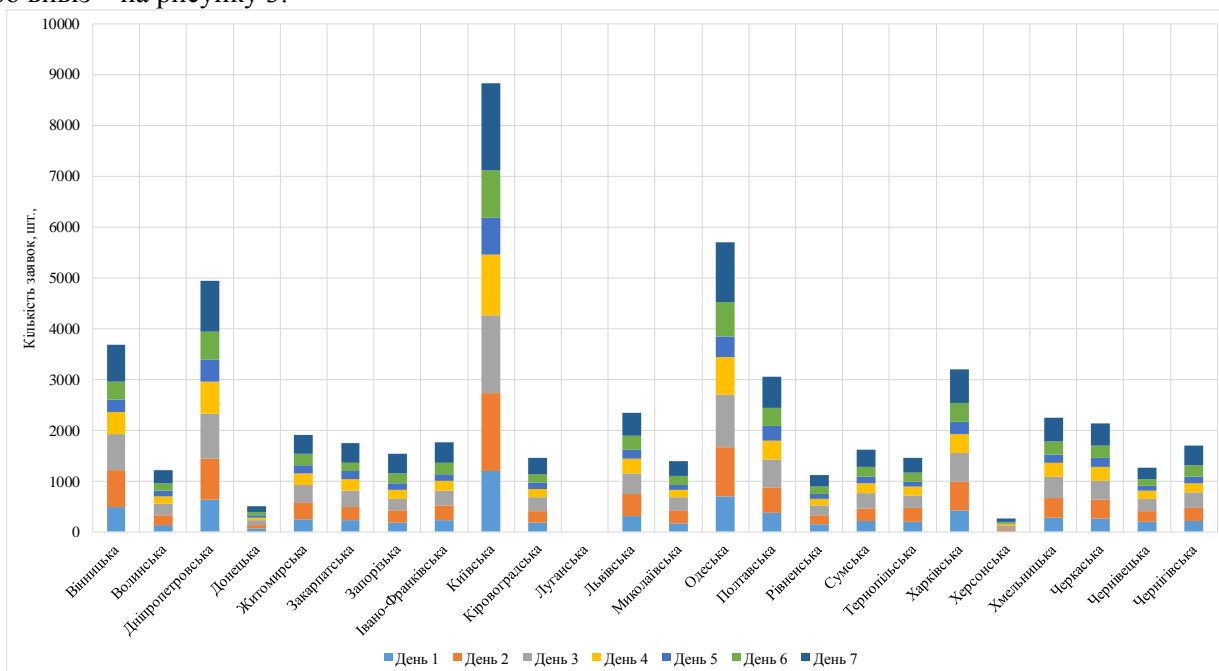


Рисунок 2 – Діаграма разових замовлень на міжміські вантажні перевезення у напрямку ввезення, по областям

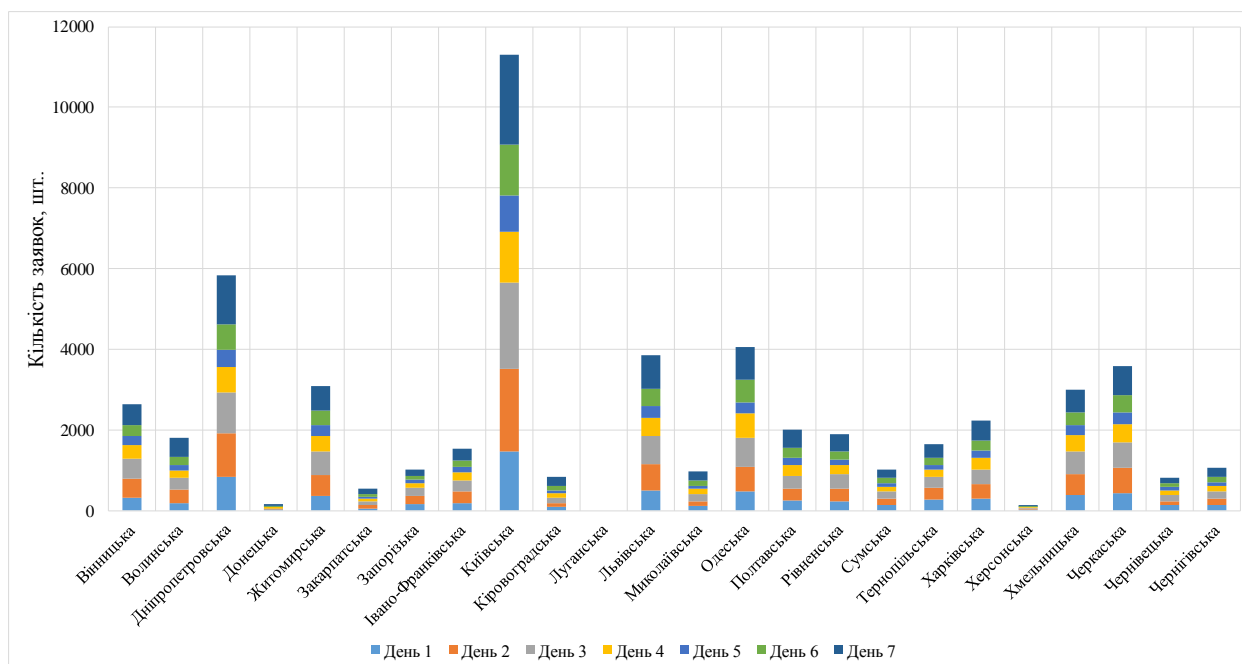


Рисунок 3 – Діаграма разових замовлень на міжміські вантажні перевезення у напрямку вивезення, по областям



Виявилось, що серед регіонів, які мають найбільший потік є Київська та Дніпропетровська. Друге місце за інтенсивністю замовлень займають Одеська та Львівська області. В більшій частині областей спостерігається зростання попиту на перевезення вантажів у внутрішньому сполученні в порівнянні з минулим періодом.

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Діаграма на рисунку 2 показує, що у вихідні дні, які припали на п'ятий та шостий дні спостережень відбувся спад активності на разові міжміські вантажні замовлення. Розрахунки показали, що інтенсивність заявок зменшилась з 6802 за п'ятницю до 4369 за суботу. По відношенню до загальної кількості заявок, показник інтенсивності зменшився на 6 % від середнього значення. Найбільша кількість замовлень була спостережена на кінець дослідження, що припав на початок тижня. Середній показник інтенсивності замовлень становить 14 %, що відповідає 7850 заявкам.

Як представлено на діаграмі, найбільший попит на вантажні перевезення спостерігався в столичному районі. По даному регіону за досліджуваний час було нараховано 8821 заявка. Наступну сходинку по кількості разових замовлень зайняли області з великими містами – Одеська, Дніпропетровська, Вінницька, Полтавська та Харківська, що в загальній кількості склали 47 % від усіх замовлень на перевезення вантажів. Загальна кількість замовлень за весь період дослідження складає 54 947 заявок.

Порівняльний аналіз показав, що кількість замовлень на ввезення і вивезення вантажів за кожен день були однаковими. Натомість розподіл даної інформації по областям потребує окремого пояснення.

Додатковий аналіз показав, що у 14 областях кількість заявок на ввезення значно більша, ніж на вивіз товарів. Різниця складає 9 % від загальної кількості заявок. У процесі проведення розрахунків виявилось, що кількість заявок на ввезення вантажу відповідає кількості заявок на вивіз, тобто однакова. Однак, при розгляді кожного регіону окремо спостерігається диференціація даних. Інакше кажучи, при порівнянні кількості разових замовлень на ввезення та вивіз вантажу по кожному регіону окремо спостерігається їх розбіжність у їх кількість, тобто є різною.

### ВИСНОВКИ

Для моделювання потоку разових замовлень запропоновано використовувати методи машинного навчання, який дозволяє враховувати складні залежності між різними чинниками, що впливають на попит перевезень. На основі аналізу способів збирання даних було запропоновано застосування парсер даних, який виконує структурування інформації веб-сторінки і надає їх у готовому для аналізу вигляді. Пошук інформації відбувався на логістичному сайті «della.ua», який найбільш популярний серед вантажних автотранспортних бірж в Україні.

При використанні логістичного сайту «della.ua» була велика кількість дефектів даних, що виявлялось у дублюванні інформації. Це значним чином спотворює реальну потреби у перевезеннях, що існують на ринку разових замовлень. Це потребувало подальшої обробки інформації на протязі 7 робочих днів в результаті чого було отримана матриця разових замовлень на регіональному рівні.

Розподіл потоку разових замовлень за 7 робочих діб показав, що найбільший потік спостерігається в будні дні тижня. Різниця між попитом у вихідні дні та середньої кількості замовлень складає 32 %. Згідно порівняння з попереднім періодом він має значну тенденцію до збільшення. Про це свідчить загальна кількість замовлень за поточний рік, що збільшилась в 4 рази.

### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Прокудін Г.С., Прокудіна І.І., Бура О.М. Аналіз розвитку логістичного аутсорсингу в Україні. *Східна Європа: економіка, бізнес та управління*. 2013. Вип. 4 (15). URL: <https://chmnu.edu.ua/wp-content/uploads/2019/07/Prokudin-G.S.-Prokudina-I.I.-Bura-O.M...pdf>.
2. Дацко М.В., Цвір Л.Р. Побудова транспортних маршрутів у логістиці. *Вісник Львівського національного університету ім. Івана Франка. Сер. Економічні науки*. URL: [http://www.ej.kherson.ua/journal/economic\\_16/4/39.pdf](http://www.ej.kherson.ua/journal/economic_16/4/39.pdf).
3. Солобуто Л. В. Логістичні моделі вантажоперевезень в мережі магазинів. *Index Copernicus International*. 2016. № 271. Р. 83–86. URL: <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/156597>.
4. Кочина А.А. Визначення закономірностей потоку разових замовлень у міжміському сполученні при управлінні ланцюгами постачань. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2023. Вип. 10. С. 151-159.
5. Мосьпан Н. В. Формування стратегій автотранспортних підприємств по обслуговуванню разових замовлень на перевезення вантажів у міжміському сполученні : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Харків, 2018. 212 с.

6. Експертні системи прийняття рішень в енергетиці: навч. посіб. / Т. Л. Кацадзе. – К.: ЛОГОС, 2014. 173 с.
7. Осетров, А. О. Парсинг даних з вебсторінок з використанням методів машинного навчання : дипломна робота ... бакалавра : 122 Комп'ютерні науки / Осетров Антон Олександрович. – Київ, 2021. – 90 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45331>.
8. Звідки беруться помилки в ПЗ? *Тренінг-центр QALight* : веб-сайт. URL: <https://qalight.ua/bazaznaniy/zvidki-berutsya-pomilki-v-pz/#>

#### REFERENCES

- 1.Prokudin G.S., Prokudina I.I., Bura O.M. (2013) Analysis of the development of logistics outsourcing in Ukraine. Eastern Europe: Economy, Business and Governance. V. 4(15). P. 155-160.
- 2., Datsko M.V., Tsvir L.R. (2016) Construction of transport routes in logistics. Bulletin of Ivan Franko National University of Lviv. Ser. of Economic Sciences. V. 16(4). P. 152-155.
- 3.Solobuto L.V. (2016) Logistic models of cargo transportation in the network of stores. Index Copernicus International. V 271. P. 83-86
- 4.Kochina A.A. (2023) Determination of the regularities of the flow of one-time orders in long-distance communication in supply chain management. Modern technologies in mechanical engineering and transport. V. 10. P. 151-159.
- 5.Mospan N. V. (2018) Formuvannia stratehii avtotransportnykh pidpriemstv po obsluhovuvanniu razovykh zamovlen na perevezennia vantazhiv u mizhmiskomu spoluchenni : avtoref. dys. kand. tekhn. nauk. Kharkiv., 212 p
- 6.Katsadze T. L. (2014) Expert decision-making systems in the energy sector: a textbook, - K.: LOGOS, 173 p.
- 7.Osetrov, A. O. Parsing data from web pages using machine learning methods : diploma thesis ... Bachelor's degree: 122 Computer Science. - Kyiv, 90 p.
- 8.Where do software bugs come from? *QALight Training Center* : website.

#### **A. Kochina., K. Asimov. Study of the flow of one-time orders in the long-distance road transport market using automated parsing**

The paper describes approaches to creating a software product for automated data collection and processing. The paper considers the issues of automating the collection of one-time applications for long-distance freight transport and analysing the demand for transportation. Important definitions for the development of parsing, software quality terms, defects and programme failure are given. The advantages and recommendations for automating the study are considered.

An automated parsing system has been developed that structures web page information and provides it in a form ready for analysis. In this paper, the concept of a parser is understood as a system for automated collection of applications for one-time long-distance freight transportation. It reads and processes information to a state suitable for analysis. The article describes the stages of parser design and identifies the main criteria for selecting applications. The main function of the software product is to read information about one-time orders for freight transport from the della.ua website and place it in file storage media on a local computer. To test the software product's performance and analyse the freight market, the demand for long-distance freight transportation was monitored for one week. As a result, data sets were generated with detailed information about each type of cargo and order structure. The subsequent data had defects, which manifested itself in duplicate orders. To remove this defect and reduce the error in data analysis, duplicate records were deleted.

The development of an automated parsing system allowed us to obtain a matrix of one-time orders at the regional level of Ukraine, which characterises the demand for freight transport in the long-distance freight market. Potential orders were evaluated, market analysed, routes planned, and integrated into the company's business processes related to information processing and analysis.

**Keywords:** parsing, one-time orders, long-distance communication, demand, automated data retrieval system

*КОЧИНА Анастасія Анатоліївна*, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних системи і логістики, Харківський національний автомобіль-дорожній університет e-mail: [kochina.tsl@gmail.com](mailto:kochina.tsl@gmail.com) <https://orcid.org/0000-0001-8377-4770>

*АЗІМОВ Костянтин Назіржонович*, студент групи ТС-61-22, Харківський національний автомобіль-дорожній університет e-mail: [kostiantyn.azimov@gmail.com](mailto:kostiantyn.azimov@gmail.com).

*Anastasia KOCHINA*, PhD, Associate Professor of the Department of Transport Systems and Logistics, Kharkiv National Automobile and Road University, e-mail: [kochina.tsl@gmail.com](mailto:kochina.tsl@gmail.com) <https://orcid.org/0000-0001-8377-4770>

*Konstantin AZIMOV* – student of the TS - 61-22 group, Kharkiv National Automobile and Highway University e-mail: [kostiantyn.azimov@gmail.com](mailto:kostiantyn.azimov@gmail.com).

DOI 10.36910/automash.v1i22.1362

Крочук А.А.

*Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна***АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ СТОСОВНО РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ЕЛЕКТРИЧНИМ ПРИВОДОМ РУХУ**

Транспорт з електричним приводом на сучасному етапі розвитку науки і техніки набирає все більших обертів. Практично кожен виробник автомобілів у своїй лінійці моделей пропонує або електричні або гібридні транспортні засоби. Наукові дослідження автомобільного транспорту з електричним приводом також активно розвиваються в різних напрямках. Головною метою роботи є аналіз напрямків досліджень стосовно розвитку транспортних засобів з електричним приводом.

Проаналізовані наукові роботи, які стосуються розвитку електромобільної промисловості. Дані роботи висвітлюють проблеми, з якими стикається сфера виробництва електричного транспорту, а також, методи рішення і вдосконалення цих проблем, спираючись на суміжні сфери, наприклад, наприклад отримання електроенергії для заряджання транспорту більш екологічним способом. Також проаналізовано наукові роботи стосовно експлуатації автомобільних транспортних засобів з електричним приводом.

Опрацьовані роботи, які показують плюси і мінуси автомобілів з електричними двигунами. Основним недоліком вважаються відсутність належної кількості зарядних станцій і відсутність кваліфікованого рівня обслуговування транспорту з електричним приводом двигуна.

Під час опрацювання наукових робіт привернула увагу праця, яка описує проблему, що стосується виготовлення електроенергії, а саме отримання її з енергії сонця та вітру для заряджання електротранспорту.

Також у роботах наведені аргументи, які підштовхують перейти на електробуси для міських пасажирських перевезень. На даний час, коли світ сколихнула істерія чистого повітря, це може дати вагомий поштовх для часткового вирішення цієї задачі. Це призведе до незалежності електротранспорту від контактних електричних мереж.

**Ключові слова:** електромобілі, електропривід, альтернативні види електроенергії, електробуси.

**ВСТУП**

Транспорт з електричним приводом руху не є винаходом сучасності. Як би це дивно не звучало, але перший прототип транспорту з електроприводом був виготовлений раніше за двигун внутрішнього згорання, у 1839 році Томасом Андерсоном.

Електромобілі в останні роки стали трендом, це зумовлено, в першу чергу, безперервним зростанням цін на нафту та популяризацією власне електромобілів. На сьогоднішній день практично кожен виробник в модельному ряду пропонує транспортні засоби з електричним та/або гібридним приводом. До того ж екологічні вимоги до виробників автомобільного транспорту стрімко піднімаються, що сприяє розвитку електромобілів.

Ринок сповнений різноманітними марками електромобілів легкового типу. Їх залучають як для власного (буденного) користування, так для потреб бізнесу, в основному це послуги таксі або кур'єрські доставки.

Щодо міських пасажирських перевезень маршрутними таксі на базі автобусів з електричним приводом руху ситуація залишається неординарною, так як в Україні, на даний момент, повністю відсутня інфраструктура для такого типу громадського транспорту. Для вирішення цієї проблеми потрібне пряме залучення фахівців та фінансів на державному рівні, тобто, зацікавленість, підтримка, контроль і страхування. Це дасть змогу міським пасажирським перевезенням вийти на новий рівень, що потягне за собою часткове рішення проблем забруднення повітря, якому, останнім часом, приділена надмірна увага.

**АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Колісні транспортні засоби з електричним приводом двигуна є проривом у сучасному світі, але він стикається з багатьма суперечностями, які несе за собою побут минулих технологій. Це відсутність приналежної інфраструктури, якісного технологічного обслуговування, матеріального, літературного та технологічного забезпечення.

Порівнюючи електротранспорт та транспортні засоби з двигунами внутрішнього згорання, постає важливий і не заперечний фактор, що на сьогоднішній день обидва види транспортних засобів залежать від енергетичних ресурсів, які добуваються із надр земної поверхні. Автомобілі з двигунами внутрішнього згорання залежать на 100% від цих ресурсів. Хоча електротранспорт не споживає продуктів нафтової переробки, але значною мірою залежить від вугілля та урану, за допомогою яких виробляється більша частина електроенергії.

Якщо приділити увагу сфері перевезення пасажирів у міських умовах, можна побачити, що значна частина транспорту є мережеві електричні транспортні засоби: тролейбуси та трамваї, які є повністю залежні від контактної електричної мережі населеного пункту.

Електротранспорт в очах науковця, це як не огранований діамант в очах ювеліра.

Кожного дня тривають суперечки, вносяться пропозиції і проводяться дослідження для бездоганної адаптації, покращення технічних, екологічних і економічних показників. У сфері розвитку автомобілів з електричним приводом руху свій слід лишили: Будько В. І., Гаврилюк А. Ф., Лемішко М. В., Горенюк В. В., Андрусенко С. І., Бугайчук О. С., Парамуд Я. С., Ложачевська О.М., Аргун Ш. В., Н. Мохамед, А. Флах, П. Мішра, А. Бхакта, Р. Саркар, Ф. Жасмін, Ф. Майшнер, Д. Зауер.

### **ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Метою даного дослідження є проведення аналізу наукових публікацій стосовно розвитку електромобілів і визначення основних, пріоритетних напрямків подальших досліджень.

Відповідно до поставленої мети визначено задачі досліджень:

- провести аналіз сучасних наукових досліджень у сфері автомобільного транспорту з електричним приводом;
- визначити пріоритетні напрямки подальших досліджень, спрямованих на підвищення ефективності експлуатації автобусів з електричним приводом.

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

У своїй роботі на тему «Використання енергії сонячного випромінювання та вітру для заряджання електромобілів» Будько В.І. [1] проводить науково-технічне обґрунтування техніко-економічних параметрів при формуванні мереж зарядних станцій електромобілів з буферними акумуляторами енергії при використанні енергії сонячного випромінювання та вітру. Ця робота спрямована на вирішення питань розширення можливостей використання альтернативних джерел електроенергії саме на території України. Для досягнення поставленої мети автор вирішував такі задачі: провів аналіз існуючих підходів до формування мереж зарядних станцій електромобілів з використанням енергії вітру і сонячного випромінювання; розробив математичну модель процесу заряджання електрохімічних акумуляторних батарей від вітро - електричних та фотоелектричних установок, комплексних вітро - сонячних енергоустановок.

В науковій роботі була вирішена важлива науково-прикладна проблема науково-технічного обґрунтування параметрів мереж зарядних станцій з буферними акумуляторами енергії при використанні енергії сонячного випромінювання та вітру для реалізації швидкого зарядження класичних електромобілів. Обґрунтовано умови створення мереж зарядних станцій електромобілів з використанням вітроелектричних та фотоелектричних установок, що визначаються довжиною пробігу електромобіля, забезпеченістю станції відновлювальними джерелами електроенергії, нормованим часом зарядження електромобіля, критичними часом очікування на виконання заявки по обслуговуванню та площею під встановлення енергогенеруючого устаткування; вперше запропоновані математичні моделі процесів перетворення енергії на водневих заправних станціях електромобілів на паливних елементах при використанні вітрових, сонячних та комплексних вітро-сонячних електроустановок як первинних генераторів електричної енергії; в результаті аналізу динаміки розвитку ринку електромобілів в Україні та запропонованого прогнозу розвитку встановлено, що потреба в їх енергозабезпеченні, яка може забезпечуватись за рахунок енергії вітру та сонця на території України до 2050 року [1].

Наукова праця «Аналіз еквівалентної паливної ощадливості електромобілів» Гаврилюка А. Ф. та Лемішка М. В. [2] окреслює ймовірні перспективи розвитку електромобілів у найближчому майбутньому, наведено їх класифікацію, а також проблеми, що виникають внаслідок їх використання. Проведено аналіз найпоширеніших енергетичні елементи, які використовуються для живлення тягових електричних двигунів електромобілів, описано їх плюси та мінуси. За результатами досліджень наведено найбільш економічні електромобілі за рейтингом 2018 року випуску та описано їх тягово - швидкісні характеристики. Розроблено методологічні основи оцінки паливної ощадливості електромобілів. Це дає змогу потенційним покупцям, власникам чи економістам автотранспортних підприємств об'єктивно оцінити еквівалентні витрати пального та успішно обрати ту чи іншу марку електромобіля. Розроблено та описано алгоритм визначення еквівалентної паливної ощадливості електромобілів з урахуванням цінової політики на енергоносії для різних країн світу. Зроблено висновки про те, що літій-іонні батареї набули найбільшого поширення, як живильні елементи електромобілів. Встановлено, що еквівалентна паливна



ощадливість найбільш об'єктивно та інформативно, зна думку користувача, характеризує використання електромобілів у порівнянні з зазначенням кількості енергії (кВт·год) необхідної для подолання 100 миль шляху. З використанням запропонованої методики визначено еквівалентну паливну ощадливість електромобілів, результати наведені у вигляді графічної залежності. Встановлено, що для України, з врахуванням вартості енергоносіїв, використання електромобілів є найбільш рентабельним порівняно з іншими країнами [2].

Горенюк В. В. у роботі «Синтез та ідентифікація моделей оптимального руху електромобіля з асинхронним електроприводом по схилах і підйомах дороги» [3] запропонував метод синтезу та ідентифікації моделей оптимального руху електромобіля з асинхронним електроприводом під час руху дорогою на спуск та на підйом, в якому використано підхід, запропонований під час розроблення методу синтезу та ідентифікації моделей оптимального руху електромобіля з асинхронним електроприводом по горизонтальному відрізку дороги, але з іншими граничними умовами, з іншою процедурою їхнього використання для визначення констант, які мають місце у цих моделях внаслідок використання двічі операції інтегрування в процесі їхнього синтезу методом невизначених множників Лагранжа, а також з іншою процедурою реалізації прямого алгоритму визначення швидкості електромобіля на основі моделі його динаміки, яка у випадку руху на спуск та на підйом як параметр містить в собі ще й кут нахилу поздовжньої осі рами електромобіля до горизонтальної площини, який є величиною змінною у просторі, тож для електромобіля, що рухається, є величиною змінною і в часі, а тому вимагає вимірювання відповідним пристроєм. Показано також, що коли електромобіль виїжджає на горизонтальну ділянку дороги зі спуску чи підйому без зупинки, то для визначення констант в моделях його оптимального руху горизонтальною ділянкою дороги стають непридатними вирази, отримані раніше для випадку, коли визначались моделі оптимального руху електромобіля горизонтальною ділянкою дороги від зупинки до зупинки, оскільки змінюються граничні умови, а тому і вирази, за якими визначаються ці константи стають за своєю структурою наближеними до тих, які отримані у цій статті для моделей оптимального руху електромобіля на спуск чи підйом [3].

Андрусенко С. І., Бугайчук О. С. у статті «Оцінка вартостей експлуатації транспортних засобів з різними типами силових установок» [4] представили методику розрахунку вартості експлуатації автомобілів з різними видами силових установок. Визначено вихідні дані й проведено розрахунки елементів собівартості експлуатації автомобілів з бензиновими, гібридними силовими установками та електромобілів. Показано, що доцільність використання різних типів автомобілів залежить від вартості самого автомобіля та вартостей таких різних компонентів експлуатації, як пальне, електроенергія, робоча сила, експлуатаційні матеріали, особливості податкового законодавства тощо, і має визначатися відповідно до умов кожної країни. У багатьох випадках сукупна вартість використання електромобілів є більшою, ніж транспортних засобів з двигунами внутрішнього згоряння та гібридів. Якщо не враховувати вартість автомобіля і пов'язані з нею амортизаційні витрати, то експлуатація електромобілів є у 3–5 разів дешевшою за експлуатацію гібридів, і в 5–8 разів дешевшою за експлуатацію автомобілів з ДВЗ. Подальші дослідження варто спрямувати на розширення кількості факторів, які будуть більш детально враховувати умови експлуатації транспортного засобу. Також варто продовжувати роботу над розвитком бази даних результатів розрахунку з метою виявлення найбільш економічно доцільних транспортних засобів для різних умов експлуатації [4].

Парамуд Я. С. «Принципи моніторингу та керування у мережі зарядних станцій електричних автомобілів» [5]. Досліджено принципи побудови, моніторингу, керування та організацію безпеки у мережі зарядних станцій електричних автомобілів. Запропоновано використання елементів сучасних клієнт–серверних технологій та елементів кіберфізичних систем у таких мережах. Розроблено базову структуру кіберфізичної системи керування мережею зарядних станцій. Розроблено та досліджено серверні та клієнтські засоби мережі. Наведено структурні та функціональні рішення серверної та клієнтської частин. Проаналізовано потенційні вразливості мережі до кібератак. Запропоновано використання у мережі ефективних засобів захисту від кібератак [5].

В роботі «Розвиток громадського транспорту шляхом упровадження електробусів» Ложачевської О.М. [6] розглянуто підходи до вибору концепції розвитку не рейкового громадського транспорту на основі автобусних та троллейбусних систем для збалансованого розвитку пасажирських перевезень. Розвиток громадського транспорту в напрямі зменшення негативного екологічного впливу на міське середовище розглядається не лише як бажаний, а й як обов'язковий, але час для повної реалізації переходу на нульовий екологічний вплив невизначений. Цей перехід необхідний не



лише для створення більш безпечних екологічних умов у містах, а й для збільшення економічної ефективності, які несуть із собою нові технології. Незважаючи на значні інвестиційні затрати, які можуть виникнути під час упровадження, ці технології здатні призвести до відчутного позитивного економічного ефекту в перспективі. Автори статті розглянули та підкреслили проблеми та особливості, які характеризують кожен концепцію електробусів, та розробили власні рекомендації [6].

Аргун Щ. В. «Електробуси – перспективний міський транспорт Харкова» [7] запропонувала підвищити енергоефективність міського транспорту Харкова за рахунок упровадження електробусів. Проведено аналіз переваг і недоліків автобусів і тролейбусів порівняно з електробусами. Розглянуто різні види електробусів. Запропоновано пілотний маршрут електробуса, який охоплює частину Північної Салтівки м. Харкова завдовжки 7 км в обидва кінці. Запропоновано використовувати електробус на супер конденсаторах, що заряджається на кінцевій зупинці під час посадки-висадки пасажирів. Представлено попередній розрахунок упровадження нового маршруту для електробуса, який показує, що загальні витрати на прокладання тролейбусного маршруту є більшими за електробусний приблизно у 2,65 рази [7].

У науковій праці «Модель техніки індуктивного заряджання акумуляторних електромобілів» авторів: П. Мішра, А. Бхакта, Р. Саркар, Ф. Жасмін [8] розроблено прототип моделі. У цьому дослідженні була запропонована теоретична концепція простого, але ефективного методу індукційного заряджання акумуляторних електричних транспортних засобів. Під час експериментальних досліджень було виявлено, що потужність може передаватися бездротовим способом від передавача до приймача за допомогою принципів індуктивного зв'язку. У цій статті прототип моделі був розроблений для спостереження індуктивного заряджання, а також індуктивного резонансного зв'язку. Було також експериментально помічено, що вихідна потужність моделі бездротової зарядки значною мірою залежить від резонансного стану між передавальною та приймальною котушками. У цій статті запропонована модель була представлена, щоб зосередитися на техніці передачі потужності індуктивного зв'язку, яка використовується для заряджання батареї електромобілів. Запропонована модель і її експериментальні результати успішно описують техніку індуктивного заряджання, і максимальна передача потужності відбувається, коли резонансний стан досягається двома котушками на дуже малій відстані. Ця модель дуже ефективна для встановлення концепції бездротової передачі енергії в котушках дуже малого розміру. Експериментальна реалізація конструкції виконана за допомогою цифрового мультиметра, міліамперметра, потужності MOSFET, регулятора напруги IC, генератора та діодної схеми випрямляча в котушках передавача та приймача [8].

Н. Мохамед і А. Флах у своїй роботі «Характеристика фотоелектричного генератора для електромобіля» [9] висвітлюють та вивчають зв'язок фотоелектричної системи та електричного транспортного засобу. Було викладено та пояснено відповідні математичні рівняння. Ефективність цієї схеми підзарядки тестується та порівнюється для різних зовнішніх погодних умов. Було змодельовано два випадки, один пов'язаний із випадком, коли транспортний засіб постійно рухається, а другий випадок – із ситуацією, коли транспортний засіб зупиняється в кількох точках траєкторії руху. Наприкінці цього дослідження було надано статистичні показники ефективності системи щодо ситуації в автомобілі, коли він рухається або зупинився. Отримані результати підтвердили переваги застосування фотоелектричної підзарядки [9].

Техніко-економічне порівняння різних концепцій електробусів на основі фактичних демонстрацій у містах Європи – Ф. Майшнер, Д. Зауер [10]. Ця робота досліджує чотири технологічні концепції розгортання електричних автобусів з технічної та економічної точки зору: дуже швидке та помірне заряджання, нічне заряджання та гібридні тролейбуси (живлення через контактну мережу/акумулятор). Фонд розслідувань реальних демонстрацій у чотирьох містах Європи. Вони були проведені в прямій співпраці з відповідними операторами громадського транспорту для отримання реалістичних результатів. Ця робота зосереджена на економічному порівнянні на основі загальної вартості володіння, включаючи всі інвестиції та експлуатаційні витрати на автобусне сполучення. Таким чином, батарея є основним активом і розглядається більш ретельно, особливо з огляду на очікуваний термін служби. Загальна вартість володіння відповідних електричних і дизельних автобусів, масштабованих до повної лінійки, безпосередньо порівнюється. Це включає витрати на штрафи за викиди шуму та забруднюючих речовин. Для врахування ризиків і невизначеностей проводиться аналіз чутливості найбільш релевантних змінних. Це показує, що

електричні автобуси вже сьогодні можуть бути економічно конкурентоспроможними за сприятливих припущень, незалежно від концепції [10].

Під час проведення досліджень витрат електричної енергії тролейбусами [11] автори використовували багатокритеріальний підхід, який враховує керовані, некеровані та умовно керовані фактори, що впливають на енергоспоживання транспортних засобів. Підхід у науковій статті передбачає моделювання споживання електроенергії транспортними засобами з одночасною змінністю факторів у визначених межах. Дослідження проводились на базі тролейбуса Т70110. Було проведено дослідження впливу кожного фактора на енергоспоживання, крім того, було зроблено 7000 симуляцій, на основі яких, використовуючи закон великих чисел, були знайдені відповідні діапазони змінності. Під час досліджень було проведено 122 моделювання енергоспоживання, в результаті яких визначено область значень енергоспоживання.

Стаття [12] присвячена дослідженню впливу геометричних параметрів дискретної моделі маршрутною мережі міського транспорту на якість функціонування системи пасажирських перевезень та виявленню критеріїв пріоритетності розроблених характеристик при пошуку шляхів удосконалення його структурних складових. Авторами зроблено висновок про необхідність розробки ефективних математичних методів моделювання нових та оптимізації існуючих мереж, на основі яких базувалися б алгоритми кількісної оцінки якості функціонування транспортної системи міста на основі всебічного аналізу геометричних параметрів дискретних моделей маршрутних схем. У даній науково-дослідній роботі розглянуто та проаналізовано дискретні моделі геометричних зображень, їх основні характеристики, запропоновано методи визначення окремих параметрів геометричних структур щодо визначення оптимальних шляхів покращення техніко-технологічних характеристик мережа міського транспорту. Усі розглянуті зображення можна покласти як принципи аналізу її доступності та визначення можливостей і шляхів удосконалення вже існуючої мережі маршрутів.

Авторами роботи [13] запропоновані багатofакторна модель і алгоритм знаходження основних масово-габаритних параметрів автобусів, які дозволяють сформулювати пропозиції щодо конструктивного забезпечення дообладнання процесу засобами для реалізації автономного ходу.

На основі візуальної презентації багатовимірних просторів за допомогою моделі Радищева пропонується ефективний спосіб геометричної інтерпретації взаємних впливів набору оптимізаційних факторів на робочі характеристики додатково обладнаних транспортних засобів.

У дослідженнях, результати яких наведено у [14] опрацьовано проблему використання електроприводу на сільськогосподарських підприємствах. За результатами аналізу літературних джерел виявлено великий інтерес науковців та користувачів до використання комерційного вантажного електротранспорту в сільському господарстві. Проведено математичне моделювання енерговитрат вантажних автомобілів повною масою 4000, 8000, 10000 і 12000 кг з урахуванням різних умов їх експлуатації, руху по асфальтобетонному, гравійному, ґрунтовому покриттю. Встановлено, що рух транспортного засобу тротуаром з високим значенням коефіцієнта опору коченню призводить до різкого збільшення споживаної потужності, до 2...2,5 разів. Проведено порівняння значень отриманих енергоспоживань з результатами, отриманими іншими вченими іншими методами дослідження. Відхилення отриманих результатів питомих енергоспоживання знаходиться в межах 5...20%, що є доступним і говорить про їх достатню збіжність.

### **ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Усі наукові публікації, які стосуються розвитку транспорту з електричним приводом руху двигуна, пропонують великий аспект рішень чи нововведень у даній сфері. Спираючись на нові прориви і дослідження у суміжних сферах науки (матеріалознавство, хімія), які беруть безпосередню участь у виготовленні транспортних засобів, нашоувхують на нові теми для обговорення, дослідження і залучення до проектування та виготовлення прототипу моделі.

Аналізуючи наукові праці, можна виділити основні напрями роботи з розвитку транспорту з електричним приводом руху — це заряджання акумуляторних батарей; пункти заряджання електромобілів, розвиток і налаштування інфраструктури; використання альтернативних джерел для отримання електроенергії, що слугуватиме для заряджання акумуляторних батарей; встановлення основних систем автомобіля з додатковими допоміжними функціями; ощадливість електроенергії; впровадження електробусів я міських пасажирських перевезень.

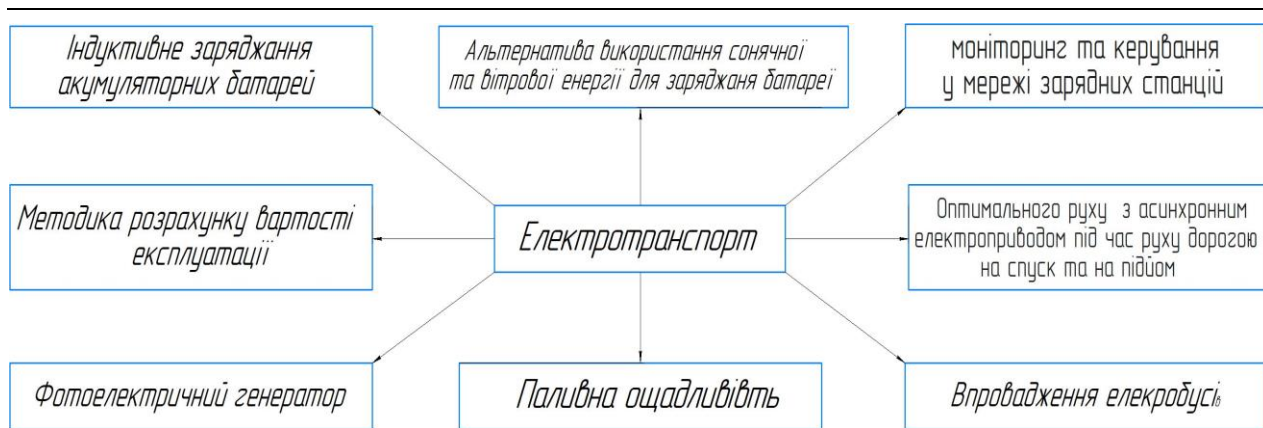


Рисунок 1 — Схема напрямів досліджень електроtransportу

Можна виділити багато напрямів для досліджень, які покращують роботу транспорту, надійність, зручність експлуатації, але все ж таки, є передові напрями, без яких функціонування і експлуатація практично не можлива. Такими чинниками, в першу чергу, є: відповідна інфраструктура та не залежність від контактної електромережі.

Належна інфраструктура дасть змогу скорішої адаптації електроtransportу до умов експлуатації. Вона мусить включати в себе достатню кількість доступних зарядних станцій, належне діагностування та обслуговування.

Не залежність від контактної мережі буде зумовлено переходом на електробуси для перевезення пасажирів у міських умовах. Це стане важливим кроком для поліпшення екології, зменшення вартості поїздки і удосконалити маршрути перевезень. Це має стати першим пріоритетом для державних або комунальних підприємств.

#### ВИСНОВКИ

Проведено детальний аналіз наукових публікацій, що дало змогу встановити основні напрями досліджень у сфері розвитку електроtransportу. Основними напрями стали дослідження, що стосуються заряджання батареї електромобілів, а саме пошук альтернативних джерел енергії для заряджання акумуляторних батарей. А також впровадження електробусів для пасажирських перевезень у міських умовах.

Так як популярні джерела електроенергії не несуть користі докільню і є вичерпними, тому було запропоновано використання сонячної та вітрової енергії, для отримання необхідної електроенергії. Також набирає популярності отримання електроенергії з коливань хвиль.

Впровадження електробусів для перевезення пасажирів у міських умовах стане одним з кращих кроків, так як громадський транспорт є одним з найбільших забруднювачів атмосфери.

#### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Будько В. І / Використання енергії сонячного випромінювання та вітру для заряджання електромобілів. [Електронний ресурс] – Режим доступу : [https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/budko\\_18.10.2019.PDF](https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/budko_18.10.2019.PDF)
2. Гаврилюк А. Ф. Аналіз еквівалентної паливної ощадливості електромобілів / А. Ф. Гаврилюк, М. В. Лемішко // Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності : зб. наук. праць / Державна служба України з надзвичайних ситуацій. – Львів, 2019. – № 20. – С. 85–89.
3. Горенюк В. В. Синтез та ідентифікація моделей оптимального руху електромобіля з асинхронним електроприводом по схилах і підйомах дороги / В. В. Горенюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2021. – № 2. – С. 37–44.
4. Оцінка вартостей експлуатації транспортних засобів з різними типами силових установок / С. І. Андрусенко, О. С. Бугайчук, А. В. Лобода, Д. О.Савостін–Косяк // Технічна інженерія. – 2020. – № 2. – С. 3–12.
5. Парамуд Я. С. Принципи моніторингу та керування у мережі зарядних станцій електричних автомобілів / Я. С. Парамуд, Т. Є. Рак, М. В. Торський // Комп'ютерні системи та мережі. – 2020. – Т. 2, № 1. – С. 59–67.
6. Розвиток громадського транспорту шляхом упровадження електробусів / О. М. Ложачевська, С. В. Команчук // Держава та регіони. Сер. Економіка та підприємництво. - 2021. - № 2. - С. 49-54. - Бібліогр.: 9 назв. - укр.

7. Аргун ІІ. В. Електробуси – перспективний міський транспорт Харкова / ІІ. В. Аргун // Автомобільний транспорт : зб. наук. праць / Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т, Північно-Східний наук. центр Транспортної акад. України. – Харків, 2019. – Вип. 44. – С. 59–65.
8. A model of inductive charging technique in battery electric vehicles(BEVs) / Partha Mishra, Arpita Bhakta, Rittick Sarkar, Farzana Jasmin. [Електронний ресурс] – Режим доступу : [https://www.researchgate.net/publication/349524010\\_A\\_model\\_of\\_inductive\\_charging\\_technique\\_in\\_battery\\_electric\\_vehiclesBEVs?\\_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7InBhZ2UiOiJwdWJsaWNhdGlvbiIsInByZXZpb3VzUGFnZSI6bnVsbn19](https://www.researchgate.net/publication/349524010_A_model_of_inductive_charging_technique_in_battery_electric_vehiclesBEVs?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7InBhZ2UiOiJwdWJsaWNhdGlvbiIsInByZXZpb3VzUGFnZSI6bnVsbn19)
9. Characteristic Of Photovoltaic Generator For The Electric Vehicle / N. Mohamed, F. Aymen. [Електронний ресурс] – Режим доступу : [https://www.researchgate.net/publication/336553151\\_Characteristic\\_Of\\_Photovoltaic\\_Generator\\_For\\_The\\_Electric\\_Vehicle?\\_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7InBhZ2UiOiJwdWJsaWNhdGlvbiIsInByZXZpb3VzUGFnZSI6bnVsbn19](https://www.researchgate.net/publication/336553151_Characteristic_Of_Photovoltaic_Generator_For_The_Electric_Vehicle?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7InBhZ2UiOiJwdWJsaWNhdGlvbiIsInByZXZpb3VzUGFnZSI6bnVsbn19)
10. Technical and economic comparison of different electric bus concepts based on actual demonstrations in European cities / F. Meishner, D. Sauer. [Електронний ресурс] – Режим доступу : <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1049/iet-est.2019.0014>
11. Valerii Dembitskiy, Vitalij Grabovets, Modeling of a power consumption by bus in the real operating conditions, Transportation Engineering, Volume 14, 2023, 100216, ISSN 2666-691X, <https://doi.org/10.1016/j.treng.2023.100216>
12. Pustiulha, S., Samchuk, V., Samostian, V., Prydiuk, V., Dembitskiy, V. (2023). Influence of the City Transport Route Network Discrete Model Geometrical Parameters on a Quality of a Passenger Traffic System Operation. In: Arsenyeva, O., Romanova, T., Sukhonos, M., Tsegelnyk, Y. (eds) Smart Technologies in Urban Engineering. STUE 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 536. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-20141-7\\_66](https://doi.org/10.1007/978-3-031-20141-7_66)
13. Pustiulha, S., Samchuk, V., Dembitskiy, V., Samostian, V., & Prydiuk, V. (2022). Construction of the Geometrical Models of a Multiple-Factor Optimization of the Technical and Operating Parameters of the Trolleybuses with an Autonomous Move Margin. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 24(1), B29-40. doi: 10.26552/com C.2022.1.B29-B40
14. Dembitskiy, V., Sakhno, V., Murovani, I., Maiak, M. (2024). Using of the Trucks with Electrical Drive on the Farm Enterprises. In: Prentkovskis, O., Yatskiv (Jackiva), I., Skačkauskas, P., Karpenko, M., Stosiak, M. (eds) TRANSBALTICA XIV: Transportation Science and Technology. TRANSBALTICA 2023. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-52652-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-031-52652-7_10)

## REFERENCES

1. Bud'ko V. I / Vykorystannya enerhiyi sonyachnoho vyprominyuvannya ta vitru dlya zaryadzhannya elektromobiliv. [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu : [https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/budko\\_18.10.2019.PDF](https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/budko_18.10.2019.PDF)
2. Havrylyuk A. F. Analiz ekvivalentnoyi palyvnoyi oshchadlyvosti elektromobiliv / A. F. Havrylyuk, M. V. Lemishko // Visnyk L'vivs'koho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttyediyal'nosti : zb. nauk. prats' / Derzhavna sluzhba Ukrainy z nadzvychaynykh sytuatsiy. – L'viv, 2019. – № 20. – S. 85–89.
3. Horenyuk V. V. Syntez ta identyfikatsiya modeley optimal'noho rukhu elektromobilya z asynkhronnym elektroprivodom po skhylakh i pidyomakh dorohy / V. V. Horenyuk // Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu. – 2021. – № 2. – S. 37–44.
4. Otsinka vartostey ekspluatatsiyi transportnykh zasobiv z riznymy typamy sylovykh ustanovok / S. I. Andrusenko, O. S. Buhaychuk, A. V. Loboda, D. O. Savostin–Kosyak // Tekhnichna inzheneriya. – 2020. – № 2. – S. 3–12.
5. Paramud YA. S. Pryntsypy monitorynhu ta keruvannya u merezhi zaryadnykh stantsiy elektrychnykh avtomobiliv / YA. S. Paramud, T. YE. Rak, M. V. Tors'kyi // Komp'yuterni systemy ta merezhi. – 2020. – Т. 2, № 1. – S. 59–67.
6. Rozvytok hromads'koho transportu shlyakhom uprovdzhennya elektrobysiv / O. M. Lozhachevs'ka, S. V. Komanchuk // Derzhava ta rehiony. Ser. Ekonomika ta pidpryyemnytstvo. - 2021. - № 2. - S. 49-54. - Bibliohr.: 9 nazv. - ukp.
7. Arhun SHCH. V. Elektrobusy – perspektyvnyy mis'kyy transport Kharkova / SHCH. V. Arhun // Avtomobil'nyy transport : zb. nauk. prats' / Kharkiv. nats. avtomob.-dor. un-t, Pivnivchno-Skhidnyy nauk. tsentr Transportnoyi akad. Ukrainy. – Kharkiv, 2019. – Vyp. 44. – S. 59–65.
8. A model of inductive charging technique in battery electric vehicles(BEVs) / Partha Mishra, Arpita Bhakta, Rittick Sarkar, Farzana Jasmin. [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu : [https://www.researchgate.net/publication/349524010\\_A\\_model\\_of\\_inductive\\_charging\\_technique\\_in\\_battery\\_ele](https://www.researchgate.net/publication/349524010_A_model_of_inductive_charging_technique_in_battery_ele)



ctric\_vehiclesBEVs?\_tp=eyJjb250ZXh0Ijpb7InBhZ2UiOiJwdWJsaWNhdGlvbIIsInByZXZpb3VzUGFnZSI6bnVs bH19

9. Characteristic Of Photovoltaic Generator For The Electric Vehicle / N. Mohamed, F. Aymen. [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu : [https://www.researchgate.net/publication/336553151\\_Characteristic\\_Of\\_Photovoltaic\\_Generator\\_For\\_The\\_Electr ic\\_Vehicle?\\_tp=eyJjb250ZXh0Ijpb7InBhZ2UiOiJwdWJsaWNhdGlvbIIsInByZXZpb3VzUGFnZSI6bnVs bH19](https://www.researchgate.net/publication/336553151_Characteristic_Of_Photovoltaic_Generator_For_The_Electr ic_Vehicle?_tp=eyJjb250ZXh0Ijpb7InBhZ2UiOiJwdWJsaWNhdGlvbIIsInByZXZpb3VzUGFnZSI6bnVs bH19)

10. Technical and economic comparison of different electric bus concepts based on actual demonstrations in European cities / F. Meishner, D. Sauer. [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu : <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1049/iet-est.2019.0014>

11. Valerii Dembitskiy, Vitalij Grabovets, Modeling of a power consumption by bus in the real operating conditions, Transportation Engineering, Volume 14, 2023, 100216, ISSN 2666-691X, <https://doi.org/10.1016/j.treng.2023.100216>

12. Pustiulha, S., Samchuk, V., Samostian, V., Prydiuk, V., Dembitskiy, V. (2023). Influence of the City Transport Route Network Discrete Model Geometrical Parameters on a Quality of a Passenger Traffic System Operation. In: Arsenyeva, O., Romanova, T., Sukhonos, M., Tsegelnyk, Y. (eds) Smart Technologies in Urban Engineering. STUE 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 536. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-20141-7\\_66](https://doi.org/10.1007/978-3-031-20141-7_66)

13. Pustiulha, S., Samchuk, V., Dembitskiy, V., Samostian, V., & Prydiuk, V. (2022). Construction of the Geometrical Models of a Multiple-Factor Optimization of the Technical and Operating Parameters of the Trolleybuses with an Autonomous Move Margin. Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, 24(1), B29-40. doi: 10.26552/com.C.2022.1.B29-B40

14. Dembitskiy, V., Sakhno, V., Murovanyi, I., Maiak, M. (2024). Using of the Trucks with Electrical Drive on the Farm Enterprises. In: Prentkovskis, O., Yatskiv (Jackiva), I., Skačkauskas, P., Karpenko, M., Stosiak, M. (eds) TRANSBALTICA XIV: Transportation Science and Technology. TRANSBALTICA 2023. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-52652-7\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-031-52652-7_10)

### ***Krochuk A.A. Analysis of research on the development of electrically driven vehicles***

Transport with an electric drive at the current stage of development of science and technology is gaining momentum. Almost every car manufacturer offers either electric or hybrid vehicles in their model line. Scientific studies of motor transport with an electric drive are also actively developing in various directions. The main goal of the work is the analysis of research directions related to the development of vehicles with an electric drive.

Scientific works related to the development of the electric vehicle industry are analyzed. These works highlight the problems faced by the field of electric transport production, as well as the methods of solving and improving these problems, relying on related fields, for example, obtaining electricity for charging transport in a more ecological way. Scientific works related to the operation of motor vehicles with an electric drive were also analyzed.

Elaborated works that show the pros and cons of cars with electric motors. The main drawback is the lack of an adequate number of charging stations and the lack of a qualified level of service for vehicles with an electric engine drive.

During the development of scientific works, attention was drawn to a work that describes a problem related to the production of electricity, namely, obtaining it from the energy of the sun and wind for charging electric vehicles.

Arguments are also presented in the works that push to switch to electric buses for urban passenger transportation. At the moment, when the world is shaken by the hysteria of clean air, this can give a strong impetus for a partial solution to this problem. This will lead to the independence of electric transport from contact electric networks.

**Keywords:** electric vehicles, electric drive, alternative types of electricity, electricbuses.

*КРОЧУК Андрій Анатолійович*, аспірант кафедри автомобілів і транспортних технологій, ЛНТУ, e-mail: [andriykrochk@gmail.com](mailto:andriykrochk@gmail.com)

*Andriy KROCHUK*, Postgraduate, Lutsk National Technical University, e-mail: [andriykrochk@gmail.com](mailto:andriykrochk@gmail.com)

DOI 10.36910/automash.v1i22.1363



Литвин В.В.<sup>1</sup>, Мельнікова Ю.І.<sup>1</sup>, Лазуткін М.І.<sup>2</sup>  
*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна<sup>1</sup>,  
Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя, Україна<sup>2</sup>*

## **КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗМІНИ СХЕМИ РУХУ НА ПЕРЕХРЕСТІ ВУЛ. КАЛИНОВА – ПР. П. КАЛНИШЕВСЬКОГО (М. ДНІПРО)**

У роботі розглянуті сучасні проблеми організації та безпеки дорожнього руху у значних містах України. Проаналізовані дослідження, свідчать, що застосування кругового руху на перехрестях сприяє зниженню аварійності та підвищенню пропускної здатності вулично-дорожньої мережі.

В якості об'єкту дослідження було обране нерегульоване Т-подібного перехрестя вул. Калинова – пр. Петра Калнишевського, м. Дніпро. Метою дослідження є кількісна оцінка ефективності його заміни на кільцевий перетин з круговим рухом.

Для досягнення мети дослідження були розроблені дві імітаційні моделі (нерегульованого Т-подібного перехрестя та кільцевого перехрестя з круговим рухом) у середовищі AnyLogic. У якості вихідних даних були використані результати натурних спостережень інтенсивностей транспортних, які були виконані для ранкової години «пік» з 8<sup>00</sup> до 9<sup>00</sup>.

Результати моделювання, свідчать, що зміна схеми руху на об'єкті дослідження дозволила: зменшити кількість зупинок автомобіля при проїзді перехрестя з 0,31 до 0,09, середній час проїзду перехрестя з 18 с до 14 с, збільшити середню швидкість руху транспортних засобів з 43 до 49 км/год. Значення запропонованого авторами узагальненого комплексного критерію ефективності організації дорожнього руху для Т-подібного нерегульованого перехрестя складає 0,67, а для кільцевого – 0,98. Таким чином, загальна ефективність від зміни схеми руху на об'єкті дослідження становила 47,7 %.

**Ключові слова:** перехрестя з круговим рухом, ефективність, організація дорожнього руху, імітаційне моделювання, транспортно-експлуатаційні показники, AnyLogic.

### **ВСТУП**

Перехрестя, як елемент вулично-транспортної мережі (ВТМ), відіграє важливу роль у забезпеченні ефективності та безпеки дорожнього руху. Вони об'єднують автомобільні, пішохідні, велосипедні та інші потоки, забезпечуючи їх взаємодію та безпечне пересування. На жаль, сьогодні перехрестя переважно є слабкою ланкою транспортної мережі міст. В умовах постійного зростання кількості учасників дорожнього руху і недостатньої пропускної здатності ВТМ збільшується ймовірність виникнення дорожньо-транспортних пригод (ДТП), що в свою чергу призводить до значних людських та матеріальних втрат.

Одним з ефективних заходів підвищення ефективності організації дорожнього руху (ОДР) є застосування кільцевих перетинів з круговим рухом, які сприяють заспокоєнню руху транспортних засобів та зменшенню аварійності.

### **АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Перехрестя вважається одним з найнебезпечніших ділянок дороги, що об'єднує автомобільні, пішохідні, велосипедні та інші потоки. Їх взаємодія та безперешкодне пересування вимагає дотримання учасниками дорожнього руху високої концентрації і дотримання спеціальних правил роз'їзду.

За відомостями патрульної поліції України в Україні у 2023 році відбулось 23 642 ДТП. Однією з вагових причин їх виникнення є порушення правил проїзду перехрестя (рис. 1) [1]. З цієї причини відбулось 2 014 ДТП, при цьому загинуло 73 особи, а травмувалися 2 879 осіб.

Таким чином, дорожня інфраструктура та організація дорожнього руху в Україні потребує комплексного удосконалення. Особливо гостро постає це питання в мегаполісах, де спостерігається стрімкий ріст рівня автомобілізації та кількості населення. Неєфективна ОДР призводить також до проблем, які пов'язані з мобільністю та безпекою громадян. Тому необхідно впроваджувати заходи, що сприяють підвищенню ефективності ОДР для забезпечення безпеки та зручності учасників дорожнього руху. Одним із таких способів є застосування кільцевого руху на перехрестях ВДМ [2-5].

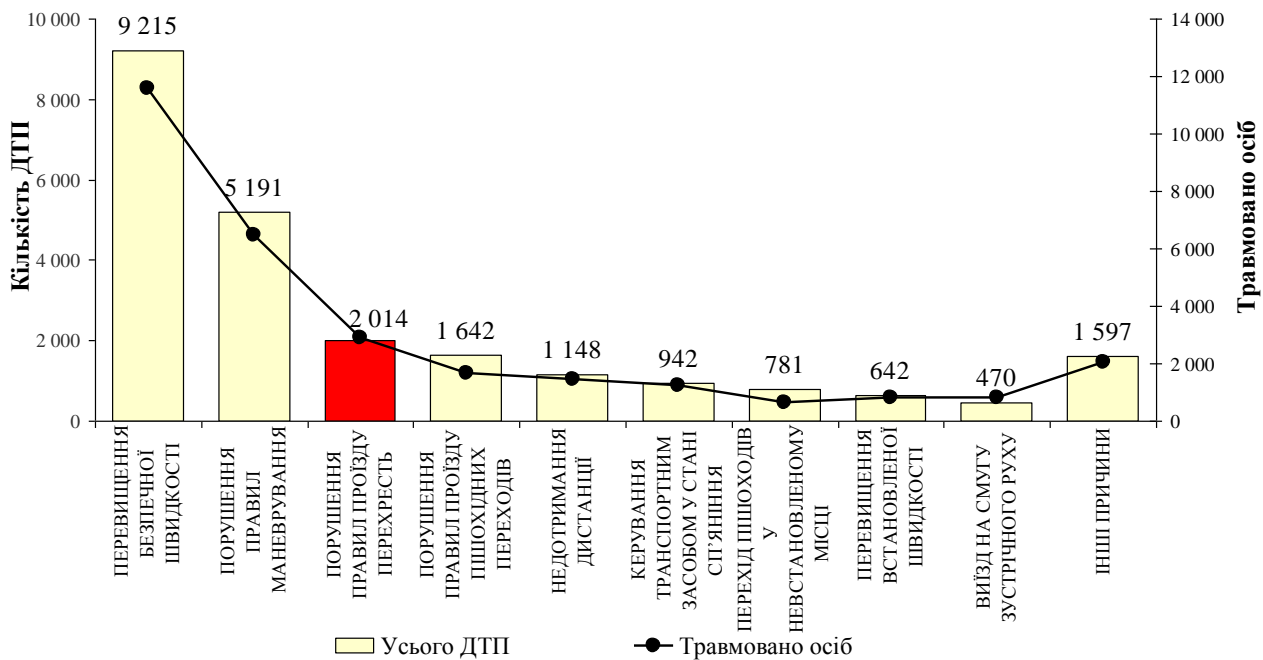


Рисунок 1 – Аналіз причин скоєння ДТП із постраждалими в Україні за 2023 р.

Результати наукових досліджень [6-9], доводять наступні переваги застосування кільцевого перетину у порівнянні з іншими типами перетинів в одному рівні вулично-дорожньої мережі: підвищення безпеки дорожнього руху за рахунок зменшення деяких видів аварій (лобові та під прямим кутом), які призводять до загибелі або травмування учасників дорожнього руху; наявність меншої кількості конфліктних точок (рис.2); підвищення пропускну здатності шляхом зменшення затримки транспортних засобів і заторів; зменшення викидів парникових газів та споживання палива автомобілями через значне зниження прискорення, уповільнення та холостого ходу; відсутність витрат на світлофорне регулювання.

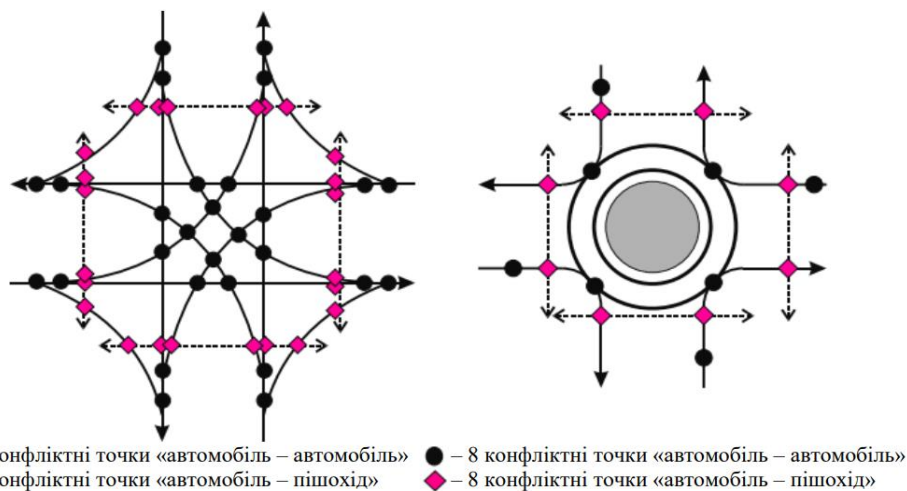


Рисунок 2 – Приклад кількості конфліктних точок на нерегульованому та кільцевому перетинах

Незважаючи на зазначені переваги кругового руху, в Україні відсутня широка практика його застосування на відміну від більшості країн Європейського Союзу. Однією з причин є складність аналізу його ефективності, так як транспортні потоки характеризуються великою розмірністю та неоднорідністю і мають стохастичний характер. У випадку дослідження складних динамічних транспортних систем доцільно використовувати сучасні методи та програмні продукти імітаційного моделювання [10]. Одним з таких продуктів є програмний комплекс AnyLogic (розробник компанія AnyLogic North America), який має вбудовану галузеву *Бібліотеку Дорожнього Руху*. Ця бібліотека є потужним інструментом, який дозволяє детально планувати, проектувати та моделювати транспортні

потоки з урахуванням індивідуальної поведінки кожного водія; виконувати оцінку завантаженості та пропускної спроможності доріг; оптимізувати тривалості фаз світлофорів, тощо.

### ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Департаментом транспорту та транспортної інфраструктури Дніпровської міської ради було прийнято рішення з 14.08.2023 р. [11] запровадити на Т-подібному нерегульованому перехресті вул. Калинова - пр. П. Калнишевського (м. Дніпро) (Рис. 2) нову схему проїзду з круговим рухом (Рис. 3). Дане рішення ґрунтувалося лише на підставі позитивного досвіту реалізації подібних заходів [2-9].

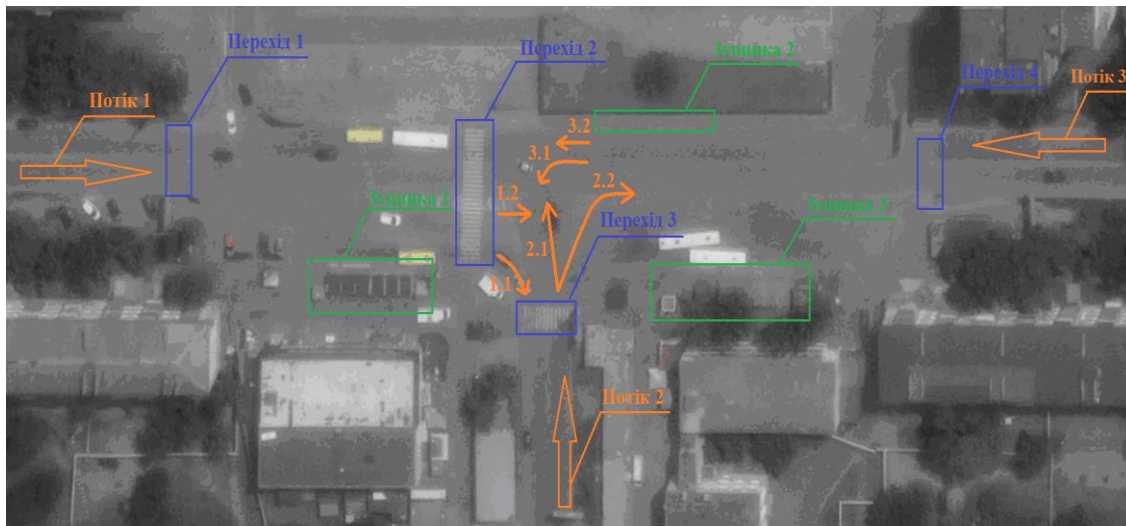


Рисунок 2 – Т-подібне перехрестя вул. Калинова – пр. П. Калнишевського та його основні об'єкти

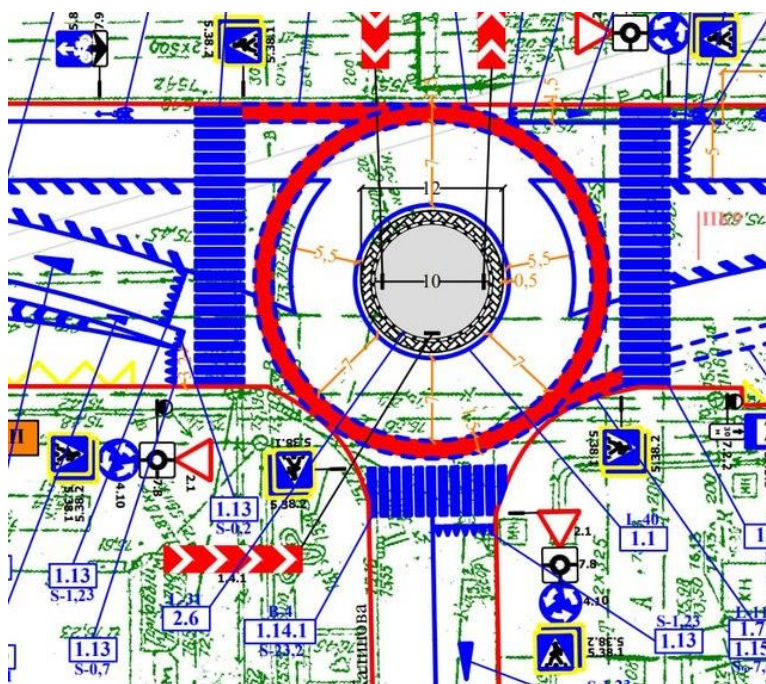


Рисунок 3 – Схема ОДР для перехрестя вул. Калинова – пр. П. Калнишевського після 14.08.2023 [12]

При впровадженні будь-яких проектів, які пов'язані з організацією дорожнього руху та спрямовані на підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі, важливо доводити ефективність їх реалізації ще на стадії проектування. Тому метою даного дослідження є кількісна оцінка ефективності зміни схеми руху на перехресті вул. Калинова – пр. П. Калнишевського за допомогою засобів імітаційного моделювання. У якості програмного продукту було обрано середовище AnyLogic. Для досягнення мети дослідження необхідно вирішити наступні задачі:

1. Визначити інтенсивності транспортних та пішохідних потоків.
2. Розробити дві імітаційні моделі перехрестя для обох схем руху у середовищі AnyLogic.

3. Здійснити моделювання транспортних потоків на перехресті та визначити основні їх кількісні характеристики.

4. Запропонувати структуру узагальненого критерію для комплексної оцінки ефективності функціонування обох варіантів ОДР.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

T-подібне перехрестя просп. П. Калнишевського – вул. Калинова має по 2 полоси руху в кожному напрямку, чотири пішохідних переходи, на ньому розташовані три зупинки міського громадського транспорту: для автобусних маршрутів №31, №95, №95А, №57А (Рис. 2).

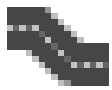
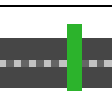

Результати натурних спостережень інтенсивностей транспортних та пішохідних потоків, які були виконані для ранкової години «пік» з 8<sup>00</sup> до 9<sup>00</sup> наведені у табл. 1. Вони були використані у якості вихідних даних для розроблених імітаційних моделей.

Таблиця 1 – Результати натурних спостережень інтенсивностей транспортних потоків з 8<sup>00</sup> до 9<sup>00</sup>

Хвилини	Потік 1	Потік 2	Потік 3	Потік 4	Потік 5	Потік 6
10	26	28	54	19	13	32
20	16	33	32	32	14	39
30	11	37	56	22	11	28
40	20	30	43	15	20	43
50	19	39	36	28	13	36
60	12	19	48	22	16	42
<b>СУМА</b>	<b>104</b>	<b>186</b>	<b>269</b>	<b>138</b>	<b>87</b>	<b>220</b>

Процес створення будь-якої імітаційної моделі у AnyLogic складається з двох етапів: розробка розмітки простору моделі та завдання логіки, що описує процеси, які моделюються. Для побудови розмітки простору перехрестя пр. П. Калнишевського – вул. Калинова для обох моделей були використані наступні елементи: *Road*, *Crossroads*, *Stop Line* та *Bus Stop*. Їх умовні позначення та опис функціоналу наведено у табл. 2.

Таблиця 2 – Елементи AnyLogic, які були використані для побудови розмітки простору перехрестя

Назва елемента	Умовне позначення елемента	Опис функції елемента
Road		Візуально завдає дорогу, яка може містити прямі і вигнуті сегменти. Напрямок руху (правосторонній або лівосторонній) та зовнішній вигляд дороги задаються у властивостях дорожньої мережі
Crossroads		Візуально задає перехрестя. Для завдання регульованого перехрестя необхідно додатково використовувати блок <i>TrafficLight</i> . Дозволяє налаштовувати напрямки руху смуг на перехресті.
Stop Line		Візуально завдає стоп-лінію на дорозі. Може задавати один із наступних дорожніх знаків: <i>Обмеження швидкості</i> , <i>Кінець обмеження швидкості</i> або <i>Поступити дорогу</i> , тим самим впливаючи на дорожній рух біля стоп-лінії
Bus Stop		Візуально завдає автобусну зупинку, яка розташовується на узбіччі дороги (у напрямку руху машин). Для моделювати руху автобусів до зупинки, використовується сумісно з блоком <i>CarMoveTo</i> . Тривалість простою на зупинці моделюється блоком <i>Delay</i> Бібліотеки моделювання процесів.

Геометричні параметри перехрестя (довжина доріг, кількість та ширина смуг, розташування розділювальних ліній, тощо) були встановлені за допомогою супутникового знімка у сервісі «Google



Maps». Розроблені розмітки простору для Т-подібного перехрестя та кільцевого перетину пр. П. Калнишевського – вул. Калинова наведені на рис. 4 та рис. 5 відповідно.

Для завдання логіки руху транспортних засобів були використані наступні блоки: *Car Source*, *Car Dispose*, *Car Move To*, *Road Network Description*, *Delay* та *Select Output*. Їх умовне позначення та опис функціоналу наведено у табл. 3, а сама розроблена модель представлена на рис. 6.

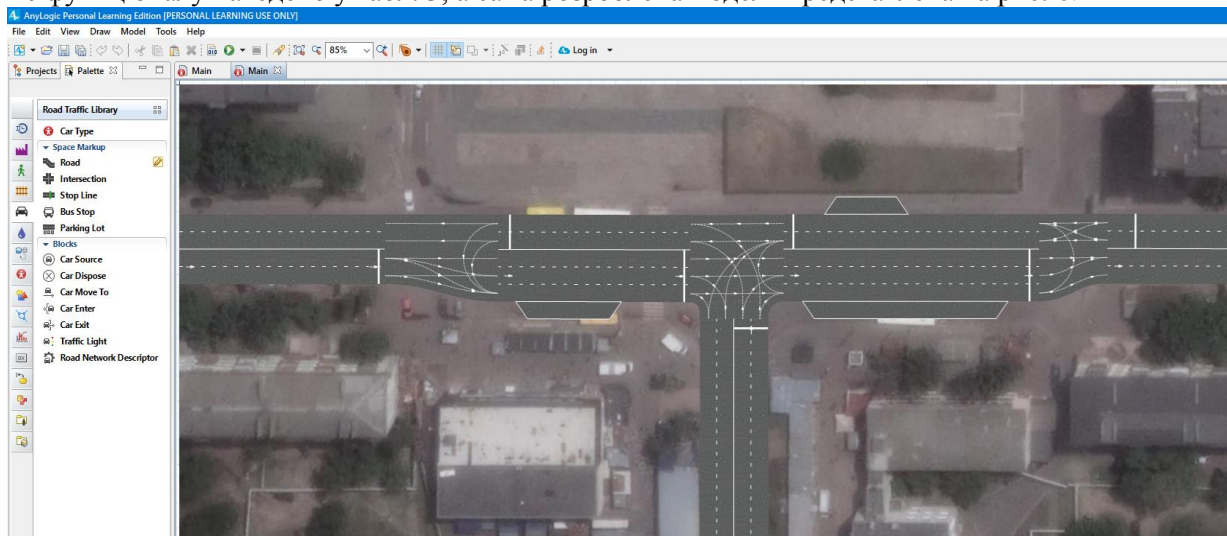


Рисунок 4 – Розмітка простору Т-подібного перехрестя пр. П. Калнишевського – вул. Калинова

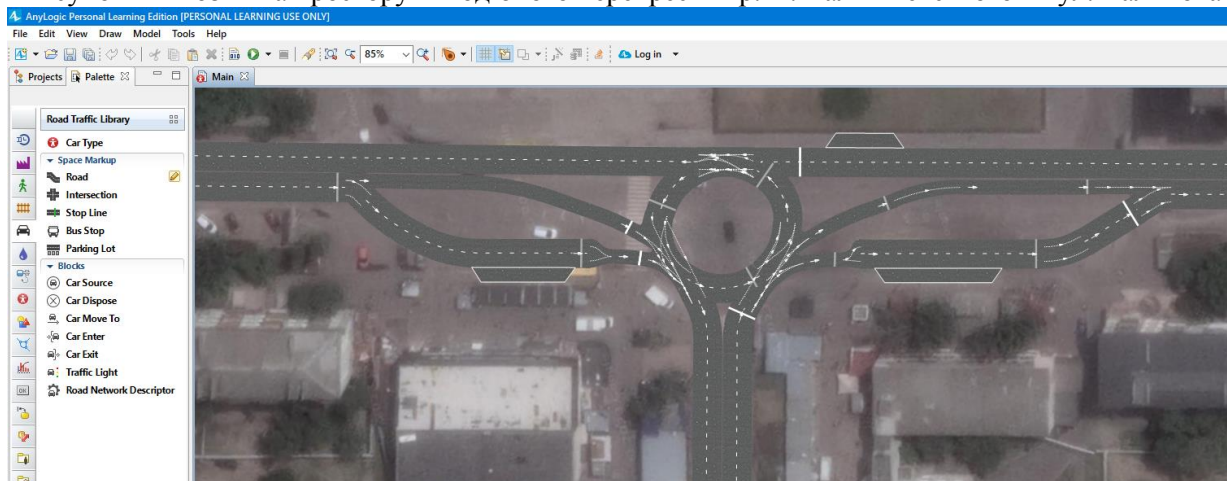




Рисунок 5 – Розмітка простору кільцевого перетину пр. П. Калнишевського – вул. Калинова

Таблиця 3 – Блоки AnyLogic, які були використані для завдання логіки руху транспортних засобів

Назва блоку	Позначення блоку	Опис функціоналу блоку
Car Source		Створює автомобілі та розміщує їх на вказане місце дорожньої мережі (на дорогу або паркувальний майданчик).
Car Dispose		Видаляє автомобілі з моделі.
Car Move To		Керує рухом автомобіля, розраховуючи його шлях від його поточного розташування до вказаного пункту призначення (дороги, паркувального майданчику, автобусної зупинки або стоп-лінії).
Road Network Description		Опціональний блок, який дозволяє задавати дії, що будуть виконуватися при додаванні автомобіля до дорожньої мережі, в'їзді на дорогу, зупинці автомобіля, зміні смуги тощо.



Delay		Моделює простій автобусів на зупинках громадського транспорту.
Select Output		Розподіляє транспортні потоки за напрямками руху.

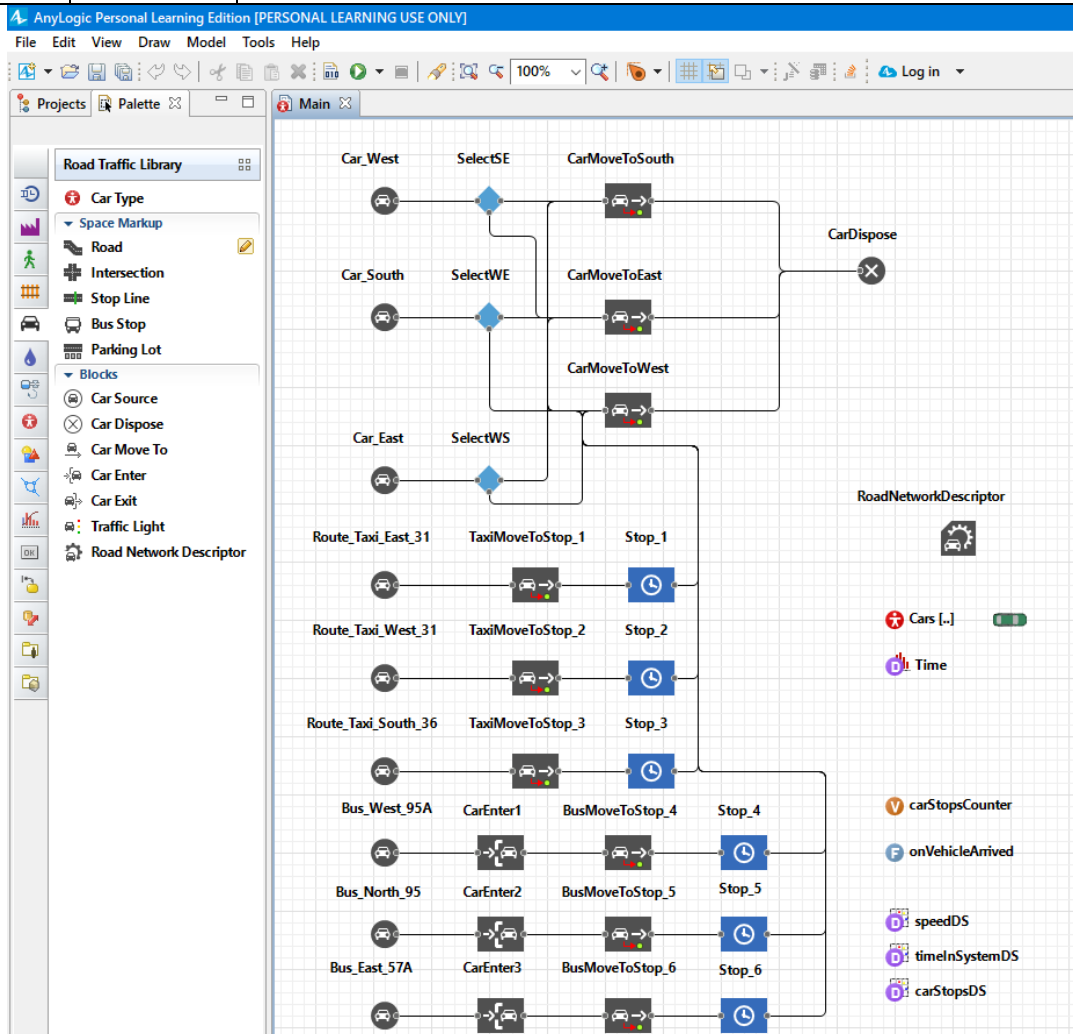


Рисунок 6 – Модель руху транспортних засобів на перехресті пр. П. Калнишевського – вул. Калинова

Якісні та кількісні результати імітаційного моделювання руху транспортних потоків на об’єкті дослідження для обох варіантів ОДР наведені на рис. 7-10.



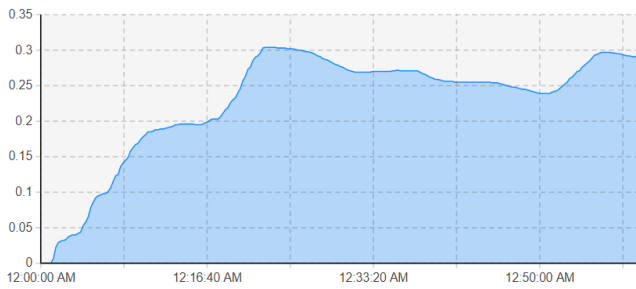
а – Т-подібне нерегульоване перехрестя



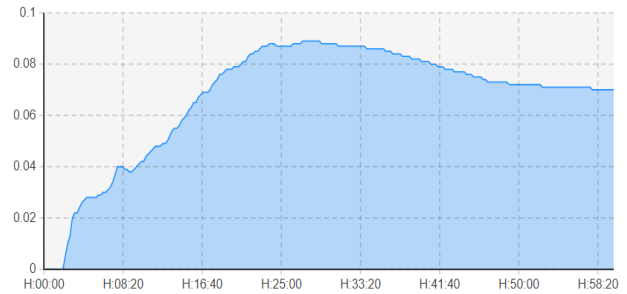
б – кільцевий перетин з круговим рухом

Рисунок 7 – Процес імітації руху транспортних засобів на перехресті

Аналіз інформації, яка наведена на рис. 7-10, свідчить, що впровадження кільцевого руху дозволяє підвищити ефективність організації дорожнього на перехресті пр. П. Калнишевського – вул. Калинова за всіма показниками, які досліджувалися.

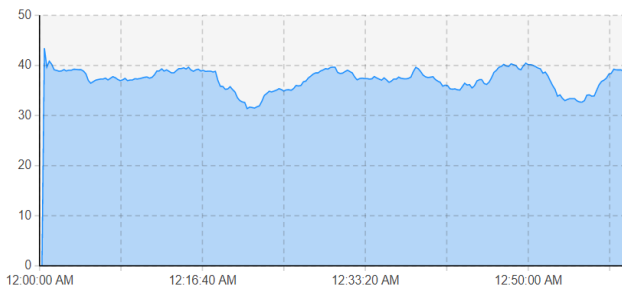


а – Т-подібне нерегульоване перехрестя

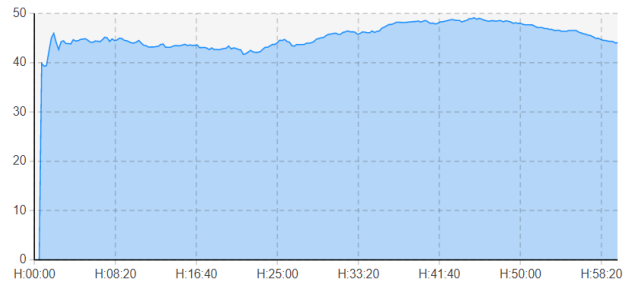


б – кільцевий перетин з круговим рухом

Рисунок 8 – Кількість зупинок автомобіля за час проїзду перехрестя, од.

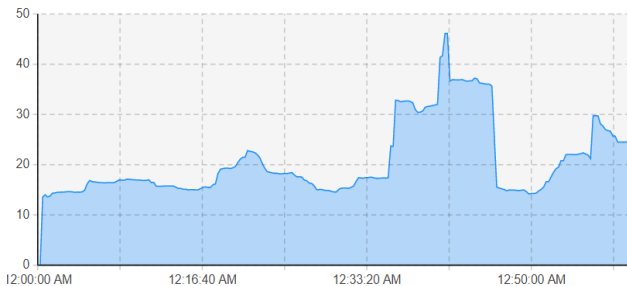


а – Т-подібне нерегульоване перехрестя



б – кільцевий перетин з круговим рухом

Рисунок 9 – Швидкість автомобілів під час проїзду перехрестя, км/год.



а – Т-подібне нерегульоване перехрестя



б – кільцевий перетин з круговим рухом

Рисунок 10 – Тривалість проїзду перехрестя, с

Для запобігання отримання значної похибки під час моделювання (у зв'язку із відтворенням стохастичного характеру руху транспортних засобів) було виконано 20 прогонів моделі. Середні отримані результати наведені у табл. 4.

Таблиця 4 – Середні результати моделювання за 20 прогонів

Показник	Т-подібне перехрестя	Перехрестя з круговим рухом	Відносна різниця, %
Середня кількість зупинок автомобіля на перехресті, од. ( $N_{зуп}$ )	0,31	0,09	-71,0
Середня швидкість руху транспортних засобів, км/год. ( $V$ )	43	49	14,0
Мінімальна тривалість проїзду перехрестя, с. ( $T^{мін}$ )	12	13	8,3
Середня тривалість проїзду перехрестя, с. ( $T^{сер}$ )	18	14	-22,2
Максимальна тривалість проїзду перехрестя, с. ( $T^{макс}$ )	68	45	-33,8

Для комплексної оцінки ефективності зміни схеми руху на перехресті вул. Калинова – пр. П. Калнишевського авторами був запропонований функціонал наступного виду:

$$K_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n k_i^j} \rightarrow \max, (1)$$

де  $k_i^j$  – відносна величина  $j$ -го показника для  $i$ -го варіанту ОДР;  $n$  – кількість показників, що враховуються (табл. 4).

Таким чином, (1) набуває наступного вигляду:

$$K_i = \sqrt[k_i^{N_{зупн}} \cdot k_i^V \cdot k_i^{T_{\min}} \cdot k_i^{T_{\text{сер}}} \cdot k_i^{T_{\max}}] \rightarrow \max (2)$$

Відносні величини  $k_i^j$  були розраховані на наступною залежністю [6]:

$$k_i^j = \begin{cases} \frac{X_i^{j(\text{best})}}{X_i^j}, & \text{якщо } X_i^{j(\text{best})} = \min(X_i^j) \\ \frac{X_i^j}{X_i^{j(\text{best})}}, & \text{якщо } X_i^{j(\text{best})} = \max(X_i^j) \end{cases}, (3)$$

де  $X_i^j$  – абсолютне значення  $j$ -го показника для  $i$ -го варіанту ОДР (табл. 4);  $X_i^{j(\text{best})}$  – найкраще значення  $j$ -го показника для  $i$ -го прогону моделі.

Результати розрахунків  $k_i^j$  за (3) та значень комплексного функціоналу  $K_i$  за (2), наведені у табл. 5 та на рис. 11.

Таблиця 5 – Результати розрахунків відносних показників та узагальненого комплексного критерію

Показник	T-подібне перехрестя	Перехрестя з круговим рухом
Середня кількість зупинок автомобіля на перехресті, од.	0,29	1,00
Середня швидкість руху транспортних засобів, км/год.	0,88	1,00
Мінімальна тривалість проїзду перехрестя, с	1,00	0,92
Середня тривалість проїзду перехрестя, с,	0,78	1,00
Максимальна тривалість проїзду перехрестя, с,	0,66	1,00
Узагальнений комплексний критерій	0,67	0,98

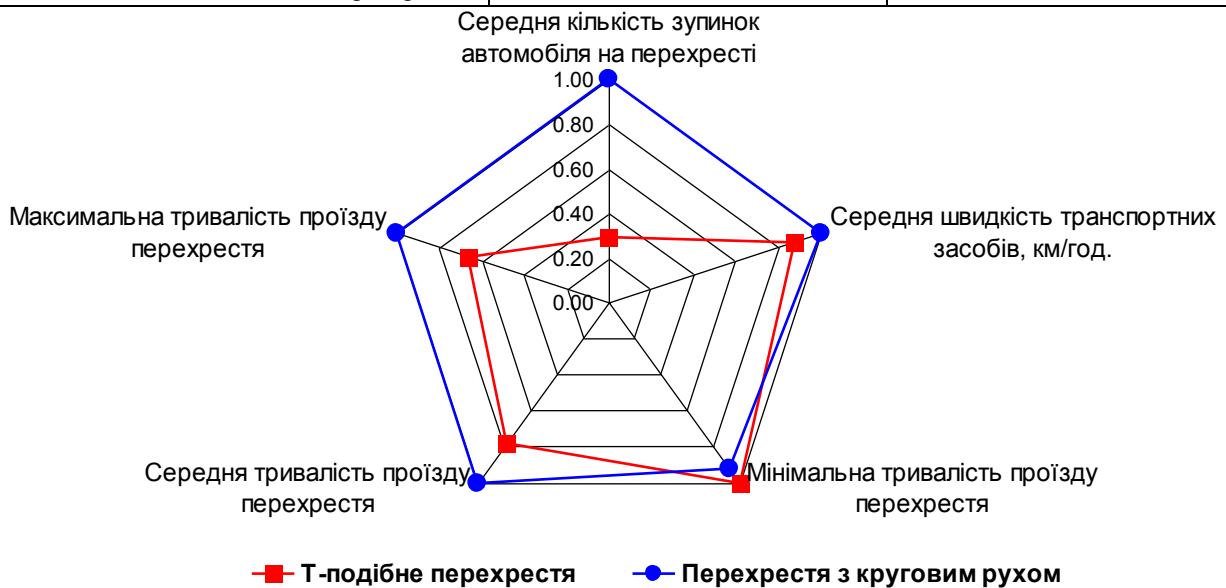


Рисунок 11 – Радарна діаграма відносних показників ефективності ОДР

## ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз отриманих результатів свідчить про наступні переваги та недоліки впровадження кругового руху на перехресті вул. Калинова – пр. П. Калнишевського:

- кількість зупинок автомобілів на перехресті зменшилась на 71%;
- середня швидкість руху автомобілів збільшилась на 14%;
- середня тривалість проїзду перехрестя зменшилась на 22,2%;
- мінімальна тривалість проїзду перехрестя збільшилась на 8,3%;
- максимальна тривалість проїзду перехрестя зменшилась на 33,8%.

Таким чином, спостерігається суттєве покращення за чотирма із п'яти показників, за якими була оцінена ефективність організації дорожнього руху. Слід також відмітити відсутність значних осциляцій значень цих показників протягом періоду моделювання (у порівнянні з Т-подібним перехрестям, рис. 8-10), що свідчить про стабілізацію та рівномірність руху транспортних засобів. Відповідно до значення запропонованого комплексного критерію ефективність організації дорожнього руху підвищилась з 0,67 до 0,98.

## ВИСНОВКИ

За результатами виконаного імітаційного моделювання була доведена доцільність впровадження кільцевого перетину з круговим рухом (замість Т-подібного) на перехресті вул. Калинова – пр. П. Калнишевського, що було реалізовано у м. Дніпро з 14.08.2023 р. Загальна ефективність організації дорожнього руху (за запропонованим комплексним критерієм) на цій ділянці ВДМ склала 47,7%. Такий ефект було досягнуто за рахунок зменшення кількості зупинок автомобілів під час проїзду перехрестя на 71%, середньої тривалості проїзду на 22,2% та збільшенню середньої швидкості руху транспортних засобів на 14%.

В свою чергу, автори вважають, що такі дослідження необхідно здійснювати виключно на стадії проектування, щоб запобігти потенційним негативним наслідкам (соціальним, грошовим, екологічним, технічним) у разі реалізації хибного або неоптимально заходу.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Статистика ДТП в Україні за 2023 рік. Патрульна поліція: веб-сайт. URL: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/> (дата звернення: 26.04.2024).
2. Alkaissi, Z. A. Traffic Simulation of Urban Street to Estimate Capacity, *Journal of Engineering*. 2022. Vol. 28(4), pp. 51-63. doi:10.31026/j.eng.2022.04.04
3. Suh, W., Kim, J. I., Kim, H., Ko, J., and Lee, Y. J. Mathematical analysis for roundabout capacity, *Mathematical Problems in Engineering*. 2018. doi:10.1155/2018/4310894
4. Hatami H., Aghayan I. Traffic efficiency evaluation of elliptical roundabout compared with modern and turbo roundabouts considering traffic signal control. *Promet-Traffic & Transportation*. 2017. Vol. 29(1) P. 1–11. URL: <http://dx.doi.org/10.7307/ptt.v29i1.2053>
5. Mohammed Ali, H.K., and Majid, H.M. Comparative evaluation of roundabout capacities methods for single-lane and multi-lane roundabout. *Journal of Engineering*. 2023. Vol. 29(3), pp.76-97. DOI: <https://doi.org/10.31026/j.eng.2023.03.06>
6. Литвин В. В. Обґрунтування ефективності застосування кільцевого руху на вулично-дорожній мережі м. Дніпро у програмному середовищі PTV VISSIM / В. В. Литвин, І. О. Таран, К. С. Кононенко // *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. - 2019. - № 2. - с. 95-107. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ctmbt\\_2019\\_2\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ctmbt_2019_2_13).
7. Ляшук О. Л. Підвищення ефективності функціонування нерегульованого перехрестя з круговим рухом / О.Л. Ляшук, М.Я. Сташків, О.П. Цьонь, Н.Я. Рожко, У. М. Плекан, Б.Р. Гевко // *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2023. Вип. 8(39), ч.І. — С. 219-229. - Режим доступу: [https://mapiea.kntu.kr.ua/archive/39\\_I/39\\_I\\_Lyashuk3.html](https://mapiea.kntu.kr.ua/archive/39_I/39_I_Lyashuk3.html)
8. Бугайов І.С. Оцінка ефективності впровадження засобів заспокоєння дорожнього руху на перехресті./ Бугайов І.С., Холодова О.О., Бугайова М.О. // *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2023. - №1 (20). - С. 79-86. Режим доступу: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal-mbf/article/view/1036>.
9. Хітров І. О. Оцінка ефективності функціонування перехрестя з круговим рухом./ *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. - 2023. - №2(21). - с. 227-235. - Режим доступу: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal-mbf/article/view/1228>

10. Горбова О. В. Дослідження автомобільних потоків засобами імітаційного моделювання / О. В. Горбова, О. Д. Мерзлий // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. - 2021. - № 5. - С. 36-50. - Режим доступу: <http://stp.diit.edu.ua/article/view/252703>.

11. У Дніпрі зміниться схема руху по просп. Петра Калнишевського. Дніпровська міська рада: веб-сайт. URL: <https://dniprorada.gov.ua/uk/articles/item/58347/u-> (дата звернення: 26.04.2024).

12. У Дніпрі на проспекті Петра Калнишевського з'явилася кільцева розв'язка. dp.informator.ua: веб-сайт. URL: <https://dp.informator.ua/uk/u-dnipri-na-prospekti-petra-kalnishevskogo-z-yavilasya-kilceva-rozv-yazka> (дата звернення: 26.04.2024).

## REFERENCES

1. Statystyka DTP v Ukraini za 2023. Patrolna politsiia: veb-sait. URL: <https://patrolpolise.gov.ua/statystyka/> (data zvernennia: 26.04.2024).

2. Alkaissi, Z. A. (2022). Traffic Simulation of Urban Street to Estimate Capacity. *Journal of Engineering*, 28(4), 51-63. doi: 10.31026/j.eng.2022.04.04.

3. Suh, W., Kim, J. I., Kim, H., Ko, J., and Lee, Y. J. (2018). Mathematical analysis for roundabout capacity, *Mathematical Problems in Engineering*. doi:10.1155/2018/4310894.

4. Hatami H., Aghayan I. (2017) Traffic efficiency evaluation of elliptical roundabout compared with modern and turbo roundabouts considering traffic signal control. *Promet-Traffic & Transportation*, 29(1), 1–11. URL: <http://dx.doi.org/10.7307/ptt.v29i1.2053>.

5. Mohammed Ali, H.K., and Majid, H.M. (2023) Comparative evaluation of roundabout capacities methods for single-lane and multi-lane roundabout. *Journal of Engineering*, 29(3), 76-97. DOI: <https://doi.org/10.31026/j.eng.2023.03.06>.

6. V.V. Litvin, I. O. Taran, K. S. Kononenko (2019). Obgruntuvannya efektyvnosti zastosuvannya kiltsevogo ruhu na vulichno-dorozhniy merezhi m. Dnipro u programnomu seredovischi PTV VISSIM. *Suchasni tehnologiyi v mashinobuduvanni ta transports*, 2, 95-107. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ctmbt\\_2019\\_2\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ctmbt_2019_2_13).

7. Liashuk O. L. (2023) Pidvyshchennia efektyvnosti funktsionuvannya nerehulovanoho perekhrestia z kruhovym rukhom / O.L. Liashuk, M.Ia. Stashkiv, O.P. Tson, N.Ia. Rozhko, U. M. Plekan, B.R. Hevko // *Tsentrálnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*. 8(39), ch. I., 219-229. - URL: [https://mapiea.kntu.kr.ua/archive/39\\_I/39\\_I\\_Lyashuk3.html](https://mapiea.kntu.kr.ua/archive/39_I/39_I_Lyashuk3.html).

8. Buhaiov I.S. (2023) Otsinka efektyvnosti vprovadzhennia zasobiv zaspokoiennia dorozhnogo rukhu na perekhrestii. / Buhaiov I.S., Kholodova O.O., Buhaiova M.O. // *Suchasni tehnolohii v mashynobuduvanni ta transporti*, №1 (20), 79-86. - URL: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal-mbf/article/view/1036>.

9. Khitrov I. O. (2023) Otsinka efektyvnosti funktsionuvannya perekhrestia z kruhovym rukhom. / *Suchasni tehnolohii v mashynobuduvanni ta transporti*, 2(21), 227-235. URL: <https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/jurnal-mbf/article/view/1228>.

10. Horbova O. V. (2019) Doslidzhennia avtomobilnykh potokiv zasobamy imitatsiinoho modeliuvannya / O. V. Horbova, O. D. Merzlyi // *Nauka ta pphpes transp. Visn. Dnipr. nats. un-tu zalizn. transp. im. akad. V. Lazariana*, 5, 36-50. URL: <http://stp.diit.edu.ua/article/view/252703>.

11. У Дніпрі зміниться схема руху по просп. Петра Калнышевського. Дніпровська міська рада: веб-сайт. URL: <https://dniprorada.gov.ua/uk/articles/item/58347/u-> (дата звернення: 26.04.2024).

12. У Дніпрі на проспекті Петра Калнышевського з'явилася кільцева розв'язка. dp.informator.ua: веб-сайт. URL: <https://dp.informator.ua/uk/u-dnipri-na-prospekti-petra-kalnishevskogo-z-yavilasya-kilceva-rozv-yazka> (дата звернення: 26.04.2024).

### **V. Litvin, Yu. Melnikova, M. Lazutkin. Quantitative assessment of the effectiveness of traffic pattern changes at the crossroad of Kalynova Street and P. Kalnyshvsky Avenue (Dnipro City)**

Modern problems of traffic organization and its safety in large cities of Ukraine are considered in this study. Having analysed the variety of studies dealing with this problem it can be concluded that the use of roundabouts at the crossroads helps reduce accidents and increases the road network capacity.

The unregulated T-junction of Kalynova Street and P. Kalnyshvsky Avenue (Dnipro city) has been chosen as the study object. The purpose of the study is to provide a quantitative assessment of the technical and operational efficiency in the case of changing the traffic pattern to a roundabout.

To achieve the research objective, two simulation models (an uncontrolled T-junction and a roundabout) have been developed in the AnyLogic environment. The initial data were the results of field



observations of transport and pedestrian flow intensity carried out for the morning rush hours within the period from 8 a.m. till 9 a.m.

Simulation results indicate that changing the traffic pattern at the research site made it possible to: reduce the number of car stops at the crossroad from 0.31 to 0.09, decrease the average time to travel through the crossroad from 18 s to 14 s, and increase the average vehicle speed from 43 km /h up to 49 km/h.

The value of the generalized complex criterion proposed by the authors in terms of the traffic management efficiency for the T-junction is 0.67, and for the roundabout it equals 0.98. Therefore, the overall effectiveness in the case of changing the traffic pattern at the crossroad of Kalynova Street and P. Kalnyshevsky Avenue is 47.7%.

**Keywords:** roundabout, efficiency, traffic management, simulation modeling, transport and operational indicators, AnyLogic.

*ЛИТВИН Вадим Вікторович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Управління на транспорті», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», e-mail: litvin.v.v.79@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-1572-9000>.

*МЕЛЬНИКОВА Юлія Ігорівна*, старший викладач кафедри «Управління на транспорті», Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», e-mail: yulaskripa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7023-023X>.

*ЛАЗУТКІН Микола Іванович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Охорона праці і навколишнього середовища», Національний університет «Запорізька політехніка», e-mail: ni\_1646lz@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0002-2926-7986>.

*Vadim LITVIN*, Candidate of Technical Science, Associate Professor of Transport Management Department, National Technical University “Dnipro Polytechnic”, e-mail: litvin.v.v.79@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-1572-9000>.

*Yuliia MELNIKOVA*, Senior Lecturer of Transport Management Department, Dnipro University of Technology, e-mail: yulaskripa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7023-023X>.

*Mykola LAZUTKIN*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Labor and Environmental Protection Department, Nazional University «Zaporizhzhya Politechnic», e-mail: ni\_1646lz@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0002-2926-7986>.

DOI 10.36910/automash.v1i22.1364

УДК 629.331  
UDC 629.331Манзяк<sup>1</sup> М.О., Хома<sup>2</sup> В.В., Грубель<sup>1</sup> М.Г., Крайник<sup>2</sup> Т.Л.<sup>1</sup> Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного, Львів, Україна<sup>2</sup> Львівський національний аграрний університет, Дубляни, Жовківський р-н, Львівська обл., Україна

## УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ПЛАВНОСТІ ХОДУ ДЛЯ АВТОМОБІЛЯ ПІДВИЩЕНОЇ ПРОХІДНОСТІ

У статті проведено аналіз існуючих методик оцінки впливу віброколивних навантажень, які виникають при русі автомобілів різними опорними поверхнями і мають вплив на їх експлуатаційні характеристики. Зазначені методики дозволяють вже на етапі проектувальних робіт, при створенні нових автомобілів чи удосконаленні існуючих, вносити певні коригування у конструкцію автомобіля для підвищення плавності його ходу. За результатами проведених досліджень встановлено, що більшість існуючих методик дозволяють оцінити плавність ходу автомобілів твердими опорними поверхнями. Складнішою є ситуація при виготовленні повнопривідних автомобілів, які є вкрай необхідними для роботи в умовах бездоріжжя, особливо при застосуванні їх під час ведення бойових дій.

На базі проведених досліджень щодо визначення методик оцінки плавності ходу запропоновано удосконалену Simulink-модель руху повнопривідного автомобіля по дорозі з визначеним мікропрофілем для отримання значень вібропоказників роботи його підвіски.

За результатами проведеного моделювання руху повнопривідного автомобіля встановлено працездатність та адекватність удосконаленої методики оцінки плавності ходу повнопривідного автомобіля для визначених умов руху. Зокрема адекватність Simulink-моделі підтверджується співставимістю результатів моделювання на автодорозі однакової категорії з результатами інших досліджень. Практична значимість при оцінці ефективності вібопоглинаючих характеристик сидінь – віброприскорення підпружиненого сидіння водія у порівнянні з віброприскореннями підлоги кузова менші у 2-2,5 рази, а вертикальні прискорення жорстких сидінь членів екіпажу практично є нижчими 1,5-2 рази у порівнянні з корпусом автомобіля. Це дозволяє здійснювати підбір характеристик та оцінювати ефективність, окрім підвіски, також і сидінь автомобіля.

**Ключові слова:** повнопривідний автомобіль, підвищена прохідність, підвіска, бездоріжжя, плавність ходу, моделювання, система підресорювання.

### ВСТУП

З початком повномасштабного вторгнення російської федерації на територію України проблема модернізації існуючих та розроблення нових зразків військової автомобільної техніки (ВАТ) для потреб Збройних Сил (ЗС) набула нової актуальності. Аналіз концепцій розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ країн-членів НАТО, КНР підтверджує широку перспективу розгортання робіт щодо розроблення нових та удосконалення існуючих зразків ВАТ різноманітного призначення – бойових, командно-штабних, самохідних, транспортних, рухомих засобів технічного обслуговування та ремонту, санітарних тощо. Однією із характерних особливостей сучасних зразків ВАТ, які обумовили гостру необхідність удосконалення конструкції, стало їх бронювання. Таке доопрацювання конструкції автомобіля збільшує його повну масу і суттєво впливає на основні експлуатаційні характеристики. За досвідом ведення збройних конфліктів останніх десятиліть та російсько-Української війни, все більшого розповсюдження набувають спеціальні ударні автомобілі (СУА): у легкому класі – типу баггі; у середньому класі – типу “джип”, та колісна ВАТ у важкому класі. Крім того широко використовуються тактичні автомобілі, які адаптуються під бойові платформи для монтажу різноманітного озброєння. За таких умов все більшої актуальності набувають питання удосконалення методик оцінки основних експлуатаційних характеристик ВАТ.

Розроблення сучасних конструкцій підвісок пов'язано із критеріями конструктивної досконалості підвіски, а саме: необхідна плавність ходу, стійкість руху, керованість та прохідність автомобіля, а також висока довговічність усіх деталей підвіски. Складні коливальні процеси, що виникають при русі автомобіля нерівними опорними поверхнями (ОП), залежать від конструктивних елементів підвіски. Плавність ходу є однією з визначальних експлуатаційних характеристик і більш значимою порівняно з іншими складовими комфортності руху: мікрокліматом у салоні, легкістю керування, ергономікою і розміщенням сидінь, шумністю руху тощо. Тому саме методики оцінки плавності ходу автомобілів підвищеної прохідності і є предметом дослідження даної статті.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

У роботі [1] наведено результати дослідження щодо покращення продуктивності пасивної підвіски автомобіля за рахунок впровадження елементів активної підвіски, що призводить до споживання значної потужності та великих зусиль приводу. Щоб збалансувати динамічну

продуктивність і потребу в потужності й силі, пасивна та активна частини підвіски повинні бути розроблені разом і працювати синергетично. За результатами проведених досліджень встановлено, що у порівнянні з традиційною комбінованою підвіскою запропонована конструкція має кращі віброколивні характеристики і певні компромісні рішення між комфортом їзди та необхідною активною силою.

У роботі [2] подано переваги використання Simulink-моделей для дослідження систем підресорювання (СП) автомобілів. Зазначений ресурс імітаційного моделювання дозволяє моделювати систему, вивчати характер реакції системи на різноманітні вхідні дані й початкові умови, перевіряючи при цьому отримані результати у своїй моделі. Також можна спостерігати, як впливають зміни параметрів системи на її реакцію, і проводити налаштування параметрів своєї графічної моделі, спостерігаючи за результатами в областях моделі.

У роботі [3] розроблено методику оцінки плавності ходу автомобілів за умов руху неоднорідними ділянками доріг. Наведена розрахункова методика базується на ймовірнісному моделюванні умов руху автомобіля шляхом синтезу певного показового їздового циклу для оцінки плавності ходу, аналогічного їздовим циклам, що використовуються для моделювання й випробування на паливну ощадливість. Однак наведену методику складно використовувати для оцінки плавності ходу повнопривідного автомобіля, оскільки для належної точності вона потребує правильного формування випробувального циклу. Також для цього необхідно провести широкі статистичні випробування автомобілів різних класів для встановлення розподілу пробігу, зокрема часу руху різними типами доріг, а також вибір типів доріг для включення їх до випробувального циклу.

У роботі [4] наведена розрахункова методика, де у якості об'єкта моделювання прийнята двомасова коливальна система, що являє собою спрощену модель локальної підвіски автомобіля. Крім того, в даній роботі розглядаються процеси моделювання і оптимізації підвіски за критерієм вертикальних віброприскорень підресореної маси при русі об'єкта дослідження двома типами доріг у заданому швидкісному режимі. Такий підхід є корисним із точки зору самої методики досліджень підвіски, але потребує доопрацювання відповідності підвісок більшості автомобілів, які повинні відповідати середньостатистичним умовам роботи автомобіля і для більшого діапазону швидкостей.

У роботі [5] досліджено плавність ходу автобусів та віброколивних навантажень, що діють на пасажирів. У роботі створено імітаційну модель, завдяки якій можна ще на стадії проектування оцінити показники вібронанвантажень, що діють на пасажирів – тобто чинити безпосередній вплив на комфортність перевезень. Для дороги II категорії проведені імітаційні моделювання із різними типами задньої підвіски за різних ступенів завантаження з визначенням кількісних значень у характерних місцях автобуса.

### **ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Створення математичної моделі та алгоритму оцінки плавності ходу повнопривідного автомобіля на різних типах ОП шляхом імітаційного моделювання у програмному середовищі Matlab Simulink.

Відповідно сформовано наступні задачі дослідження:

розробка двомірної математичної моделі двовісного автомобіля підвищеної прохідності з урахуванням характеристик передньої та задньої підвісок і шин, мікропрофілю і фізико-механічних характеристик ОП;

формування і реалізація відповідного алгоритму імітаційного моделювання руху і віброколивних навантажень у вертикальній та поздовжній площинах на автомобіль та екіпаж у програмному середовищі Matlab Simulink;

оцінка адекватності розробленої методики комп'ютеризованої оцінки шляхом співставлення з відомими результатами моделювання та досліджень автомобілів на аналогічних твердих поверхнях – автомобільних дорогах;

оцінка пружно-демпфуючих характеристик передньої та задньої підвісок, а також сидінь водія і екіпажу (з урахуванням їхнього розміщення стосовно центру мас автомобіля) для заданих типів ОП та швидкості руху.

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Виходячи з особливостей експлуатації автомобілів у різноманітних умовах руху проблема адекватної кількісної оцінки плавності ходу серійних і проєктованих автомобілів, незважаючи на численні дослідження залишається актуальною. При цьому однією з основних проблем, що виникають при синтезі пасивних СП, є необхідність прийняття компромісного проєктного рішення

вибору параметрів віброзахисних систем. Це пов'язано з тим що параметри СП, які є задовільними для руху дорогами високої якості, дуже часто є незадовільними для доріг нижчої якості й навпаки [3].

Рух зразка колісної ВАТ нерівними дорогами викликає вібрації його підресорених і непідресорених частин. Вібрації під мають шкідливий вплив на водія, пасажирів і вантажі, погіршують умови роботи агрегатів та деталей, руйнують дорожнє покриття тощо. Вібрації підресореної частини машини викликають втомленість водіїв, створюючи для них дискомфортні (а інколи й небезпечні) умови, внаслідок чого водії знижують швидкість руху.

У випадку базового збурення ми фактично стикаємося із двома входами у систему – у передній і задній осях автомобіля. Передавальна функція від кожного входу має поліном 3-го степеня у чисельнику і поліном 4-го степеня у знаменнику. Також необхідно врахувати, що у випадку коливної системи автомобіля таких функцій є 4. Тому знайти реакцію системи шляхом ручного розрахунку – складна задача. В області вібрацій найпростішою моделлю, що описує систему, є лінійна модель дискретної системи із необхідними параметрами, яка вимагає значних аналітичних і обчислювальних зусиль для систем із більш ніж 2 ступенями вільності. У таких випадках використання програмного забезпечення MATLAB має важливе значення для отримання чисельних результатів, щоб зрозуміти і пояснити поведінку системи. Наприклад, власні частоти і форми коливань моделі автомобільної підвіски з чотирма ступенями вільності, як правило являють собою пари комплексних спряжень, для яких ручні обчислення є складною а інколи й неможливою задачею. Поряд із тим такі дослідження можливо провести за допомогою MATLAB, і це кращий підхід до пояснення концепцій та принципів вібрацій, що допомагає інтегрувати чисельні методи, які доступні в більшості програм імітаційного моделювання з теорією.

Подібний підхід до визначення вібраційних навантажень визначено також у [5] де зокрема зазначається, що математичне моделювання віброколивань у салоні автобуса, які описуються громіздкою системою рівнянь, дозволяє кількісно (амплітудні значення пікових вібронавантажень, час згасання коливань) та якісно (візуальне співставлення графіків коливань) оцінити демпфуючі характеристики підвіски та сидінь у різних, найбільш характерних точках салону автобуса. Разом із цим, використання лише математичного апарату є цілком не виправданим із точки зору ресурсозатратності та ефективності для оцінки різноманітних варіантів. Тому для реалізації математичної моделі коливань у різних точках салону автобуса доцільно скористатися можливостями системи імітаційного моделювання Matlab Simulink. Виходячи з цього, реалізацію еквівалентної моделі динаміки руху повнопривідного автомобіля різними ОП також пропонується реалізувати за допомогою системи імітаційного моделювання Matlab Simulink, враховуючи наявність системи рівнянь опису поздовжнього руху вертикальних коливань та взаємодії шин з нерівною ОП. Очевидно, що перевагою цього підходу є також можливість розрахунку динаміки підресорених і непідресорених мас автомобіля як при заданні детермінованого, табульованого опису мікро- і макропрофілю конкретного типу ОП, так і задання узагальнених характеристик макропрофілю ОП.

Ґрунтуючись на описаних математичних залежностях, відомих із теорії автомобіля та застосованих у [5-8], які дозволяють оцінити найбільш вібронавантажені точки для водія та екіпажу, а також прийнявши можливість спростити описану просторову коливну модель до аналогічної моделі в двох координатних осях (горизонтальній та вертикальній) побудовано спрощену розрахункову схему підвіски повнопривідного автомобіля, зображеної на рис. 1.

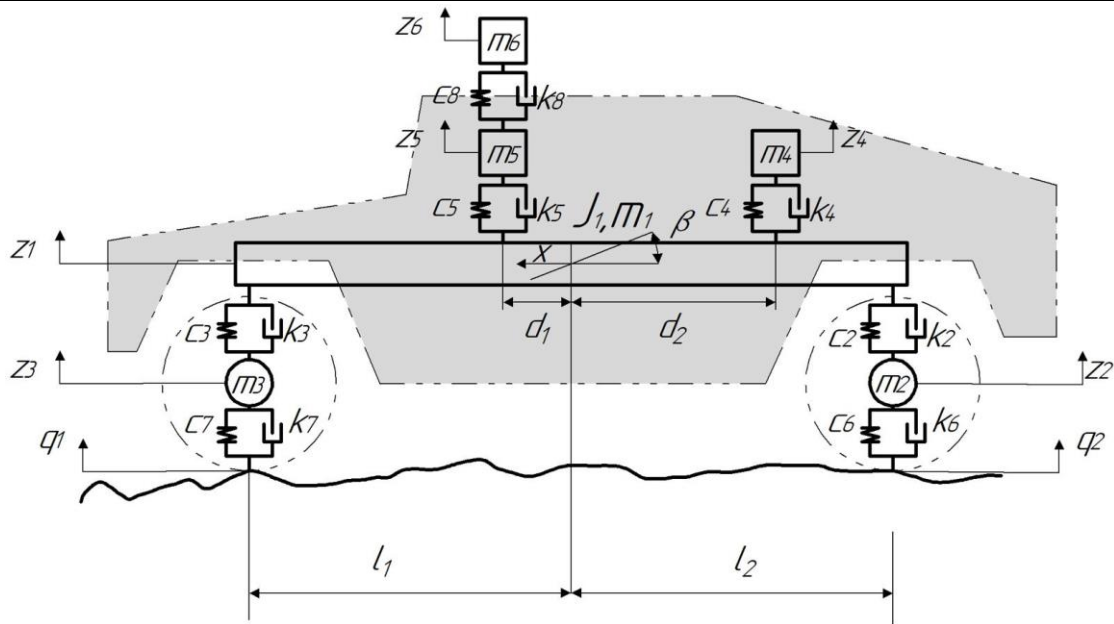


Рисунок 1 – Спрощена розрахункова схема підвіски повнопривідного автомобіля з водієм та екіпажем:  $z_6$  – вертикальні переміщення водія;  $z_5$  – вертикальні переміщення не підресореної частини сидіння водія;  $z_4$  – вертикальні переміщення членів екіпажу, сидіння яких розташовані в базі;  $z_1$  – вертикальні переміщення центру мас кузова автомобіля;  $z_2, z_3$  – відповідно вертикальні переміщення коліс переднього та заднього моста автомобіля;  $q_1, q_2$  – відповідно збурення з боку дороги, що діють на передні та задні колеса автобуса;  $m_6, m_4$  – маса водія та пасажирів відповідно;  $m_1$  – маса підресорених частин автомобіля;  $m_2, m_3$  – відповідно маси не підресорених частин підвіски автомобіля;  $m_5$  – не підресорена маса сидіння водія автобуса;  $l_1, l_2$  – відповідно відстань від центру мас автобуса до передніх та задніх коліс;  $d_1, d_2$  – відстань від центру мас автобуса до відповідних сидінь водія та пасажирів;  $\beta$  – кутові переміщення автомобіля навколо осі, що проходить перпендикулярно до площини рисунка

Основними відмінностями наведеної спрощеної розрахункової схеми підвіски повнопривідного автомобіля є те, що водій та члени екіпажу розміщені по його базі на визначених відстанях від центру мас. Також сидіння водія обладнано вторинним підресорюванням. Розрахункова схема підвіски повнопривідного автомобіля описана рівняннями для визначення віброприскорень.

$$\ddot{\beta} = \frac{1}{J_1} [ -d_1 ((-k_5(\dot{z}_1 - \dot{z}_5 + d_1 \cdot \dot{\beta}) - c_5(z_1 - z_5 + d_1 \cdot \beta)) + d_2 ((-k_4(\dot{z}_1 - \dot{z}_4 - d_2 \cdot \dot{\beta}) + c_5(z_1 - z_4 - d_2 \cdot \beta)) - l_1 ((k_3(\dot{z}_3 - \dot{z}_1 + l_1 \cdot \dot{\beta}) + c_3(z_3 - z_1 + l_1 \cdot \beta)) + l_2 (k_2(\dot{z}_2 - \dot{z}_1 - l_2 \cdot \dot{\beta}) + c_2(z_2 - z_1 - l_2 \cdot \beta))) ] \quad (1)$$

$$\ddot{z}_1 = \frac{1}{m_1} [ -k_5(\dot{z}_1 - \dot{z}_5 + d_1 \cdot \dot{\beta}) + k_4(\dot{z}_1 - \dot{z}_4 - d_2 \cdot \dot{\beta}) - c_5(z_1 - z_5 + d_1 \cdot \beta) - c_4(z_1 + z_4 - d_2 \cdot \beta) + k_3(\dot{z}_3 - \dot{z}_1 - l_1 \cdot \dot{\beta}) + k_2(\dot{z}_2 - \dot{z}_1 - l_2 \cdot \dot{\beta}) - c_3(z_3 - z_1 - l_1 \cdot \beta) + c_1(z_2 - z_1 + l_2 \cdot \beta) ] \quad (2)$$

$$\ddot{z}_2 = \frac{1}{m_2} [ -k_2(z_2 - z_1 - l_2 \cdot \beta) - c_2(\dot{z}_2 - \dot{z}_1 + l_2 \cdot \dot{\beta}) + k_6(q_2 - z_2) + c_6(\dot{q}_2 - \dot{z}_1) ] \quad (3)$$

$$\ddot{z}_3 = \frac{1}{m_2} [ -k_3(z_3 - z_1 - l_1 \cdot \beta) - c_3(\dot{z}_3 - \dot{z}_1 + l_1 \cdot \dot{\beta}) + k_7(q_3 - z_3) + c_7(\dot{q}_3 - \dot{z}_3) ] \quad (4)$$



$$\ddot{z}_4 = \frac{1}{m_4} [k_3(z_1 - z_4 - d_2 \cdot \beta) + c_4(\dot{z}_1 - \dot{z}_4 + d_2 \cdot \dot{\beta})] \quad (5)$$

$$\ddot{z}_5 = \frac{1}{m_5} [k_5(z_1 - z_5 - d_4 \cdot \beta) + c_5(\dot{z}_1 - \dot{z}_5 + d_4 \cdot \dot{\beta}) - k_{10}(z_5 - z_8) - c_{10}(\dot{z}_5 - \dot{z}_8)] \quad (6)$$

$$\ddot{z}_6 = \frac{1}{m_6} [k_8(z_5 - z_6) + c_8(\dot{z}_5 - \dot{z}_6)] \quad (7)$$

Загальна структура імітаційної моделі прямолінійного руху повнопривідного автомобіля у програмному середовищі Matlab-Simulink та структура досліджень його плавності ходу, зокрема впливу віброколивних навантажень на водія та екіпаж, отримання значень вібропоказників роботи підвіски представлена на рис. 2.

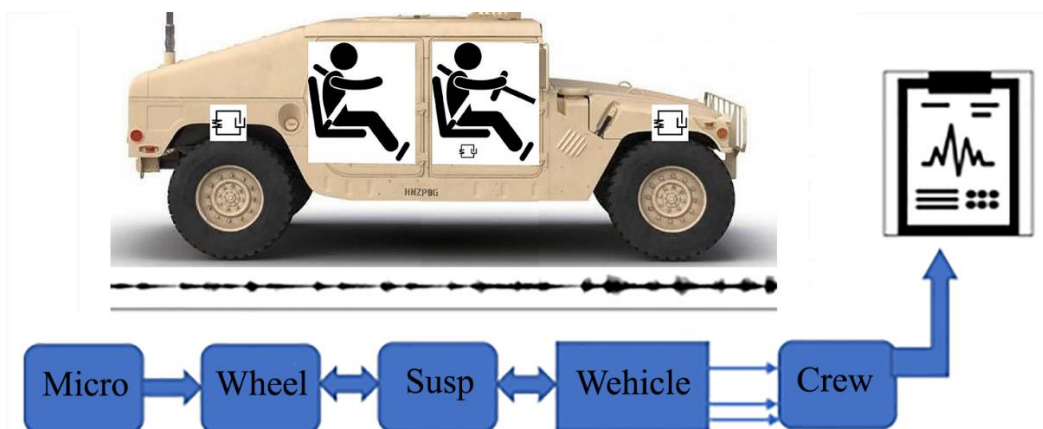


Рисунок 2 – Загальна структурна схема імітаційної моделі руху повнопривідного автомобіля дорозі з визначеним мікропрофілем

Статистичні характеристики мікропрофіля дорожнього покриття (табл. 1) задаються дисперсією висот мікропрофіля і загальним апроксимованим виразом

$$\rho_q(t) = \sum_{i=1}^n A_i k_8 e^{-\alpha[l]} \cos \beta_i l, \quad (8)$$

де  $A_i$ ,  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$  – коефіцієнти, що характеризують ступінь нерегулярності та вузькосмуговість випадкової функції мікропрофіля

Таблиця 1 - Коефіцієнти апроксимації кореляційної функції для кожного типу доріг

Тип дороги	Дисперсія висот $D_q \cdot 10^4, \text{ м}^2$	$A_1$	$A_2$	$\text{м}^{-1}$			
				$\alpha_1$	$\beta_1$	$\alpha_2$	$\beta_2$
I	0,36	1,000	0	0,15	0	0	0
II	1,21	1,000	0	0,45	0	0	0
III	8,41	0,850	0,15	0,15	0	0,2	2,00

Для формування вхідного сигналу у вигляді збурень від мікропрофіля дорожнього покриття використовуються залежності, що описують характеристики мікропрофілю і задаються дисперсією висот і загальним апроксимованим виразом нормованої кореляційної функції запишемо у вигляді функції випадкової величини:

$$\frac{d}{dt} Z_R(t) = -\alpha V Z_R(t) + \omega(t), \quad (9)$$

де  $\omega(t)$  – дискретний білий шум із відповідною спектральною щільністю  $\psi\omega$ ;  $\alpha$  – величина, обернена до сталої часу, що залежить від типу дорожнього покриття, рад/м;  $V$  – швидкість руху.

Залежність (9) зручно реалізувати засобами Matlab-Simulink у такому вигляді (рис. 3):

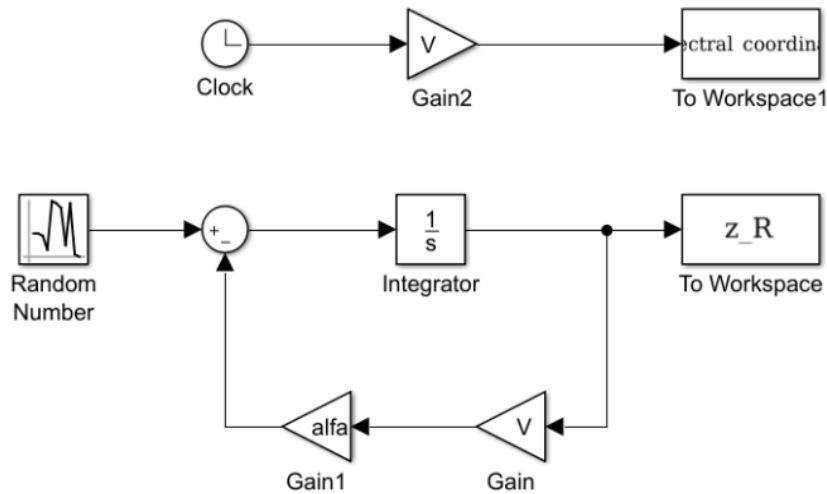


Рисунок 3 – Структурна схема реалізації мікропрофілю дороги в середовищі Matlab-Simulink

Для оцінки адекватності математичної та, відповідно, імітаційної моделі проведемо розрахунки вібронавантаженості водія та екіпажу повнопривідного автомобіля. Відповідно до схеми (рис. 3) задамось вхідними параметрами, що відповідають технічній характеристиці автобуса і представлені в табл. 2.

Таблиця 2 – Короткі технічні характеристики повнопривідного автомобіля

Параметр	Значення	
	Передня вісь	Задня вісь
Споряджена маса, кг	2000	
Підресорена маса, кг	950	800
Непідресорена маса, кг	125	125
Сумарна жорсткість підвіски, Н*м	150 000	150 000
Сумарне демпфування амортизаторів, Н*с/м	30 000	30 000
Хід підвіски, м	0,355	0,355
Сумарна жорсткість шин, Н*м	400 000	400 000
Віддаль від водія до центру мас, м	0,5	
Віддаль від пасажирів до центру мас, м	1,5	
Віддаль до центру мас, м	1,07	2,23
Колісна база, м	3,3	
Момент інерції кузова, кг*м <sup>2</sup>	4332	

Загалом за допомогою зазначеної моделі, поряд із вертикальними переміщеннями для оцінки плавності ходу необхідно визначити фактичні віброприскорення, які відчувають водій та члени екіпажу при русі дорогами із визначеним мікропрофілем [9]. Тому для повнопривідного автомобіля визначають віброприскорення на сидіннях водія, членів екіпажу, а також прискорення корпусу в центрі мас. Крім того, моделювання проводилось при швидкості 17 м/с, що є характерною для повнопривідних автомобілів. Результати проведених досліджень наведено на рис. 4-9.

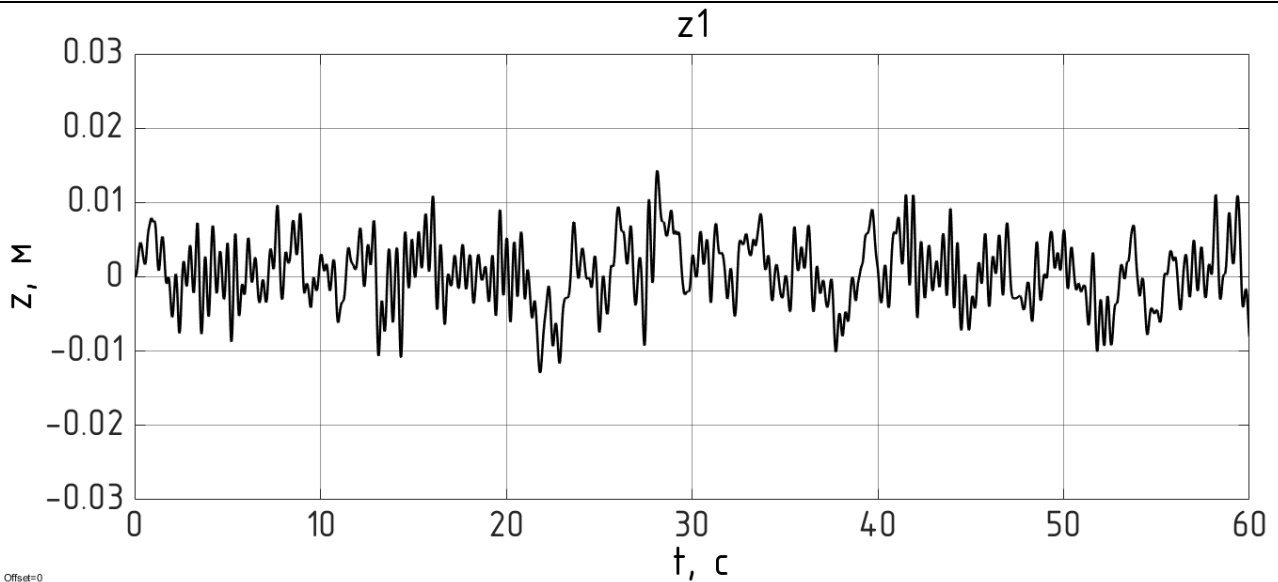


Рисунок 4. Вібропереміщення кузова повнопривідного автомобіля при русі автодорогою типу II

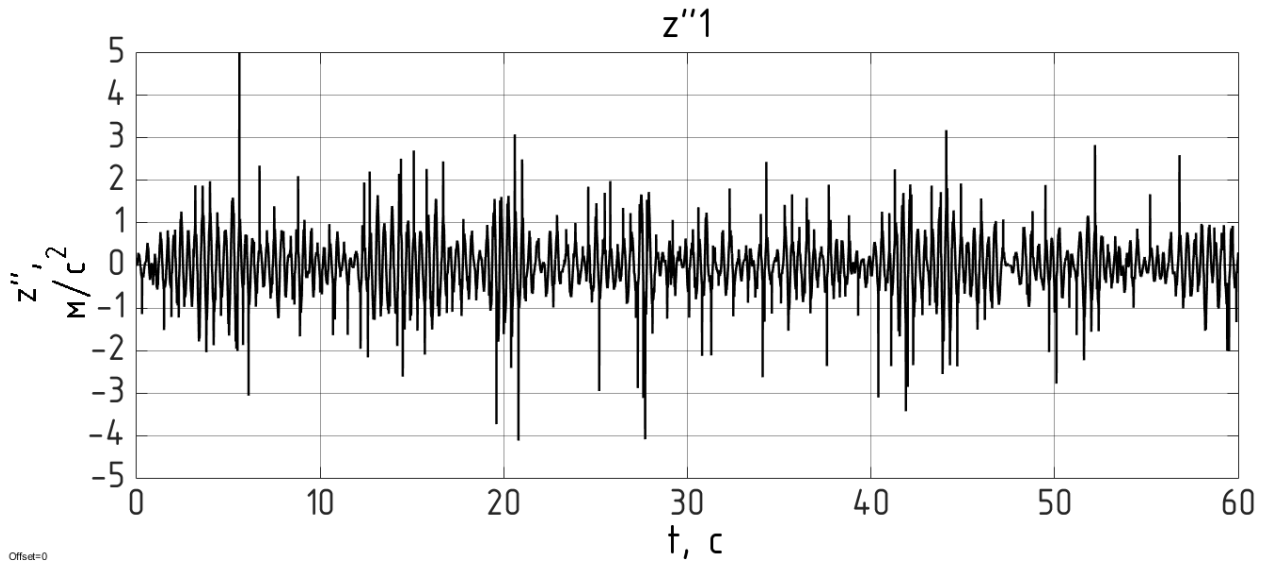


Рисунок 5. Віброприскорення кузова повнопривідного автомобіля при русі автодорогою типу II

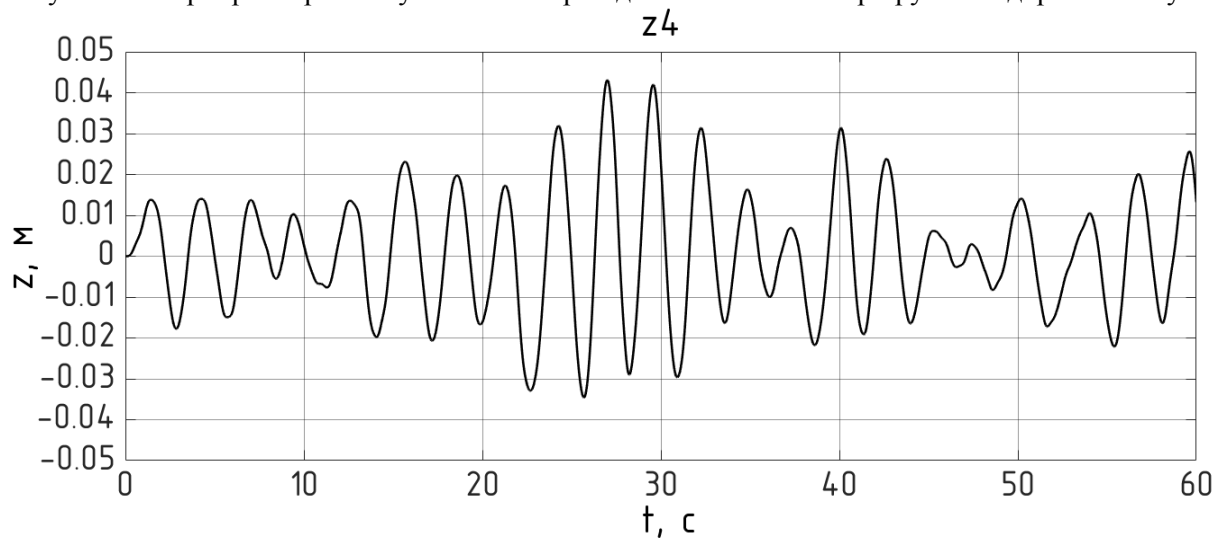


Рисунок 6 – Вібропереміщення пасажирів повнопривідного автомобіля без підресореного сидіння при русі автодорогою типу II

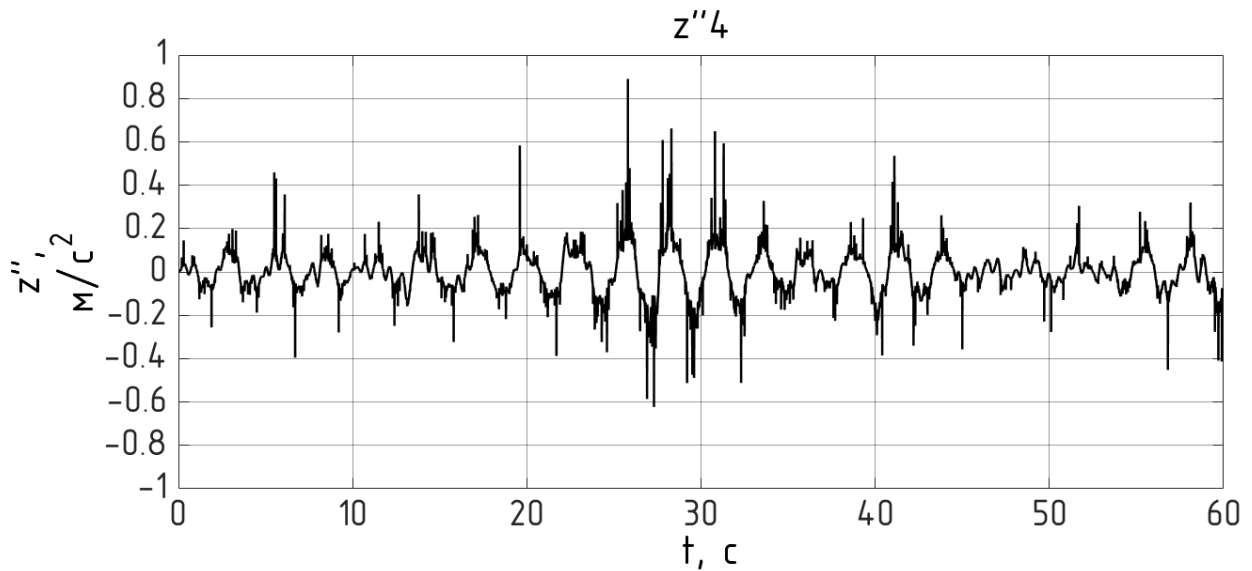


Рисунок 7. Віброприскорення пасажера повнопривідного автомобіля без підресореного сидіння при русі автодорогою типу II

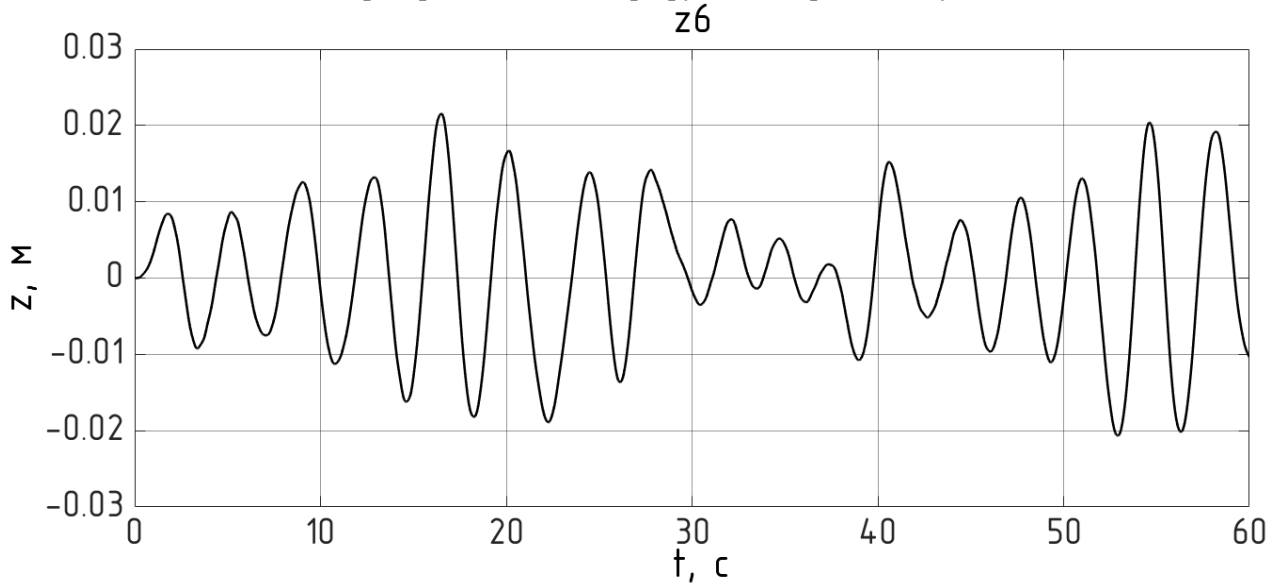


Рисунок 8. Вібропереміщення водія повнопривідного автомобіля з підресореним сидінням при русі автодорогою типу II

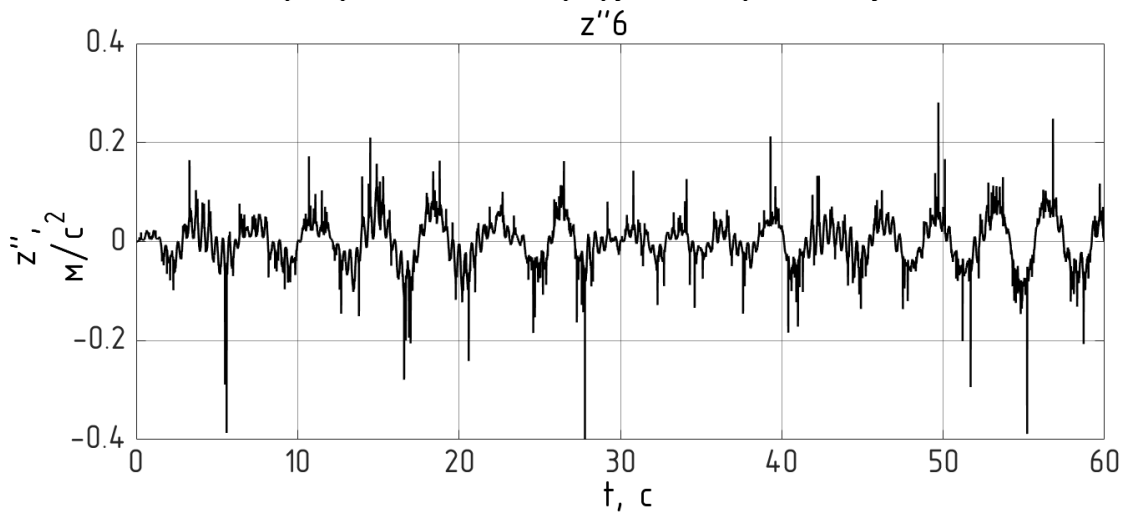


Рисунок 9. Віброприскорення водія повнопривідного автомобіля з підресореним сидінням при русі автодорогою типу II

## ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Особливістю розробленої у роботі вдосконаленої методики є розвиток визначених у роботах [1-5] підходів до оцінки плавності руху бездоріжжям. Отримані результати дозволяють визначати вібропереміщення та віброприскорення повнопривідних автомобілів при русі бездоріжжям у режимі реального часу, що є вкрай необхідним для розробленні нових типів підвісок та модернізації існуючих.

Слід констатувати працездатність та адекватність удосконаленої імітаційної Simulink-моделі руху повнопривідного автомобіля по дорозі з визначеним мікропрофілем. Зазначена модель удосконалена таким чином, що водій знаходиться в межах колісної бази повнопривідного автомобіля, і його сидіння має вторинне підресорювання, а екіпаж знаходиться в межах колісної бази на сидіннях без вторинного підресорювання. Модель дозволяє отримати конкретні значення вібропереміщень та віброколивних навантажень на водія, екіпаж корпус автомобіля при русі твердими ОП.

Заслуговує на увагу ефективність вторинного підресорювання сидіння водія (рис.8-9), яке за результатами моделювання показує, що інтенсивність вібропереміщень та віброприскорень сидіння водія  $z_6$  у порівнянні з вібропереміщеннями та віброприскореннями підлоги кузова  $z_1$  зменшені у 2-2,5 рази. Крім того, спостерігається зменшена амплітуда вібропереміщень та вертикальних прискорень для членів екіпажу  $z_4$  практично у 1,5-2 рази у порівнянні з кузовом автомобіля. У порівнянні з отриманими результатами у [5] відчутний вплив відстані розміщення підресорених мас водія  $d_1$  та членів екіпажу  $d_2$  до центру мас. Зокрема віброколивні навантаження зменшуються пропорційно зменшенню відстані водія до центру мас.

Також за результатами проведеного дослідження встановлено, що віброколивні навантаження на водія і екіпаж, які знаходяться в межах колісної бази, коливаються в допустимих межах для 8 годинної їзди згідно [10]. Поряд із тим необхідно зазначити, що наведена удосконалена імітаційна Simulink-модель руху повнопривідного автомобіля потребує подальшого розвитку щодо оцінки плавності руху за умов руху по складних ОП, що деформуються, та внесення відповідного доповнення – математичної моделі деформації та відображення мікропрофілю опорної поверхні з урахуванням змін для задньої осі після проїзду передньої.

## ВИСНОВКИ.

В умовах сучасних високоманеврених бойових дій окрім звичної прохідності, особливого значення набуває проблема ефективності функціонування підвіски автомобіля підвищеної прохідності як основи формування відповідних віброколивних навантажень на екіпаж. Останні є основним фактором, що обмежує максимальні технічно можливі швидкості руху автомобіля бездоріжжям – його мобільність. Формування сучасних тактико-технічних вимог до ВАТ зараз є фактично неможливим без урахування відповідних вимог до ефективності підвіски, що підтверджується і чинною нормативною базою провідних країн-членів НАТО. Викладена методика дозволяє дати оцінку мобільності руху автомобілів конкретним бездоріжжям у режимі реального часу (з урахуванням обмежень внаслідок досягнення критичних для організму людини віброколивних навантажень), а також дати оцінку ефективності конструкцій ще на етапі розробки чи модернізації автомобіля підвищеної прохідності.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Haonan He . Yuan Li . Lindsay Clare. Configuration-optimisation method for passive-active-combined suspension design. International Journal of Mechanical Sciences 258 (2023) P.1–14. DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2023.108560
2. Ali Mohammadzadeh , Salim Haidar Analysis And Design Of Vehicle Suspension System Using Matlab And Simulink, June 2006,Conference: 2006 Annual Conference & Exposition DOI:[10.18260/1-2--544](https://www.researchgate.net/publication/345933568_Analysis_And_Design_Of_Vehicle_Suspension_System_Using_Matlab_And_Simulink) Режим доступу [https://www.researchgate.net/publication/345933568\\_Analysis\\_And\\_Design\\_Of\\_Vehicle\\_Suspension\\_System\\_Using\\_Matlab\\_And\\_Simulink](https://www.researchgate.net/publication/345933568_Analysis_And_Design_Of_Vehicle_Suspension_System_Using_Matlab_And_Simulink)
3. Ага Н.В. Ажмегов В.Ф. Метод оценки плавности хода АТС при движении по неоднородному дорожному участку. *Вестник КГУ. Серия «Естественные и технические науки»*, 2005. №1. С. 121-122.
4. Гурский Н. Н., Кадер Карами А. М. Моделирование и оптимизация колебаний подвески автомобиля. *Вестник БНТУ. Транспорт*, 2010. №1. С. 44-47.
5. Бур'ян М. В. Плавність руху автобусів у взаємозв'язку з характеристиками підвіски та сидіння : дис. канд. техн. наук, : 05.22.02 – автомобілі та трактори / Бур'ян Михайло Володимирович ;



Міністерство освіти і науки України, Національний університет «Львівська політехніка». – Львів, 2020. – 151 с. – Бібліографія: с. 132–151 (207 назв).

6. Грубель М.Г. Теоретичні засади формування параметрів підвіски колісної військової автомобільної техніки за умов руху бездоріжжям. Науковий журнал Луцького національного технічного університету. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2019. Том 2. № 13. С. 52-62. DOI: <https://doi.org/10.36910/automash.v2i13.87>

7. М. Г. Грубель і М. Б. Сокіл. Коливання підресореної частини транспортних засобів із неконсервативною характеристикою амортизаторів. *Військово-технічний збірник*, 2015. №13, С. 30–33. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.13.2015.30-33>

8. М. Г. Грубель і М. Б. Сокіл. Динаміка підресореної частини транспортних засобів із неконсервативною силовою характеристикою підвіски. *Вісник машинобудування та транспорту*. Вінниця. 2016. № 1, С. 22–28.

9. Лаптев А.С. Дорожные испытания автомобиля. М: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1962. 315 с

10. ISO 2631: Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole-body vibration, second ed., ISO – International Organization for Standardization, 1997

#### REFERENCES

1. Haonan He . Yuan Li . Lindsay Clare. (2023) [Configuration-optimisation method for passive-active-combined suspension design], *International Journal of Mechanical Sciences* No.258 P.1–14. DOI: 10.1016/j.ijmecsci.2023.108560.

2. Aga N.V. Azhmegov V.F. (2005) “A method for assessing the smoothness of a vehicle when driving on a non-uniform road section”, [Metod otsenki plavnosti khoda avtotransportnogo sredstva pri dvizhenii po neodnorodnomu dorozhnomu uchastku.], *KSU Bulletin. Series “Natural and Technical Sciences”*, No.1. P. 121-122.

4. Gursky N. N., Kader Karami A. M. (2010) “Modeling and optimization of vehicle suspension vibrations”, [Modelirovaniye i optimizatsiya kolebaniy podveski avtomobilya], *Bulletin of BNTU. Transport*. No. 1. pp. 44-47.

5. Burian M.V. (2020) “Plavnist rukhu avtobusiv u vzaiemozviazku z kharakterystykamy pidvisky ta sydin”: [Ride comfort of buses in relation to the characteristics of the suspension and seats], - Dissertation candidate of technical sciences (doctor of philosophy) in specialty 05.22.02 "Cars and tractors". - Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv Polytechnic National University. - Lviv, 2020. - References. P. 132–151.

6. Hrubel M.H. (2019) “Teoretychni zasady formuvannia parametriv pidvisky kolisnoi viiskovoi avtomobilnoi tekhniki za umov rukhu bezdorizhzhiam”: [Theoretical bases of formation of parameters of a suspension bracket of wheeled military automobile equipment in the conditions of movement off-road], *Scientific journal of Lutsk National Technical University Modern technologies in mechanical engineering and transport*. Vol. 2. № 13. P. 52-62.

7. Hrubel, M. H., & Sokil, M. B. (2015). “Kolyvannya pidresorenoyi chastyny transportnykh zasobiv iz nekonservatyvnoyu kharakterystykoyu amortyzatoriv”: [Oscillations of the sprung part of vehicles with non-conservative characteristics of shock abso], *Military and technical collection*, National Ground Forces Academy, Lviv, №12, P. 69-74. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.12.2015.69-74>.

8. Hrubel, M. H., & Sokil, M. B. (2016). “Dynamika pidresorenoyi chastyny transportnykh zasobiv iz nekonservatyvnoyu sylovoyu kharakterystykoyu pidvisky”: [Dynamics of the sprung part of vehicles with a non-conservative force characteristic of the suspension], *Herald of mechanical engineering and transport, Vinnitsa*, №1, P. 22-28.

9. Laptev A.S. (1962). “Dorozhnyye ispytaniya avtomobilya”: [Road tests of the car.], M: State Scientific and Technical Publishing House of Mechanical Engineering Literature P. 315.

10. ISO 2631: Mechanical vibration and shock-evaluation of human exposure to whole-body vibration, second ed., ISO – International Organization for Standardization, 1997

**M. Manzyak, V. Khoma, M. Grubel, T. Krajnyk Improvement of the method of assessing the smoothness of the ride for a vehicle with increased traffic.**

The article analyzes the existing methods of assessing the impact of vibrational loads that occur when cars move on various support surfaces and have an impact on their operational characteristics. The specified methods allow making certain adjustments to the design of the car to increase the smoothness of its

movement already at the stage of design work, when creating new cars or improving existing ones. According to the results of the conducted research, it was established that most of the existing methods allow to evaluate the smoothness of the cars' movement with solid support surfaces. The situation is more complicated in the production of four-wheel drive vehicles, which are absolutely necessary for off-road operation, especially when they are used in combat operations.

On the basis of the conducted research on the determination of smoothness assessment methods, an improved Simulink model of the movement of a four-wheel drive car on the road with a defined micro profile is proposed to obtain the values of the vibration indicators of its suspension.

According to the results of the simulation of the movement of a four-wheel drive car, the efficiency and adequacy of the improved methodology for evaluating the smoothness of the four-wheel drive car for the specified driving conditions have been established. In particular, the adequacy of the Simulink model is confirmed by the comparability of the simulation results on the highway of the same category with the results of other studies. Practical significance when evaluating the effectiveness of the vibration-absorbing characteristics of the seats - the vibration acceleration of the sprung driver's seat compared to the vibration acceleration of the body floor is 2-2.5 times lower, and the vertical acceleration of the hard seats of the crew members is practically 1.5-2 times lower compared to the car body. This allows to select the characteristics and evaluate the efficiency, in addition to the suspension, also the car seats.

**Key words:** four-wheel drive car, increased cross-country ability, suspension, off-road, smoothness of movement, modeling, suspension system

*МАНЗЯК Михайло Олександрович*, ад'юнкт науково-організаційного відділу, Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, Львів e-mail: [Manziakdoc@gmail.com](mailto:Manziakdoc@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0002-5634-9231>

*ХОМА Віталій Васильович*, аспірант, Львівський національний університет природокористування, e-mail: [homa.v@hotmail.com](mailto:homa.v@hotmail.com). <https://orcid.org/0000-0003-4821-4561>

*ГРУБЕЛЬ Михайло Григорович*, доктор технічних наук, професор, начальник кафедри автомобілів та автомобільного господарства, Національна академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, Львів e-mail: [m.g.grybel@gmail.com](mailto:m.g.grybel@gmail.com). <http://orcid.org/0000-0002-4820-6935>

*КРАЙНИК Тарас Любомирович*, головний конструктор ВАТ „Укравтобуспром”, м.Львів e-mail: [taras.kraynyk@gmail.com](mailto:taras.kraynyk@gmail.com) <http://orcid.org/0009-0003-7530-6194>

*Mykhailo MANZIAK*, Doctoral Student of the scientific and organizational department, Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, e-mail: [Manziakdoc@gmail.com](mailto:Manziakdoc@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0002-5634-9231>

*Vitalii KHOMA*, Doctoral Student, Lviv National Environmental University e-mail: [homa.v@hotmail.com](mailto:homa.v@hotmail.com). <https://orcid.org/0000-0003-4821-4561>

*Mykhailo HRUBEL*, Doctor of Technical Sciences, professor, Head of the department of automobiles and automotive industry, Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, e-mail: [m.g.grybel@gmail.com](mailto:m.g.grybel@gmail.com). <http://orcid.org/0000-0002-4820-6935>

*Taras KRAJNYK*, chief designer, JSC Ukrautobusprom, Lviv e-mail: [taras.kraynyk@gmail.com](mailto:taras.kraynyk@gmail.com) <http://orcid.org/0009-0003-7530-6194>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1365

Мармут І.А.<sup>1</sup>, Зуєв В.О.<sup>2</sup><sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет<sup>2</sup>Галицький фаховий коледж імені В'ячеслава Чорновола**МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРІВ РУХУ АВТОМОБІЛЯ ПО ВИБІГУ**

Контроль та діагностика технічного стану автомобілів є однією з найсуттєвіших проблем. Виконані у ХНАДУ численні дослідження підтверджують, що найточніше стан автомобіля характеризується параметром «витрата палива».

Багато факторів впливають на витрату палива, серед яких експлуатаційні та конструктивні. До останніх відносяться аеродинамічні властивості автомобіля та стан його ходової частини. Постійне вдосконалення автомобілів, особливо шин, змушує звертатися до експериментальної оцінки опорів руху автомобіля, тому дослідження методів і засобів такої оцінки є важливими й актуальними.

Зазвичай опір повітря автомобіля вважають пропорційним квадрату швидкості. Проте розбіжність між розрахованими та експериментальними кривими в області середніх і особливо високих швидкостей, де аеродинамічні сили стають визначальними, заохочує до більш детального вивчення цього питання.

Вважається, що коефіцієнт аеродинамічного опору  $C_x$  є постійною характеристикою певного автомобіля, яка залежить виключно від його конфігурації, положення в просторі (нахил, кліренс) і стану поверхонь. Змінність опору повітря слід пояснювати зміною коефіцієнта у формулі для розрахунку  $C_x$ . Опубліковані значення  $C_x$  визначаються за допомогою випробування в аеродинамічних трубах. Як відомо, опір повітря в трубі менше, ніж на дорозі на 5...10%. Тому для нормування діагностичних параметрів необхідно знати реальні значення  $C_x$  для конкретної моделі автомобіля.

Багато авторів проводили дослідження щодо кочення колеса по дорозі, але всі ці дослідження виконувалися з використанням старих моделей шин. На сьогоднішній день на легкових автомобілях використовуються виключно радіальні шини, для яких дослідження опору коченню по дорозі проводяться у дорожніх умовах.

У статті запропоновано вимірювати сповільнення вибігу автомобіля з двох швидкостей, скласти два рівняння (з урахуванням очікуваного впливу швидкості на опір коченню) та знайти опір коченню та опір повітря. Аналогічні розрахунки можна провести шляхом вибігу. Можна виконувати такі ж експерименти при різному завантаженні автомобіля, а при обробці результатів враховувати вплив завантаження на опір коченню та повітря.

**Ключові слова:** вибіг, сповільнення, шлях, опір коченню, опір повітря.

**ВСТУП**

Постійне вдосконалення автомобілів, зокрема шин, стимулює потребу повертатися до експериментального оцінювання опору руху автомобіля, тому вивчення методів і засобів такої оцінки є важливим і актуальним.

Всі опори руху автомобіля умовно можна розділити на дві групи: що залежать від навантаження на колесо (опір коченню, тертя в підшипниках колеса, опір, викликаний розвалом і сходженням, втрати в підвісі і т.п.) і що не залежать від нього (опір повітря, втрати холостого ходу у трансмісії, можливі затирання гальмівних накладок тощо).

Вважають, що найточніші вимірювання проводяться на лабораторних установках – роликівих стендах, в аеродинамічних трубах, але остаточне слово завжди залишається за дорожніми випробуваннями.

Суму опорів розраховують, перемножуючи виміряні значення прискорень у момент руху  $f$  на приведену масу автомобіля  $\delta \cdot m$ , де  $\delta$  – коефіцієнт, що враховує обертові маси. Складніше розподілити загальну суму опорів на їх складові частини та отримати коефіцієнти аеродинамічного опору повітря  $C_x$  і опору коченню  $f$ .

**АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Методи визначення аеродинамічного опору автомобіля описані в джерелах [1, 2]. Інформація про опір коченню шин легкових автомобілів наведена у джерелах [3, 4]. Ці методи передбачають використання дорогого експериментального обладнання, такого як аеродинамічні труби і роликіві стенди. Методи визначення опору руху при гальмуванні автомобіля описані у джерелі [5]. Розглянемо деякі з цих методів, які можуть бути реалізовані без спеціального обладнання за допомогою зусиль користувача.

**ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Ця робота спрямована на поліпшення методів оцінки загального опору під час руху автомобіля з метою розподілу цього опору на дві складові: дорожній та аеродинамічний опору. Для досягнення

цієї мети були проведені дорожні випробування автомобіля Daewoo Lanos 1.5i MT SX, після чого були розраховані значення дорожнього та аеродинамічного опорів для цього автомобіля.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для вирішення практичних завдань, наприклад, розрахунку маршрутних норм витрати палива або нормативів часу розгону та вибігу, які можна застосовувати як діагностичні параметри, потрібно знати фактичний опір руху. Зазвичай коефіцієнти сумарного дорожнього опору  $\psi$  (на гладкій дорозі  $\psi$  практично збігається з коефіцієнтом опору кочення  $f$ ) і аеродинамічного опору  $C_x$  знаходять по сповільненню вільного вибігу  $j_1$  і  $j_2$  у двох діапазонах швидкостей із середніми швидкостями  $V_1$  і  $V_2$  [6]. Рівняння балансу сил цих двох швидкостей:

$$\begin{cases} m \cdot g \cdot \psi_1 + kF \cdot V_1^2 = m \cdot j_1; \\ m \cdot g \cdot \psi_2 + kF \cdot V_2^2 = m \cdot j_2, \end{cases} \quad (1)$$

де  $k$  – коефіцієнт обтічності  $k = \rho \cdot C_x / 2$  ( $\rho$  – густина повітря, в середньому  $\rho = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>; тоді  $k = 0,6 \cdot C_x$ );

$F$  – лобова площа автомобіля, м<sup>2</sup>;

$m$  – маса автомобіля, кг;

$g$  – прискорення вільного падіння, 9,81 м/с<sup>2</sup>.

При допущенні, що  $\psi_1 = \psi_2$ , після перетворень отримаємо

$$C_x = \frac{6m \cdot (j_1 - j_2)}{F \cdot (V_1^2 - V_2^2)}; \quad \psi = \frac{28,3 \cdot (j_1 \cdot V_1^2 - j_2 \cdot V_2^2)}{(V_1^2 - V_2^2) \cdot 10^3}. \quad (2)$$

(числові коефіцієнти отримані наступним чином:  $6=3,6/0,6$ ;  $28,3/10^3=1/3,6/9,81$ ; сповільнення виражені у несистемній одиниці «км/год/с»).

Метод рекомендований для швидкостей до 100 км/год – при припущенні, що у цих межах опір коченню незмінний. Але фактично навіть за таких швидкостей він змінюється цілком помітно (рис. 1) [6]: у наймасовіших шин SR і TR (для швидкостей до 180 і 190 км/год) – на 9...14%. Тому важливо позбавити цей метод зазначеного припущення і зробити придатним для реального діапазону швидкостей.

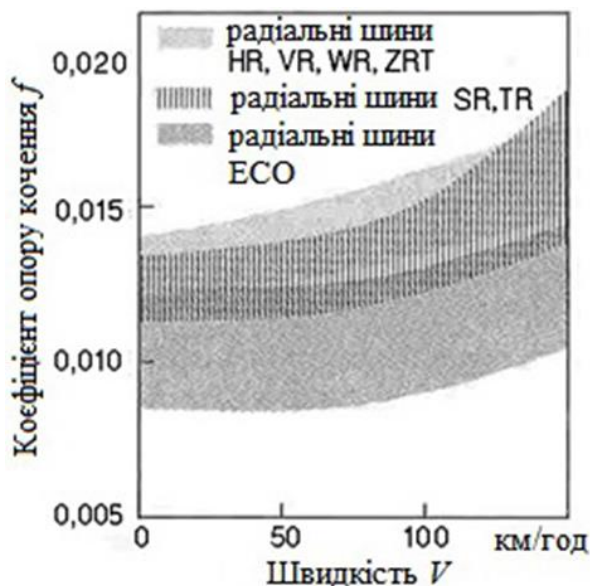


Рисунок 1 – Залежність опору коченню легкових радіальних шин від швидкості [6]

Тому пропонується вимірювати сповільнення вибігу на будь-яких потрібних швидкостях, а при обробці результатів враховувати вплив швидкості на  $f$ . Щоб оцінити цей вплив, виконано апроксимацію залежностей, представлених на рис. 1 та отримані вирази для верхньої та нижньої меж

і для середньої лінії поля значень  $f$  (табл. 1).

Таблиця 1 – Апроксимуючі вирази для залежностей коефіцієнта опору коченню  $f$  від швидкості

Шини HR – ZRT	верхня межа поля	$0,6762 \cdot 10^{-7} \cdot V^2 - 1,5214 \cdot 10^{-5} \cdot V + 0,014010$
	середня лінія поля	$0,9619 \cdot 10^{-7} \cdot V^2 - 0,6057 \cdot 10^{-5} \cdot V + 0,013261$
	нижня межа поля	$1,2476 \cdot 10^{-7} \cdot V^2 - 0,3071 \cdot 10^{-5} \cdot V + 0,012510$
Шини SR, TR	верхня межа поля	$3,1124 \cdot 10^{-7} \cdot V^2 - 1,2543 \cdot 10^{-5} \cdot V + 0,013601$
	середня лінія поля	$2,2571 \cdot 10^{-7} \cdot V^2 - 0,8471 \cdot 10^{-5} \cdot V + 0,012467$
	нижня межа поля	$1,4019 \cdot 10^{-7} \cdot V^2 - 0,4400 \cdot 10^{-5} \cdot V + 0,011334$
Шини ЕСО	верхня межа поля	$1,3562 \cdot 10^{-7} \cdot V^2 - 0,7543 \cdot 10^{-5} \cdot V + 0,012484$
	середня лінія поля	$1,4552 \cdot 10^{-7} \cdot V^2 - 0,9029 \cdot 10^{-5} \cdot V + 0,010526$
	нижня межа поля	$1,5543 \cdot 10^{-7} \cdot V^2 - 1,0514 \cdot 10^{-5} \cdot V + 0,008569$

Можливу зміну  $f$ , а також і  $\psi$  при переході від меншої швидкості  $V_2$  до більшої  $V_1$  можна охарактеризувати коефіцієнтом  $K_V$ :

$$K_V = \frac{A \cdot V_1^2 - B \cdot V_1 + C}{A \cdot V_2^2 - B \cdot V_2 + C}; \quad \psi_1 = \psi_2 \cdot K_V. \quad (3)$$

Крім того, треба враховувати фактичну густину повітря

$$\rho = P/R \cdot T, \quad (4)$$

де  $P$  – атмосферний тиск, Па;

$R=287,14 \text{ м}^2/\text{с}^2 \cdot \text{К}$  – газова постійна для повітря;

$T$  – температура, К.

Так, на території України протягом року температура може змінюватись від 238 до 313 К (від – 35 до +40°C), а тиск від 94660 до 105325 Па (від 710 до 790 мм рт. ст). Відповідно, густина повітря варіює в межах від 1,05 до 1,54 кг/м<sup>3</sup> і розрахункове значення  $C_X$  зміниться в 1,5 рази.

Вплив приведених мас коліс  $m_{\text{пр.к}}$  і трансмісії  $m_{\text{пр.тр}}$ , що збільшують приведену масу автомобіля при вибігу, враховує коефіцієнт

$$\beta = 1 + (m_{\text{пр.к}} + m_{\text{пр.тр}})/m. \quad (5)$$

З урахуванням всього сказаного система (1) набуває вигляду

$$\begin{cases} m \cdot g \cdot \psi_2 \cdot K_V + kF \cdot V_1^2 = \beta \cdot m \cdot j_1; \\ m \cdot g \cdot \psi_2 + kF \cdot V_2^2 = \beta \cdot m \cdot j_2, \end{cases} \quad (6)$$

а формули для коефіцієнтів (після переведення сповільнень у системні одиниці, м/с<sup>2</sup>) змінюються таким чином:

$$C_X = \frac{2 \cdot \beta \cdot m \cdot (j_1 - j_2 \cdot K_V)}{F \cdot \rho \cdot (V_1^2 - V_2^2 \cdot K_V)}; \quad \psi = \frac{\beta \cdot (j_1 \cdot V_1^2 - j_2 \cdot V_2^2)}{9,81 \cdot (V_1^2 - V_2^2 \cdot K_V)}. \quad (7)$$

Для перевірки запропонованого методу використано результати експерименту на автомобілі Daewoo Lanos 1.5i MT SX. Маса автомобіля з учасниками експерименту 1247 кг, приведена маса частин, що обертаються 56 кг. Шини Rosava БЦ-20 175/70R13 82Т (всесезонні). Лобова площа 1,74 м<sup>2</sup>. Середні результати за чотирма вимірами показані в табл. 2, їх обробка – у табл. 3.



Таблиця 2 – Середній час вибігу автомобіля Daewoo Lanos 1.5i MT SX

Швидкість, км/год	120	100	80	60
Час, с	0	9,118	20,965	36,305

Таблиця 3 – Визначення опорів руху автомобіля Daewoo Lanos 1.5i MT SX відомим та пропонуваним методами

Діапазон швидкостей, км/год	120-100		80-60
Середня швидкість, км/год	$V_1 = 110$		$V_2 = 70$
Час вибігу, с	9,118		15,340
Сповільнення, м/с <sup>2</sup>	$j_1 = 0,609294$		$j_2 = 0,362161$
Розрахунок відомим методом: $C_x = 0,55813$ ; $\psi = 0,019782$			
Розрахунок пропонуваним методом			
Коефіцієнт $K_V$	По верхній межі поля	По середній лінії поля	По нижній межі поля
	1,122	1,111	1,071
$C_x$	0,49489	0,50654	0,52020
$\psi_2$	0,021564	0,021203	0,020779
$\psi_1$	0,024195	0,023557	0,022543

Розраховані пропонуваним методом значення  $C_x = 0,495 \dots 0,520$  (табл. 3) ближче до опублікованих значень 0,509...0,52 ніж значення 0,558, отримане відомим методом. Обидва методи дали близькі значення, що відповідають реальному стану недавно відремонтованої дороги, покриття якої ще не набуло нормальної гладкості.

Подібні результати отримані при обробці даних іншого експерименту на автомобілі Daewoo Lanos 1.5i MT SX на дорозі з гарним покриттям:  $C_x = 0,507 \dots 0,523$  при  $\psi = 0,0123 \dots 0,0125$  (вибіг від 100 до 40 км/год). Відомий метод при тих же експериментальних даних дає  $C_x = 0,516$  і  $\psi = 0,0115$ , що підтверджує його прийнятність для швидкостей до 100 км/год.

Експерименти на автомобілі «М-412ІЕ» у діапазоні середніх швидкостей від 100 до 40 км/год також підтвердили придатність методу:  $C_x = 0,552$  при  $\psi = 0,0123 \dots 0,0125$ . Це близько до отриманого в аеродинамічній трубі значення  $C_x = 0,5$ , наведеного до дорожніх умов множенням на коефіцієнт 1,05...1,1, як рекомендовано в [5].

У літературі часто публікують значення шляху вибігу  $S$  з різних швидкостей на динамометричній дорозі автополігону (зазвичай – від 160 до 80 км/год, від 130 до 80 і від 50 до повної зупинки). Запропонований метод дозволяє отримати за такими даними значення  $C_x$  та  $\psi$ . Для цього потрібно за заданими діапазонами швидкостей  $V_1 - V_2$  (км/год) знайти середню швидкість  $V_{CP}$ , по ній розрахунковий час проходження цього діапазону  $t$ , а знаючи його – середнє сповільнення  $j$ . У першому наближенні  $V_{CP} = (V_1 + V_2)/2$ , проте фактично сповільнення у межах обраного діапазону непостійне, тому реальна середня швидкість виявляється дещо меншою:

$$V_{CP} = K_{CP} \cdot (V_1 + V_2)/2. \quad (8)$$

Значення понижуючого коефіцієнта  $K_{CP}$ , які визначені чисельними методами, наведено у табл.

4.

Таблиця 4 – Коефіцієнт  $K_{CP}$  визначення середньої швидкості в діапазоні  $V_1 - V_2$ 

$V_1 - V_2$	160-130	130-80	160-80	80-50	50-0
$K_{CP}$	0,992	0,978	0,945	0,987	0,950

Методика подальших розрахунків очевидна:

$$t = S/V_{CP}, \quad j = (V_1 - V_2)/3,6 \cdot t. \quad (9)$$

Тепер, маючи значення швидкостей та сповільнень, можна вести розрахунки за формулами (7). Результати розрахунків наведені у табл. 5 разом із взятими з різних літературних джерел значеннями  $C_x$ , отриманими продуванням в аеродинамічних трубах або оголошеними виробником. Значення  $f$  розраховані шляхом вибігу. Усі вони лежать у реальних межах.

Таблиця 5 – Зіставлення значень  $C_x$  за літературними даними зі значеннями, розрахованими шляхом вибігу

Модель автомобіля	$C_x$ за літературними даними	$C_x$ за вибігом	Відношення $C_x$ за вибігом до $C_x$ за літературними даними	$f$
Audi A8	0,28	0,303	1,082	0,0174
BMW 320i	0,307	0,338	1,100	0,0155
Ford Mondeo	0,310	0,328 0,340	1,058 1,097	0,0122 0,0128
Lexus IS200	0,335	0,357	1,066	0,0166
Mercedes-Benz S500L	0,27 *	0,307	1,137	0,0187
Mitsubishi Lancer	0,368	0,386	1,049	0,0138
Nissan Almera	0,339	0,363	1,071	0,0135
Opel Astra хэтчбек	0,36 *	0,410	1,139	0,0153
Peugeot 307 хэтчбек	0,36	0,386	1,072	0,0147
Porsche 911 Carrera S	0,29	0,302	1,041	0,0140
Toyota Corolla	0,36	0,368 0,395	1,022 1,097	0,0138 0,0178
Toyota Yaris	0,379	0,405	1,079	0,0137
VW Golf	0,33 *	0,355	1,076	0,0103
VW Passat B6	0,27 *	0,285	1,056	0,0126

\* оголошено виробником

Цікаві додаткові можливості відкриває метод дворазового вибігу при різному завантаженні автомобіля – більшому (індекс Б) та меншому (індекс М). Загалом він виходить з тієї ж математичної моделі, проте при розрахунках враховується вплив фактичного завантаження шин на коефіцієнт опору коченню (коефіцієнт  $K_H$ ) і вплив кліренсу, що змінюється, і нахилу кузова на опір повітря (коефіцієнт  $E$ ):

$$\psi = \frac{E \cdot m_B \cdot j_B - m_M \cdot j_M}{g \cdot (E \cdot m_B \cdot K_{H,B} - m_M \cdot K_{H,M})} \quad \text{та} \quad C_x = \frac{2 \cdot m_B \cdot m_M \cdot (j_B \cdot K_{H,M} - j_M \cdot K_{H,B})}{\rho \cdot F \cdot V^2 (m_M \cdot K_{H,M} - E \cdot m_B \cdot K_{H,B})} \quad (10)$$

Коефіцієнт  $K_H$  оцінюється за рекомендаціями [7]. Для легкових радіальних шин з металокордом при неповному навантаженні на шину коефіцієнт опору коченню  $f'$  менше, ніж коефіцієнт, що наводиться в літературі, при повному навантаженні  $f$ :

$$f' = f \cdot (1,3 - 0,3 \cdot G_{\max} / G_{\text{факт}}) = f \cdot K_H \quad (11)$$

де  $G_{\max}$ ,  $G_{\text{факт}}$  – відповідно максимально допустиме і фактичне навантаження на шину, кг (при текстильному корді коефіцієнти вираження у дужках відповідно 1,5 та 0,5; для деяких вантажних шин, за даними [5] – 1,2 та 0,2).

Вплив завантаження автомобіля на опір повітря можна оцінити за даними, наведеними в [8] – див. рис. 2.

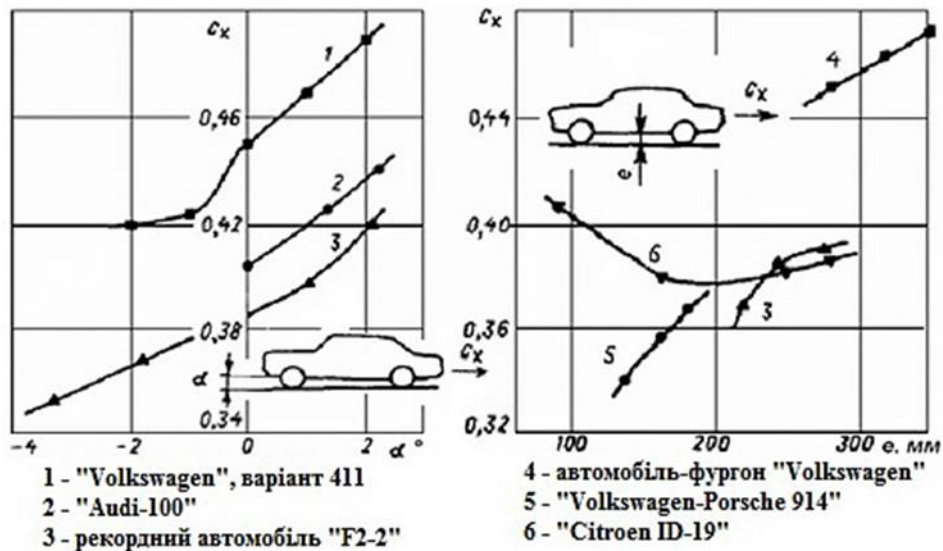


Рисунок 2 – Вплив кута нахилу кузова  $\alpha$  та кліренсу автомобіля  $e$  на коефіцієнт аеродинамічного опору  $C_x$  [8]

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метод дворазового вибігу перевірено також в експерименті на автомобілі М-2141 з шинами 175/80 R14, що допускають при тиску 0,2 МПа навантаження 485 кг, тобто. повну вагу автомобіля 1940 кг. Результати вимірювань та їх обробки наведено у табл. 6.

Таблиця 6 – Результати експерименту на автомобілі М-2141

Діапазон швидкостей, км/год	100-90	70-60
Вибіг із більшим навантаженням ( $m_B = 1495$ кг):		
час, с	7,53	11,61
сповільнення, м/с <sup>2</sup>	0,36889	0,23926
коефіцієнт зниження опору коченню		0,9107
кліренс по боковині кузова середній, мм		250
нахил кузова, градуси		0,64
коефіцієнт зниження опору повітря		1
Вибіг із меншим навантаженням ( $m_M = 1220$ кг):		
час, с	7,05	11,19
сповільнення, м/с <sup>2</sup>	0,39401	0,24824
коефіцієнт зниження опору коченню		0,8229
кліренс по боковині кузова середній, мм		270
нахил кузова, градуси		1,27
коефіцієнт зниження опору повітря		0,94
$\psi$	0,013939	0,012336
$C_x$	0,452002	0,509871
Середнє значення $C_x$	0,480936	

У автомобіля М-2141  $C_x = 0,44$  [5], тобто у дорожніх умовах – 0,462...0,484; отримане у процесі експерименту середнє значення вкладається у ці межі.

### ВИСНОВКИ

1. Запропоновані методи визначення опорів руху автомобіля по вибігу дозволяють використовувати дані, отримані на швидкостях вище 100 км/год, і дають значення  $C_x$ , що добре узгоджуються з результатами продування у аеродинамічній трубі. Розрахункові значення  $f$  також

цілком реальні.

2. Очікується, що подальший розвиток описаних методів дозволить отримувати надійні значення  $C_x$  і  $f$  методом вибігу на дорозі, без складного обладнання – аеродинамічних труб та шинних стендів з біговими барабанами великого діаметру.

#### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Aerodynamics of Road Vehicles. Thomas Schuetz. SAE International, 2016, ISBN: 0768079772, 9780768079777, 1289 Pages.
2. Modifying the Aerodynamics of Your Road Car. Julian Edgar, Richard H. Barnard. Veloce Publishing, 2019, ISBN: 9781787112834, 248 Pages.
3. Characterization of the Rolling Resistance of Aftermarket Passenger Car Tires – Scholar's Choice Edition. U S Environmental Protection Agency. Creative Media Partners, LLC, 2015, ISBN: 1297045653, 9781297045653, 64 Pages.
4. NHTSA Tire Fuel Efficiency Consumer Information Program Development: Phase 2 – Effects of Tire Rolling Resistance Levels on Traction, Treadwear, and Vehicle Fuel Economy. Larry R. Evans, James D. MacIsaac Jr., John R. Harris and other. National Highway Traffic Safety Administration, Vehicle Research and Test Center, 2009, 153 Pages.
5. Дорожнє діагностування легкових автомобілів: монографія / Е.Х. Рабінович, В.П. Волков та ін. Харків: ХНАДУ, 2018. 279 с.
6. Kraftfahrtechnisches Taschenbuch von Robert Bosch GmbH. Verlag: Springer-Verlag GmbH. Gebundene Ausgabe ISBN: 978-3-658-36386-4. Auflage: 30. Auflage 2022.
7. Reimpell J. The Automotive Chassis: Engineering Principles / Reimpell J., Stoll H., Betzler J. Translated from the German. Second English Edition. – Butterworth-Heinemann, 2001. Woburn MA (USA). 444 p.
8. Aerodynamik des Automobils eine Brücke von der Strömungsmechanik zur Fahrzeugtechnik / hrsg von Wolf-Heinrich Hucho Autoren Syed R Ahmed - 3, grundlegend neu bearb und erw Aufl - Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hongkong, London, Mailand, Paris, Tokio, Springer, 1998. ISBN 978-3-642-63397-3. DOI 10.1007/978-3-642-57903-5.

#### REFERENCES

1. Aerodynamics of Road Vehicles. Thomas Schuetz. SAE International, 2016, ISBN: 0768079772, 9780768079777, 1289 Pages.
2. Modifying the Aerodynamics of Your Road Car. Julian Edgar, Richard H. Barnard. Veloce Publishing, 2019, ISBN: 9781787112834, 248 Pages.
3. Characterization of the Rolling Resistance of Aftermarket Passenger Car Tires – Scholar's Choice Edition. U S Environmental Protection Agency. Creative Media Partners, LLC, 2015, ISBN: 1297045653, 9781297045653, 64 Pages.
4. NHTSA Tire Fuel Efficiency Consumer Information Program Development: Phase 2 – Effects of Tire Rolling Resistance Levels on Traction, Treadwear, and Vehicle Fuel Economy. Larry R. Evans, James D. MacIsaac Jr., John R. Harris and other. National Highway Traffic Safety Administration, Vehicle Research and Test Center, 2009, 153 Pages.
5. Rabinovich E.H., Volkov V.P., Belogurov E.O., Dityat'ev O.V., Zuiev V.O., Zybcev YU.V., et al. (2018). *Dorozhnye diahnostuvannya lehkovykh avtomobiliv [Road diagnostics of passenger cars]*. Kharkov: KhNAHU [in Ukrainian].
6. Kraftfahrtechnisches Taschenbuch von Robert Bosch GmbH. Verlag: Springer-Verlag GmbH. Gebundene Ausgabe ISBN: 978-3-658-36386-4. Auflage: 30. Auflage 2022.
7. Reimpell J. The Automotive Chassis: Engineering Principles / Reimpell J., Stoll H., Betzler J. Translated from the German. Second English Edition. – Butterworth-Heinemann, 2001. Woburn MA (USA). 444 p.
8. Aerodynamik des Automobils eine Brücke von der Strömungsmechanik zur Fahrzeugtechnik / hrsg von Wolf-Heinrich Hucho Autoren Syed R Ahmed - 3, grundlegend neu bearb und erw Aufl - Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Hongkong, London, Mailand, Paris, Tokio, Springer, 1998. ISBN 978-3-642-63397-3. DOI 10.1007/978-3-642-57903-5.

**I. Marmut, V. Zuiev. The method of determining the resistance to the traffic of a vehicle on a run.**

Control and diagnosis of the technical condition of cars is one of the most important problems. Numerous studies carried out at the KhNADU confirm that the condition of the car is most accurately characterized by the "fuel consumption" parameter.

Many factors affect fuel consumption, including operational and structural factors. The latter include the aerodynamic properties of the car and the condition of its undercarriage. The constant improvement of cars, especially tires, forces us to turn to the experimental evaluation of vehicle movement resistance, therefore, the research of methods and means of such evaluation is important and relevant.

Air resistance of a car is usually considered to be proportional to the square of the speed. However, the discrepancy between the calculated and experimental curves in the region of medium and especially high speeds, where aerodynamic forces become decisive, encourages a more detailed study of this issue.

It is believed that the coefficient of aerodynamic drag  $C_X$  is a constant characteristic of a certain car, which depends exclusively on its configuration, position in space (inclination, clearance) and the condition of the surfaces. The change in air resistance should be explained by the change in the coefficient in the formula for calculating  $C_X$ . Published values of  $C_X$  are determined by wind tunnel testing. As you know, the air resistance in the pipe is less than on the road by 5...10%. Therefore, in order to normalize the diagnostic parameters, it is necessary to know the real values of  $C_X$  for a specific car model.

Many authors have conducted research on wheel rolling on the road, but all these studies were performed using old tire models. To date, only radial tires are used on passenger cars, for which rolling resistance studies are carried out under road conditions.

The article proposes to measure the deceleration of the car from two speeds, to make two equations (taking into account the expected influence of the speed on the rolling resistance) and to find the rolling resistance and the air resistance. Similar calculations can be carried out by coasting. It is possible to perform the same experiments with different loading of the car, and when processing the results, take into account the effect of loading on rolling resistance and air.

**Keywords:** coasting, deceleration, path, rolling resistance, air resistance.

*МАРМУТ Ігор Арнольдович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної експлуатації і сервісу автомобілів ім. проф. Говорущенка М.Я., Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [mia2005.62@ukr.net](mailto:mia2005.62@ukr.net). <https://orcid.org/0000-0003-4661-1336>.

*ЗУЄВ Володимир Олександрович*, голова циклової комісії, викладач спеціальних дисциплін, Галицький фаховий коледж імені В'ячеслава Чорновола, м. Тернопіль, e-mail: [vlal.zuyev@gmail.com](mailto:vlal.zuyev@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0002-0596-8630>.

*Ihor MARMUT*, Ph. D. in Engineering, Associate Professor of Technical Operation and Service of Cars Department named after Prof. Govorushchenko M.Ya., Kharkov National Automobile and Highway University, e-mail: [mia2005.62@ukr.net](mailto:mia2005.62@ukr.net). <https://orcid.org/0000-0003-4661-1336>.

*Volodymyr ZUIEV*, Chairman of the Cycle Committee, Teacher of Special Disciplines, Vyacheslav Chornovol Halych Vocational College, Ternopil, e-mail: [vlal.zuyev@gmail.com](mailto:vlal.zuyev@gmail.com). <https://orcid.org/0000-0002-0596-8630>.

DOI 10.36910/automash.v1i22.1366



Монастирський Ю. А., Максименко І. С.  
*Криворізький національний університет***ПЕРСПЕКТИВИ ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ГЛИБОКИХ  
КАР'ЄРІВ**

Зниження глибини видобутку корисних копалин в кар'єрах обумовлює необхідність пошуку шляхів зменшення викидів шкідливих речовин від автомобільного транспорту, який є основним в глибоких кар'єрах. На підставі дослідження зміни витрат палива при транспортуванні порід кар'єрними автосамоскидами і дизель тролейвозами вантажопідйомністю 90, 130 та 220 тон встановлені закономірності зміни лінійних витрат палива від тривалості руху з вантажем кар'єрними самоскидами з електромеханічною передачею. Середня розрахункова лінійна витрата палива для самоскидів вантажопідйомністю 90 т становить 10-12 л/км, 130 т – 16-18 л/км, 220 т – 24-26 л/км. Менші значення відповідають маршрутам більшої протяжності за рахунок меншої питомої частки витрат палива на непродуктивних операціях транспортного циклу. Встановлено параболічну залежність питомої витрати палива тролейбусного автомобіля від довжини маршруту та лінійну залежність питомої витрати палива тролейбусного автомобіля на тролейбусній ділянці маршруту. Встановлено, що абсолютна протяжність маршруту руху суттєво не впливає на питому витрату палива, більш істотний вплив має частка тролейбусної ділянки в загальній протяжності маршруту. При збільшенні тролейної частини колії від 30 до 70 % на найдовшій колії величина відносної витрати палива зменшується з 0,76 до 0,41. Для зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу при впровадженні тролейбусної допомоги необхідно мати маршрути максимальної довжини з максимальною довжиною тролейбусної ділянки, це може призвести до скорочення в 2,5 рази.

**Ключові слова:** кар'єрний автосамоскид, дизель тролейвоз, витрати палива, викиди шкідливих речовин, декарбонізація

**ВСТУП**

Автомобільний транспорт є основним технологічним транспортом в глибоких кар'єрах. Висока маневреність у поєднанні з мінімальними вимогами щодо шляхів руху обумовлюють використання саме автомобілів в обмеженому за розміром технологічному просторі нижньої зони кар'єру. [1, 2]. Одночасно проявляється одна з основних вад автомобільного транспорту - наявність викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигунів внутрішнього згоряння що дуже негативно позначається на атмосфері кар'єру. Спроби використання різних засобів штучного механічного перемішування повітря в кар'єрах із застосування авіаційних літакових та гвинтокрилих двигунів не дали позитивних ефективних результатів, тому наразі прийнято провітрювання глибоких кар'єрів за рахунок природних висхідних потоків повітря із центральної частини кар'єру та відповідно низхідних потоків по бортам кар'єру, які утворюються в наслідок природнього більшого нагріву сонцем центру кар'єру [3]. Для зменшення викидів відпрацьованих газів необхідно зменшувати витрати палива кар'єрними автосамоскидами.

**АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ.**

Одним з сучасних напрямів у розвитку кар'єрного автомобільного транспорту, який дозволяє вирішити проблему викидів відпрацьованих газів, є електрифікація автотранспорту та впровадження дизель тролейвозів. Цим шляхом йдуть основні світові виробники кар'єрних автосамоскидів, у тому числі Катерпіллар (Caterpillar), Комацу (Komatsu), Хітачі (Hitachi), Лібхер (Liebher), а також виробник електротехнічного обладнання світового рівня компанія Сіменс (Siemens) [4 - 11]. Реалізація відбувається шляхом модернізації у дизель тролейвози серійних кар'єрних автосамоскидів з електромеханічною трансмісією вантажопідйомністю від 90 т. В світі реалізовано більше 30 проектів встановлення тролейних ліній для технологічного автотранспорту, тенденція їх впровадження продовжує зростання. В Україні компанією Феррекспо (Fertexpro) планується встановити тролейне обладнання на 14 кілометрах кар'єрних автошляхів в кар'єрах Полтавського, Єристівського та Біланівського гірничо-збагачувальних комбінатів [12]. Розглядається перспективи застосування дизель тролейвозів на криворізьких гірничо-збагачувальних комбінатах [13, 14].

В процесі роботи дизель тролейвозів спостерігається збільшення продуктивності та зниження витрат палива на одну тону видобутої гірничої маси, що обумовлює, одночасно, зниження викидів відпрацьованих газів до яких входять оксид вуглецю, неметанові леткі органічні сполуки, метан, діоксид азоту, сажа, оксид азоту, діоксид сірки, вуглекислий газ. Питання визначення показників роботи нового виду машин в кар'єрах потребує досліджень та порівняння серійних кар'єрних

автосамоскидів з дизель тролейвозами, у тому числі кількості викидів відповідно умов експлуатації машин.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В Україні прийнята «Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів» [15], в якій по суті кількість викидів різних речовин лінійно залежить від витрат палива. Звичайно витрати палива на експлуатацію автомобілів визначаються в літрах, але при визначенні кількості викидів застосовується коефіцієнт переведення у вагові одиниці, який для дизельного палива встановлений нормативно 0,85 кг/л [15].

При розрахунку витрат дизельного палива (табл.1) за методикою [16] були прийняті наступні вихідні дані: кар'єрний автосамоскид вантажопідйомністю 90 т двигун – Cummins KTA-38C, потужність 783 кВт; кар'єрний автосамоскид вантажопідйомністю 130 т двигун – Cummins KTTA-50C, потужність 1194 кВт; кар'єрний автосамоскид вантажопідйомністю 220 т двигун – Cummins QSK-60 C, потужність 1715 кВт; питомі витрати палива двигунами при номінальній потужності від 202 до 209 г/(кВт·год.), витрати палива кар'єрним автосамоскидом при русі з вантажем відповідають витратам палива двигуна при роботі при номінальному навантаженні; при маневруванні та русі без вантажу як кар'єрним автосамоскидом так і дизель тролейвозом витрати палива складають за рекомендаціями [10] 40 % від номінальних витрат, під час очікування завантаження, завантаження та очікування розвантаження витрати палива машин дорівнюють витратам палива при роботі двигуна на холостому ходу, під час руху в тролейному режимі витрати палива дизель тролейвозом дорівнюють витратам палива при роботі двигуна на холостому ході збільшеними на 5 % для забезпечення роботи обмотки збудження тягових електродвигунів.

Таблиця 1 – Сумарні витрати палива на трасах різної довжини самоскидами різної вантажопідйомності

Витрати палива, кг	Довжина руху з вантажем / загальний пробіг, км	1/2	2/4	3/6	4/8	5/10
	Вантажопідйомність 90 т		18,98	36,49	54,01	71,52
Вантажопідйомність 130 т		29,80	57,30	84,80	112,30	139,80
Вантажопідйомність 220 т		43,02	82,70	122,39	162,08	201,77

Середні розрахункові лінійні витрати палива з таблиці 1 для самоскидів вантажопідйомністю 90 т складають 10-12 л/км, 130 т – 16-18 л/км, 220 т – 24-26 л/км, при чому менші значення відповідають трасам більшої довжини за рахунок меншої питомої частини витрат палива під час непродуктивних операцій транспортного циклу. За даними криворізьких гірничо-збагачувальних комбінатів витрати палива кар'єрними автосамоскидами вантажопідйомністю 130 т знаходяться на рівні 15 - 20 л/км, а вантажопідйомністю 220 т – на рівні 25 – 30 л/км. Таким чином розрахункові значення витрат палива відповідають фактичним значенням, це підтверджує достовірність прийнятої методики виконання розрахунків.

На основі методики визначення параметрів роботи кар'єрного автомобільного транспорту [16] встановлені закономірності зміни питомих витрат палива, тобто відношення витрат палива кар'єрного автосамоскиду тролейвоза до витрат палива звичайного кар'єрного автосамоскиду які працюють на однакових трасах від довжини трас руху при різних частинах тролейної ділянки. Встановлено, що довжина траси руху на питомі витрати палива впливає по параболічній залежності не дуже суттєво, більш суттєвий вплив має питома вага тролейної ділянки в загальній довжині траси яка впливає по лінійній низпадаючій залежності показаній на рисунку 1.

Максимальне відносне зменшення витрат палива, практично в 2,5 рази (питомі витрати на рівні 0,4), спостерігається на найдовшій трасі (5 км) з найбільшою тролейною ділянкою (70 %). На найкоротшій трасі в 1 км при довжині тролейної ділянки у 300 м (30 %) зменшення витрат палива найменше і складає 1,3 рази. Такий висновок доводить, що для зменшення абсолютної величини витрат палива необхідно мати траси максимальної довжини з максимальною довжиною тролейної ділянки. Розглядалися траси в яких тролейна ділянка розташована на лінії руху з вантажем, у зворотному напрямку без вантажу рух виконується по звичайній лінії, як що на зворотній лінії встановити тролей, то суттєвих змін у витрат палива не буде внаслідок руху машин в режиму

гальмування з мінімальними витратами палива незалежно чи під тролеем чи без тролєю рухається машина.

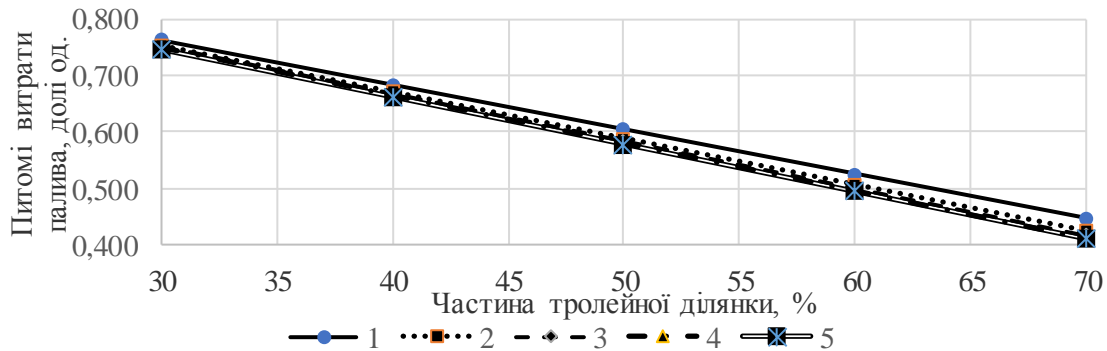


Рисунок 1 – Закономірності зміни питомих витрат палива від частини тролєйної ділянки (у процентах) при різних довжинах руху з вантажем (у кілометрах).

Для встановлених закономірностей отримана, за допомогою методики раціонального планування експериментів, двохфакторна аналітична залежність питомих витрат палива від довжини траси та питомої частини тролєйної ділянки:

$$PP = -0.0008p + 0.0022l^2 - 0.0194l + 1.021, \text{ долі одиниць,}$$

де  $p$  - питома частина тролєйної ділянки, процент від загальної довжини руху з вантажем, % (межі від 30 до 70 %),

$l$  - загальна довжина руху з вантажем, км (межі від 1 до 5 км).

Використовуючи встановлені закономірності можливо визначати прогнозні витрати палива для конкретних трас руху при оцінці доцільності використання дизель-тролейвозів на базі кар'єрних автосамоскидів вантажопідйомністю від 90 до 220 т. Означені закономірності витрат палива також можуть бути використані для автосамоскидів іншої вантажопідйомності з відповідним корегувальним коефіцієнтом потужності двигуна та питомих витрат палива.

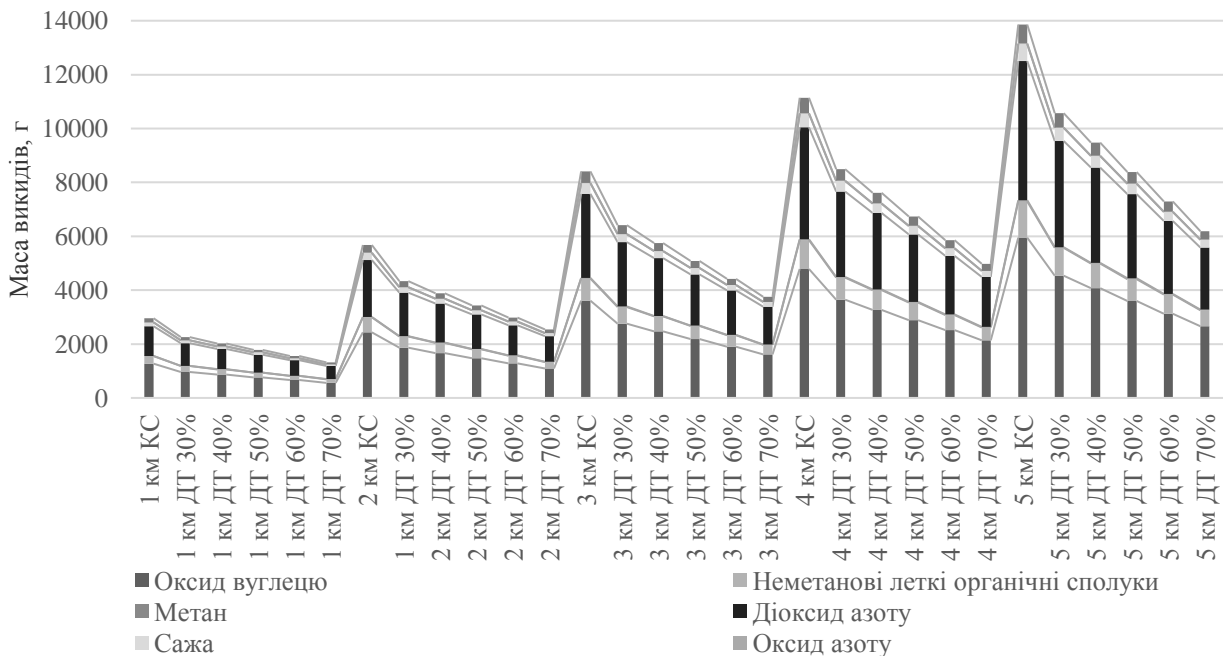


Рисунок 2 – Закономірності зміни викидів основних шкідливих речовин від нових машин вантажопідйомністю 130 т в залежності від довжини траси руху та частини тролєйної ділянки. КС – кар'єрний автосамоскид, ДТ xx% - дизель тролєйвоз на трасі з xx % тролєйною частиною

Для встановлених витрат палива для найбільш розповсюдженого в Україні (80 % парку всіх машин вантажопідйомністю більше 100 т) технологічного кар'єрного автосамоскиду

вантажопідйомністю 130 т встановлені зміни викидів основних шкідливих речовин від нових машин в залежності від довжини траси руху та частини тролейної ділянки (рис.2).

### **ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ**

На всіх трасах тролейвоз значно менше витрачає дизельного палива ніж звичайний кар'єрний автосамоскид і відповідно менше робить викидів шкідливих речовин в атмосферу кар'єру.

Встановлено, що дизель тролейвоз, який працює на трасі довжиною 5 км сумарно викидає менше забруднюючих речовин ніж звичайний кар'єрний автосамоскид який працює на трасах від 3 км незалежно від довжини тролейної ділянки. Дизель тролейвоз на трасі у 2 км з 60 % тролейною ділянкою викидає стільки ж забруднюючих речовин, як і кар'єрний автосамоскид на вдвічі меншій трасі. Таким чином показано що впровадження дизель тролейвозів дозволяє суттєво зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу. Аналогічні значення з відповідним корегування до витрат палива спостерігаються і для кар'єрних автосамоскидів та дизель тролейвозів на їх базі інших машин. Абсолютні значення змінюються, а відносні значення викидів від двигуна внутрішнього згорання дизель тролейвозу до викидів двигуна внутрішнього згорання кар'єрного автосамоскиду залишаються незмінними, що може бути розповсюджено і на інші машини.

### **ВИСНОВКИ**

Питання зменшення витрат палива кар'єрного транспорту завжди є пріоритетним, особливо в умовах розвитку світової промисловості зі зменшенням витрат викопного палива та обмеження енергетичних ресурсів, при цьому одночасно вирішується і питання декарбонізації, тобто зменшення викидів вуглецю та його сполуки в атмосферу. Впровадження в глибоких кар'єрах України дизель тролейвозів дозволяє до 2,5 разів зменшити викиди шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигунів внутрішнього згорання та забезпечити більш якісні умови роботи персоналу в складних, обмежених у просторі та недостатньо провітрюваних умовах кар'єрів глибиною 300 - 400 м і більше.

### **ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1.Yurii Monastyrskiy, Volodymyr Sistuk, Volodymyr Potapenko, and Ivan Maksymenko. The sustainable future of open-pit trucks operation/ The International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic. E3S Web of Conferences 166, 07005 (2020) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016607005>.

2.Монастирський Ю.А. Аналіз адекватності моделі технічної експлуатації системи технологічного автотранспорту / Ю.А. Монастирський, Максимова О.С., Потапенко В.В., Максименко І.С. // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті : наук. журн. / Луц. нац. техн. ун-т. – Луцьк, 2020. – № 2 (15). – С. 77-85. DOI: 10.36910/automash.v2i15.395.

3.Наливайко, В. Г. Коновалюк, В. А. Розробка ефективних способів і засобів нормалізації атмосфери робочих зон кар'єрів/ Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. Збірник наукових праць. Випуск 34, Київ: КНУБА, 2020, с. 29-39.

4.Siemens patented all-electric Mobile Mining Truck based on proven technology / <https://imining.com/2021/11/04/siemens-patented-electric-mobile-mining-truck-based-proven-technology/>.

5.Caterpillar introduces trolley assist system for CAT® electric drive mining trucks / [https://www.cat.com/en\\_AU/news/machine-press-releases/caterpillar-introduces-trolley-assist-system-for-cat-electric-drive-mining-trucks.html](https://www.cat.com/en_AU/news/machine-press-releases/caterpillar-introduces-trolley-assist-system-for-cat-electric-drive-mining-trucks.html).

6.Trolley assist for diesel-electric trucks in mining: 3 reasons why it is taking off. Thanks to Boliden's recent trial at its Aitik open-pit mine, in Sweden, the subject of trolley assist is back on the mining industry's agenda. / <https://new.abb.com/mining/mineoptimize/systems-solutions/mining-electrification/trolley-assist-for-diesel-electric-trucks>.

7.Trolley-assisted haul roads construction and maintenance / <https://www.globalroadtechnology-blog.com/industry-articles/trolley-assisted-haul-roads-construction-and-maintenance>.

8.Liebherr Trolley Trucks Testing Success at Austrian Mine <https://www.heavyliftnews.com/liebherr-trolley-trucks-testing-success-at-austrian-mine/>

9.An introduction to trolley-assist haulage systems/ <https://globalroadtechnology.com/trolley-assist-haulage-systems/>

10.5 things you may not have known about the Trolley Assist System <https://www.liebherr.com/en/ind/latest-news/news-press-releases/detail/5-things-you-may-not-have-known-about-the-trolley-assist-system.html>.

11.Can a dirty industry come clean? How mining equipment is becoming more sustainable / <https://www.mobilehydraulictips.com/can-a-dirty-industry-come-clean-how-mining-equipment-is-becoming-more-sustainable/>

12.Ferrexpo планує електрифікувати кар'єрний транспорт /<https://gmk.center/ua/news/ferrexpo-planuie-elektrizuvati-kar-iernij-transport/?fbclid=IwAR2skv5J7ZG2qbdh0AZ4Qvq6M582hm1xVMqIiPjchVgsEg8q5iv2rBPxixA>.

13.Y. Monastyrskiy, V. Sistuk, I. Maksymenko Prospects for using truck trolley-assisted haulage systems in deep iron ore open pit mines. Vytautas Ostaševičius (pirmininkas). (2023). Transport Means 2023. Part II. Proceedings of the 27th International Scientific Conference. P.705 – 709. <https://ebooks.ktu.edu/pdfreader/transport-means-2023.-part-ii.-proceedings-27th-international-scientific-conference>. doi:10.5755/e01.2351-7034.2023.P2.

14.Монастирський Ю.А., Максименко І.С. Перспективи застосування дизель-тролейвозів на залізрудних кар'єрах Криворізького басейну// Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток промисловості та суспільства», м. Кривий Ріг, КНУ, 2023 р. С.157.

15.Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів. <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0452202-08#Text>.

16.Technical and operational characteristics of Caterpillar machines. Directory. Published by Caterpillar Inc., Peoria, Illinois. 2007. - 1330 p.

## REFERENCES

1.Yurii Monastyrskiy, Volodymyr Sistuk, Volodymyr Potapenko, and Ivan Maksymenko. The sustainable future of open-pit trucks operation/ The International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic. E3S Web of Conferences 166, 07005 (2020) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016607005>.

2.Monastyrskiy Yu.A. Analiz adekvatnosti modeli tekhnichnoi ekspluatatsii systemy tekhnolohichnoho avtotransportu / Yu.A. Monastyrskiy, Maksymova O.S., Potapenko V.V., Maksymenko I.S. // Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti : nauk. zhurn. / Luts. nats. tekhn. un-t. – Lutsk, 2020. – № 2 (15). – S. 77-85. DOI: 10.36910/automash.v2i15.395.

3. Nalyvaiko, V. H. Konovaliuk, V. A. Rozrobka efektyvnykh sposobiv i zasobiv normalizatsii atmosfery robochykh zon karieriv/ Ventyliatsiia, osvittennia ta teplihazopostachannia. Zbirnyk naukovykh prats. Vypusk 34, Kyiv: KNUBA, 2020, s. 29-39.

4.Siemens patented all-electric Mobile Mining Truck based on proven technology / <https://imining.com/2021/11/04/siemens-patented-electric-mobile-mining-truck-based-proven-technology/>

5.Caterpillar introduces trolley assist system for CAT® electric drive mining trucks / [https://www.cat.com/en\\_AU/news/machine-press-releases/caterpillar-introduces-trolley-assist-system-for-cat-electric-drive-mining-trucks.html](https://www.cat.com/en_AU/news/machine-press-releases/caterpillar-introduces-trolley-assist-system-for-cat-electric-drive-mining-trucks.html)

6.Trolley assist for diesel-electric trucks in mining: 3 reasons why it is taking off. Thanks to Boliden's recent trial at its Aitik open-pit mine, in Sweden, the subject of trolley assist is back on the mining industry's agenda. / <https://new.abb.com/mining/mineoptimize/systems-solutions/mining-electrification/trolley-assist-for-diesel-electric-trucks>

7.Trolley-assisted haul roads construction and maintenance / <https://www.globalroadtechnology-blog.com/industry-articles/trolley-assisted-haul-roads-construction-and-maintenance>

8.Liebherr Trolley Trucks Testing Success at Austrian Mine <https://www.heavyliftnews.com/liebherr-trolley-trucks-testing-success-at-austrian-mine/>

9.An introduction to trolley-assist haulage systems/ <https://globalroadtechnology.com/trolley-assist-haulage-systems/>

10.5 things you may not have known about the Trolley Assist System <https://www.liebherr.com/en/ind/latest-news/news-press-releases/detail/5-things-you-may-not-have-known-about-the-trolley-assist-system.html>

11.Can a dirty industry come clean? How mining equipment is becoming more sustainable / <https://www.mobilehydraulictips.com/can-a-dirty-industry-come-clean-how-mining-equipment-is-becoming-more-sustainable/>

12.Ferrexpo планує електрифікувати кар'єрний транспорт /<https://gmk.center/ua/news/ferrexpo-planuie-elektrizuvati-kar-iernij-transport/?fbclid=IwAR2skv5J7ZG2qbdh0AZ4Qvq6M582hm1xVMqIiPjchVgsEg8q5iv2rBPxixA>.



13.Y. Monastyrskiy, V. Sistuk, I. Maksymenko. Prospects for using truck trolley-assisted haulage systems in deep iron ore open pit mines. Vytautas Ostaševičius (pirmininkas). (2023). Transport Means 2023. Part II. Proceedings of the 27th International Scientific Conference. P.705 – 709. <https://ebooks.ktu.edu/pdfreader/transport-means-2023.-part-ii.-proceedings-27th-international-scientific-conference>. doi:10.5755/e01.2351-7034.2023.P2.

14.Monastyrskiy Yu.A., Maksymenko I.S. Perspektyvy zastosuvannya dyzel-troleivoziv na zalizorudnykh karierakh Kryvorizkoho baseinu// Materialy mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Rozvytok promyslovosti ta suspilstva», m. Kryvyi Rih, KNU, 2023 r. S.157.

15.Metodyka rozrakhunku vykydiv zabrudniuiuchykh rehovyn ta parnykovykh haziv u povitria vid transportnykh zasobiv. <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0452202-08#Text>.16. Technical and operational characteristics of Caterpillar machines. Directory. Published by Caterpillar Inc., Peoria, Illinois. 2007. - 1330 p.

**Y. Monastyrskiy, I. Maksymenko. The future of decarbonization for cars used in quarries.**

Increasing the depth of mining in quarries makes it necessary to find ways to reduce emissions of harmful substances from road transport, which is the main one in deep quarries. Based on the study of changes in fuel consumption during the transportation of rocks by quarry dump trucks and trolley assist with a lifting capacity of 90, 130 and 220 tons, we can find that regularities of changes in linear fuel consumption from the duration of movement with cargo by quarry dump, що trucks with electromechanical transmission are established. The average calculated linear fuel consumption for dump trucks with a load capacity of 90 tons is 10-12 L/km, 130 tons – 16-18 L/km, 220 tons – 24-26 L/km. Lower values correspond to longer routes due to a lower share of fuel consumption during unproductive operations of the transport cycle. A parabolic dependence of the specific fuel consumption of a trolley assist on the length of the route and a linear dependence of the specific fuel consumption of a trolley assist on the trolleybus section of the route has been proven. It is established that the absolute length of the route does not significantly affect the specific fuel consumption; thus, the trolley section in the total length of the route has a more significant impact. With an increase in the trolley part of the track from 30 to 70%, the value of relative fuel consumption decreases from 0.76 to 0.41 on the longest track. To reduce emissions of harmful substances into the atmosphere when implementing trolley assistance, it is necessary to have routes of maximum length with the maximum length of the trolley section, this can lead to a reduction of 2.5 times.

**Keywords:** quarry dump truck, trolley assist, fuel consumption, harmful substance emissions, decarbonization.

*МОНАСТИРСЬКИЙ Юрій Анатолійович*, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільного транспорту Криворізького національного університету, e-mail: monastirskiy08@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-8282-3929>

*МАКСИМЕНКО Іван Сергійович*, аспірант Криворізького національного університету, e-mail: ivan2020maksimenko@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-8285-9606>

*Yuri MONASTYRSKIY*, Doctor of Technical Sciences , Professor, Head of Automobile Facilities Department, Kryvyi Rih National University, e-mail: monastirskiy08@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-8282-3929>

*Ivan MAKSYMENKO*, Graduate Student of Kryvyi Rih National University, e-mail: ivan2020maksimenko@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-8285-9606>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1367

Мурований І.С.<sup>1</sup>, Крук А.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Луцький національний технічний університет

<sup>2</sup>Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз

## ДОСЛІДЖЕННЯ МАНЕВРУ ЗАГАЛЬМОВАНОГО ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ПРИ АНАЛІЗІ ОБ'ЇЗДУ НЕРУХОМОЇ ПЕРЕШКОДИ

У даній статті розглядається маневрування загальмованого транспортного засобу, обладнаного антиблокувальною системою (АБС) гальм, при аналізі об'їзду нерухомої перешкоди, як дослідження технічного аспекту механізму ДТП. Використовуючи розроблену математичну модель, встановлено критерії безпечного об'їзду нерухомої перешкоди, які враховують габарити транспортного засобу, швидкість його руху на момент початку маневру, дорожні умови, а також розташування перешкоди. Важливою частиною дослідження є врахування зменшення швидкості автомобіля внаслідок гальмування, що істотно впливає на параметри маневру.

В статті надається детальний опис алгоритмів аналізу механізму ДТП, в залежності від поставлених перед експертом задач. На основі отриманих даних сформульовано умови безпечного об'їзду перешкод для різних типів маневрів: "вхід в поворот", "вхід-вихід" та "зміна смуги руху". Пропонуються також алгоритми вирішення типових задач, які можуть виникнути при проведенні судової автотехнічної експертизи, зокрема особливу увагу приділено встановленню наявності у водія технічної можливості уникнути наїзду на нерухому перешкоду.

Ця робота має значення для покращення методик судової автотехнічної експертизи та розробки ефективних алгоритмів для аналізу механізму дорожньо-транспортних пригод пов'язаних з зіткненням з нерухомою перешкодою, що також сприяє розробці заходів для запобігання аварійних ситуацій на дорогах, забезпечуючи більшу безпеку дорожнього руху.

**Ключові слова:** гальмування, маневр, об'їзд перешкоди, антиблокувальна система гальм, переміщення, швидкість, курсовий кут, час маневру, автотехнічна експертиза.

### ВСТУП

Стан ринку вантажних перевезень в Україні з моменту повномасштабного російського вторгнення на нашу територію значно скоротився у порівнянні з довоєнним періодом, що в значній мірі зумовлено закриттям повітряного простору та більшості морських портів України фактично від моменту запровадження режиму воєнного стану. Такі обставини неминуче привели до зменшення обсягів перевезень в галузі транспорту та логістики України. Виходячи з аналітичних даних за 2022 рік [1] війна призвела до зменшення обсягів вантажних перевезень автомобільним транспортом на 22%, залізничним – на 48%, морським – на 85% та авіаційним – майже на 100%. Як видно з наведеної статистики найменше падіння обсягів вантажних перевезень зазнав автомобільний транспорт, що зумовлено, зокрема, меншою вразливістю автотранспортної інфраструктури для ворожих ударів. Підписання у 2022 році між Україною та Європейським Союзом угоди про вантажні перевезення автомобільним транспортом звільнило українських перевізників від необхідності отримувати дозволи на виконання рейсів в країні ЄС, відкрило нові перспективи для двосторонніх міжнародних автоперевезень та, відповідно, збільшенню частки таких перевезень на ринку вантажних перевезень України.

Однак ринок автомобільних перевезень останнім часом стикається з рядом серйозних викликів, одним з яких є зростання аварійності на українських шляхах. Кількість дорожньо-транспортних пригод (ДТП) в Україні за минулий рік збільшилась на чверть. Так, згідно статистики [2], у 2023 році трапилося 23 тисячі 642 ДТП (+26,9%): загинуло 3 тисячі 53 учасники (+9,4%), постраждали – 29 тисяч 502 (+27,5%). Тому проблема забезпечення безаварійної експлуатації автомобільного транспорту стала однією з актуальних проблем нашого суспільства. В значній мірі ефективність роботи, спрямованої на зниження кількості дорожньо-транспортних пригод, визначається всебічним і повним аналізом механізму їх розвитку. Лише на основі такого аналізу можливо встановити їх причини, а також визначити обставини, котрі сприяли аварійності, і, відповідно, можна розробити заходи, спрямовані на їх усунення.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Технічні аспекти дослідження дорожньо-транспортних пригод відносяться до автотехнічної експертизи, яка вивчає і аналізує обставини події та механізм її розвитку, зокрема: траєкторію руху та інші просторово-динамічних характеристики пригоди, встановлює наявність у водія технічної

можливості запобігти пригоді, відповідності з технічної точки зору дій водія вимогам Правил дорожнього руху, а також встановлює причинно-наслідкові зв'язки між діями водія та ДТП [3].

Одним з видів дорожньо-транспортних пригод є зіткнення з нерухомим об'єктом у межах смуги руху транспортного засобу (ТЗ), який становить перешкоду для руху [4]. При виникненні перешкоди для руху, яку водій об'єктивно спроможний виявити, він, відповідно до вимогами п.12.3 Правил дорожнього руху [5], повинен негайно вжити заходів для зменшення швидкості аж до зупинки транспортного засобу або безпечного для інших учасників руху об'їзду перешкоди. Питання щодо встановлення наявності у водія технічної можливості уникнути наїзду на нерухому перешкоду є предметом інженерно-транспортної (автотехнічної) експертизи.

В експертній практиці дослідження питання встановлення наявності у водія технічної можливості уникнути зіткнення з перешкодою шляхом застосування маневру об'їзду проводиться при умові руху автомобіля з постійною швидкістю [6, 7, 8]. Зазначена умова пов'язана з тим, що при застосуванні гальмування в екстремальній ситуації відбувається, як правило, блокування керованих коліс і, як наслідок, втрата керованості транспортного засобу. Тому дослідження можливості застосування водієм одночасно з гальмуванням маневру не мало технічного підґрунтя. Але з вдосконаленням конструкції робочої гальмівної системи автомобілів, а саме, з обладнанням більшості сучасних автомобілів антиблокувальною системою гальм (АБС), яка запобігає, під час застосування водієм екстреного гальмування, блокуванню коліс і, відповідно, дає можливість одночасно виконувати контрольований маневр, що, в свою чергу, розширює можливості водія запобігти дорожньо-транспортній пригоді у випадку виявлення перешкоди у межах смуги руху транспортного засобу.

На основі перевіреної багаторічною практикою методики розрахунку параметрів маневру транспортних засобів [6, 7, 8], опираючись на положення теоретичної механіки та теорії автомобіля, були проведені дослідження параметрів руху транспортних засобів при виконанні маневру з одночасним застосуванням гальмування, за умови наявності антиблокувальної системи в конструкції робочої гальмівної системи автомобіля [9, 10]. В таблиці 1 приведена математична модель для дослідження параметрів руху транспортних засобів при виконанні таких видів маневру, як «вхід в поворот», «вхід-вихід» та «зміна смуги руху» [10].

Таблиця 1. Формули для розрахунку положення загальмованого ТЗ в кінці маневру

№	Параметри	Вид маневру		
		“Вхід в поворот”	“Вхід-вихід”	“Зміна смуги руху”
1	2	3	4	5
2	Час маневру $\tau_M, \text{с}$	$\frac{1}{j}(V_0 - \sqrt{V_0^2 - 2x_M j})$	$\frac{1}{j}(V_0 - \sqrt{V_0^2 - 2x_M j})$	$\frac{1}{j}(V_0 - \sqrt{V_0^2 - 2x_M j})$
3	Повздожнє переміщення $x(\tau_M), \text{м}$	$V_0 \tau_M - \frac{1}{2} j \tau_M^2$	$V_0 \tau_M - \frac{1}{2} j \tau_M^2$	$V_0 \tau_M - \frac{1}{2} j \tau_M^2$
4	Поперечне переміщення $y(\tau_M), \text{м}$	$\frac{9}{160} \frac{j g \varphi_y}{V_0^3} \tau_M^3 (20V_0^2 - 25V_0 j \tau_M + 8j^2 \tau_M^2)$	$\frac{27}{512} \frac{j g \varphi_y}{V_0^3} \tau_M^3 (16V_0^2 - 18V_0 j \tau_M + 5j^2 \tau_M^2)$	$\frac{27}{8192} \frac{j g \varphi_y}{V_0^3} \tau_M^3 (64V_0^2 - 32V_0 j \tau_M - 5j^2 \tau_M^2)$
5	Курсовий кут $\gamma(\tau_M), \text{рад}$	$\frac{27}{24} \frac{j g \varphi_y}{V_0^3} \tau_M^2 (3V_0 - 2j \tau_M)$	$\frac{27}{32} \frac{j g \varphi_y}{V_0^3} \tau_M^2 (2V_0 - j \tau_M)$	0

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В залежності від поставленої перед експертом задачі метою його дослідження може бути обґрунтування технічної спроможності показів учасників ДТП, встановлення наявності у водія технічної можливості уникнути ДТП шляхом одночасного застосування гальмування та маневру тощо.

В загальному випадку серед вихідних даних, заданих експерту, повинна міститись інформація стосовно ширини перешкоди  $B_n$ , яку необхідно об'їхати, та віддалі до неї в момент виникнення небезпеки для руху  $S_a$ .

Під час виконання екстреного маневру внаслідок поперечних та кутових відхилень, які обумовлюють "рискання" ТЗ, ширина смуги, яку він займає (так званий динамічний коридор  $B_{ок}$ ), перевищує його габаритну ширину  $B_a$ . В експертній практиці ширину динамічного коридору при маневрі, як правило, визначають наступним чином [6]:

$$B_{ок} = B_a + 2\Delta_б = B_a + (0,01L_a + 0,036)V_a \quad (1)$$

де:

$B_a, L_a$  – габаритна ширина та довжина ТЗ відповідно;

$\Delta_б$  – безпечний інтервал;

$V_a$  – швидкість руху автомобіля на початку маневру.

Формула (1) отримана на основі емпіричних залежностей і застосовується у випадку руху автомобіля з постійною впродовж всього маневру швидкістю. У даному випадку швидкість автомобіля впродовж маневру зменшується за рахунок гальмування і в момент об'їзду перешкоди може бути незначною. Використання значення швидкості ТЗ на початку маневру обумовлює отримання завищеної величини динамічного коридору, що на думку авторів дозволяє компенсувати складність маневру, пов'язану з одночасним застосуванням гальмування.

Таким чином, для гарантування уникнення контактування з перешкодою з кожної сторони автомобіля повинен бути забезпечений безпечний інтервал:

$$\Delta_б = \frac{1}{2}(B_{ок} - B_a) = (0,005L_a + 0,018)V_a \quad (2)$$

Для встановлення умов безпечного об'їзду перешкоди необхідно визначити положення передніх габаритних точок автомобіля в кінці маневру (Рисунок 1).

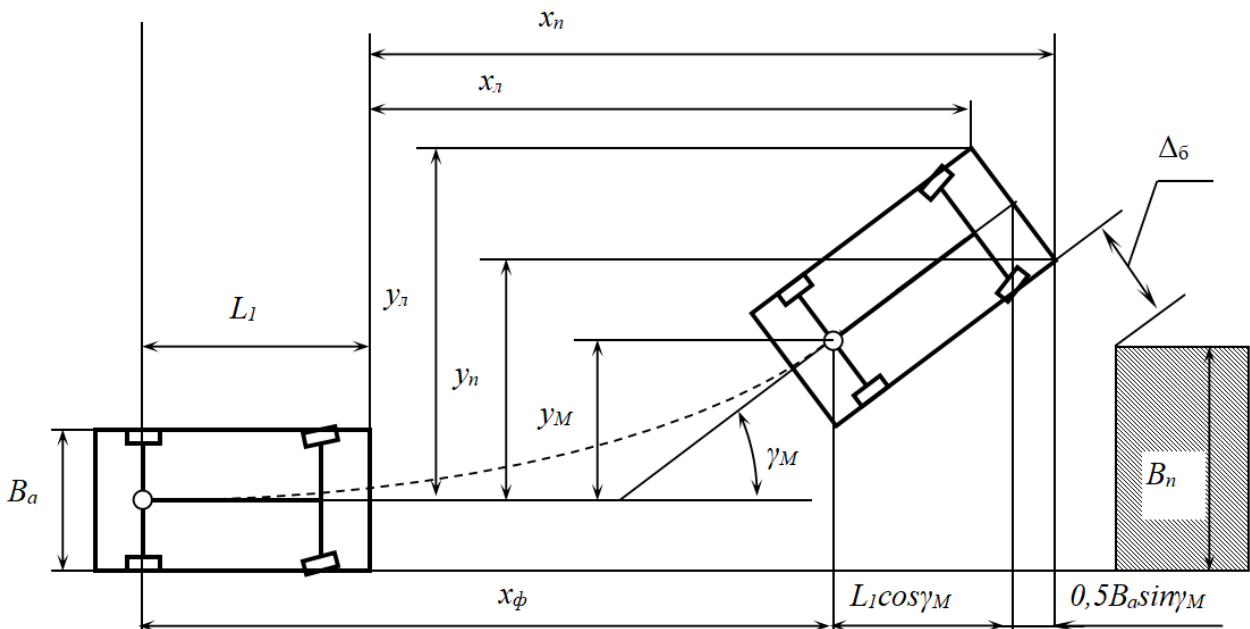


Рисунок 1 - Координати габаритних точок транспортного засобу в кінці маневру

Повздовжнє переміщення передньої правої габаритної точки ТЗ становить (Рисунок 1):

$$x_n = x_\phi - L_1(1 - \cos \gamma_M) + 0,5B_a \sin \gamma_M \quad (3)$$

Поперечне зміщення цієї ж точки складає:

$$y_n = y_M + L_1 \sin \gamma_M + 0,5B_a(1 - \cos \gamma_M) \quad (4)$$

Для передньої лівої габаритної точки ТЗ маємо:

$$x_l = x_\phi - L_1(1 - \cos \gamma_M) - 0,5B_a \sin \gamma_M \quad (5)$$

$$y_l = y_M + L_1 \sin \gamma_M - 0,5B_a(1 - \cos \gamma_M) \quad (6)$$

Враховуючи, що кут  $\gamma_M$  в кінці маневру зазвичай приймає невеликі значення, які не перевищують  $15^\circ$  (0,216 рад), то  $\cos \gamma_M \approx 1$ ;  $\sin \gamma_M \approx \gamma_M$  і формули (3)-(6) можна застосовувати у спрощеному вигляді:

$$x_n \approx x_\phi + 0,5B_a \gamma_M \quad (7)$$

$$y_n \approx y_M + L_1 \gamma_M \quad (8)$$

$$x_l \approx x_\phi - 0,5B_a \gamma_M \quad (9)$$

$$y_l \approx y_M + L_1 \gamma_M \quad (10)$$

Формули (3) – (10) отримані для лівостороннього об'їзду, при якому можливий контакт з перешкодою правою стороною ТЗ (Рисунок 1). Дані формули можна також застосовувати і при дослідженні правостороннього об'їзду: для цього для при визначенні положення правої габаритної точки необхідно використовувати формулу з індексом „л”, а лівої – з індексом „п”.

Можливість безпечно об'їхати перешкоду буде при умові, якщо віддалення  $S_a$  автомобіля до нерухомої перешкоди в момент виникнення небезпеки для руху буде становити не менше, ніж сума віддалі  $S_{t1}$ , яку ТЗ подолає за час  $t_1$  реакції водія; віддалі  $S_{p2}$ , яку автомобіль подолає за час  $t_{p2}$  спрацьовування рульового управління, та віддалі  $x_n + \Delta_\delta \sin \gamma_M$ , необхідної для виконання маневру:

$$S_a \geq S_{t1} + S_{p2} + x_n + \Delta_\delta \sin \gamma_M \quad (11)$$

Також при умові, що поперечне зміщення  $y_n$ , яке може бути реалізоване у результаті маневру, не менше необхідного  $B_n + \Delta_\delta \cos \gamma_M$ :

$$y_n \geq B_n + \Delta_\delta \cos \gamma_M \quad (12)$$

На основі цих нерівностей з урахуванням формул (3), (4) умови безпечного об'їзду перешкоди шляхом застосування маневрів “вхід в поворот” та “вхід-вихід” матимуть вигляд:

$$x_\phi \leq S_a - S_{t1} - S_{p2} - L_1(\cos \gamma_M - 1) - (0,5B_a + \Delta_\delta) \sin \gamma_M \quad (13)$$

$$y_M \geq B_n - L_1 \sin \gamma_M - 0,5B_a(1 - \cos \gamma_M) + \Delta_\delta \cos \gamma_M \quad (14)$$

Для наближених розрахунків (з урахуванням формул (7), (8)) можна використовувати наступні умови:

$$x_\phi \leq S_a - S_{t1} - S_{p2} - (0,5B_a + \Delta_\delta) \gamma_M \quad (15)$$

$$y_M \geq B_n - L_1 \gamma_M + \Delta_\delta \quad (16)$$

Для маневру “зміна смуги руху”  $\gamma_M = 0$  і умови безпечного об'їзду приймають вигляд:

$$x_\phi \leq S_a - S_{t1} - S_{p2} \quad (17)$$

$$y_M \geq B_n + \Delta_\delta \quad (18)$$



Досліджуючи маневр необхідно також враховувати наявність вільного простору перед автомобілем в кінці маневру. Особливо це стосується маневрів “вхід в поворот” та “вхід-вихід”. Слід зауважити, що в експертній практиці для незагальмованого ТЗ дослідження цих маневрів з метою встановлення можливості уникнення ДТП зустрічається вкрай рідко. Основною причиною являється відсутність вільного простору перед автомобілем в кінці маневру, який би забезпечував безпеку подальшого руху ТЗ. У зв'язку з цим необхідно відзначити, що для загальмованого ТЗ можливість застосування маневрів “вхід в поворот” та “вхід-вихід” зростає, оскільки в кінці маневру швидкість ТЗ може бути незначною і він може бути зупинений в межах дороги.

Положення загальмованого ТЗ в кінці маневру і час виконання маневру «вхід в поворот» визначається за формулами 3/3-3/5 таблиці 1:

$$x_M = V_0 \tau_M - \frac{1}{2} j \tau_M^2 \quad (19)$$

$$y_M = \frac{9}{160} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (20V_0^2 - 25V_0 j \tau_M + 8j^2 \tau_M^2) \tau_M^3 \quad (20)$$

$$\gamma_M = \frac{27}{24} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (3V_0 - 2j \tau_M) \tau_M^2 \quad (21)$$

Три формули дозволяють визначити три невідомих величини. Водночас система рівнянь (19) – (21) містить чотири параметри, що характеризують маневр ТЗ, а саме: - повздовжнє переміщення  $x_M$  автомобіля під час маневру; поперечне зміщення  $y_M$  середини задньої осі ТЗ в кінці маневру; максимальний курсовий кут  $\gamma_M$ ; час маневру  $\tau_M$ . В залежності від поставленого на вирішення запитання, а саме – від того, що задано, а що необхідно визначити, можливі різні алгоритми застосування даних формул.

Як свідчить експертна практика, всі задачі в кінцевому рахунку можуть бути зведені до вирішення двох запитань:

1) яке максимальне поперечне зміщення ТЗ може бути реалізоване на заданому віддаленні?

2) яке необхідно віддалення, щоб мати змогу змістити ТЗ в поперечному напрямку на задану віддаль?

Зокрема, при дослідженні технічної спроможності показів стосовно виконаного водієм маневру в якості вихідних даних одночасно наявна інформація як про віддалення ТЗ до перешкоди, так і про величину поперечного зміщення. Тому дослідження можна проводити двома шляхами:

- визначити максимальне поперечне зміщення ТЗ, яке могло бути реалізоване в заданій дорожній ситуації, і порівняти його з тим, яке впливає з показів;
- визначити мінімальну відстань, на якій можна досягнути поперечне зміщення ТЗ, що впливає з показів, і порівняти його з вказаним віддаленням.

Розглянемо кожен з можливих алгоритмів дослідження маневру окремо.

Алгоритм 1. Дослідження маневру «вхід в поворот» загальмованого ТЗ при заданому віддаленні  $S_a$  до перешкоди можна проводити в наступній послідовності.

1.1. На основі даних про параметри автомобіля та швидкість його руху згідно формули (2) визначається величина безпечного зазору:  $\Delta_\sigma = (0,005L_a + 0,018)V_a$ .

1.2. Коефіцієнт маневру  $K_M$  підраховується в залежності від стану дорожнього покриття по формулам [6]:

- сухий асфальтобетон ( $\varphi = 0,7 \dots 0,8$ ):  $K_M = 1,12 + 0,005V_a$ ;

- мокрий асфальтобетон ( $\varphi = 0,35 \dots 0,45$ ):  $K_M = 1,05 + 0,005V_a$ ;

- ожеледиця ( $\varphi = 0,1 \dots 0,2$ ):  $K_M = 1,0 + 0,0035V_a$ .

1.3. Відстань, яка може бути використана у заданій дорожній ситуації для здійснення маневру, становить (див. формулу (15)):  $X_\Phi = S_a - S_{r1} - S_{p2} - (0,5B_a + \Delta_\sigma) \gamma_M$ .

Розрахункове значення віддалі для здійснення маневру складає:

$$x_M = \frac{x_\phi}{K_M} = \frac{S_a - S_{t1} - S_{p2} - (0,5B_a + \Delta_\delta)\gamma_M}{K_M}.$$

Оскільки курсовий кут  $\gamma_M$  в кінці маневру невідомий, то визначити  $x_M$  за допомогою лише даного рівняння не надається можливим. Для вирішення задачі дане рівняння необхідно доповнити ще рівняннями (19), (20). У результаті отримаємо систему трьох рівнянь з трьома невідомими ( $x_M, \gamma_M, \tau_M$ ):

$$\begin{cases} x_M = \frac{S_a - S_{t1} - S_{p2} - (0,5B_a + \Delta_\delta)\gamma_M}{K_M}; \\ \gamma_M = \frac{27}{24} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (3V_0 - 2j\tau_M)\tau_M^2; \\ x_M = V_0\tau_M - \frac{1}{2} j\tau_M^2. \end{cases} \quad (22)$$

Розв'язуючи дану систему рівнянь отримаємо три параметри: час маневру  $\tau_M$ , повздовжнє переміщення  $x_M$  автомобіля під час маневру та курсовий кут  $\gamma_M$  в кінці маневру.

1.4. Підставляючи встановлене значення часу маневру  $\tau_M$  у формулу (20) визначаємо максимальне поперечне зміщення  $y_M$  середини задньої осі ТЗ, яке може бути реалізоване в заданій дорожній ситуації:

$$y_M = \frac{9}{160} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (20V_0^2 - 25V_0j\tau_M + 8j^2\tau_M^2)\tau_M^3.$$

1.5. Перевіримо умову забезпечення безпечного об'їзду перешкоди (16):  $y_M \geq B_n - L_1\gamma_M + \Delta_\delta$ .

Слід зауважити, що необхідність в розв'язуванні системи трьох рівнянь ускладнює розрахунок. У зв'язку з цим для автоматизації обчислень можна скористатись відповідними прикладними програмами для ПК, зокрема – програмним комплексом для інженерних розрахунків «MathCAD».

Крім того, розрахунок можна спростити, якщо врахувати, що формули для визначення положення ТЗ в кінці маневру отримані при умові, згідно якої курсовий кут в кінці маневру не перевищує  $15^\circ$  ( $0,216$  рад.). За таких обставин величина  $(0,5B_a + \Delta_\delta)\gamma_M$  зазвичай значно менша від  $S_a - S_{t1} - S_{p2}$ , і нею можна знехтувати. Тоді  $x_\phi \approx S_a - S_{t1} - S_{p2}$ .

Це дає можливість у пункті 3 відразу ж визначити розрахункове значення віддалі для маневру:

$$x_M \approx \frac{S_a - S_{t1} - S_{p2}}{K_M}$$

Маючи значення  $x_M$ , згідно залежності (2/3 - таблиці 1) можна визначити час маневру:

$$\tau_M = \frac{1}{j} (V_0 - \sqrt{V_0^2 - 2x_M j})$$

Підставляючи який у формули (20), (21) визначаємо максимальне поперечне зміщення  $y_M$  середини задньої осі ТЗ та курсовий кут  $\gamma_M$  в кінці маневру:

$$y_M = \frac{9}{160} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (20V_0^2 - 25V_0j\tau_M + 8j^2\tau_M^2)\tau_M^3$$

$$\gamma_M = \frac{27}{24} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (3V_0 - 2j\tau_M) \tau_M^2$$

Алгоритм 2. Дослідження маневру «вхід в поворот» загальмованого ТЗ при наявній інформації про поперечне зміщення ТЗ, яке необхідно забезпечити для безпечного об'їзду перешкоди, може бути проведене в наступній послідовності.

2.1. На основі даних про параметри автомобіля та швидкість його руху згідно формули (2) визначається величина безпечного зазору:

$$\Delta_\delta = (0,005L_a + 0,018)V_a$$

2.2. Коефіцієнт маневру  $K_M$  розраховується в залежності від стану дорожнього покриття по формулам зазначеним в пункті 1.2.

2.3. Поперечне зміщення ТЗ, яке необхідне для виконання безпечного об'їзду перешкоди, визначається залежністю (20):

$$y_M = B_n - L_1 \gamma_M + \Delta_\delta.$$

Для встановлення значення  $y_M$  необхідно знати курсовий кут  $\gamma_M$  в кінці маневру, який у свою чергу визначається часом маневру  $\tau_M$ . Тому для визначення  $y_M$  необхідно розв'язати систему трьох рівнянь:

$$\begin{cases} y_M = B_n - L_1 \gamma_M + \Delta_\delta; \\ \gamma_M = \frac{27}{24} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (3V_0 - 2j\tau_M) \tau_M^2; \\ y_M = \frac{9}{160} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (20V_0^2 - 25V_0 j \tau_M + 8j^2 \tau_M^2) \tau_M^3. \end{cases} \quad (23)$$

У результаті рішення даної системи будуть отримані значення трьох величин:  $y_M$ ,  $\gamma_M$  та  $\tau_M$ .

2.4. Переміщення ТЗ, яке теоретично необхідне для забезпечення поперечного зміщення  $y_M$ , визначається згідно залежності (19):

$$x_M = V_0 \tau_M - \frac{1}{2} j \tau_M^2.$$

2.5. Мінімальне поздовжнє переміщення ТЗ, яке фактично необхідне для здійснення безпечного маневру у заданій дорожній ситуації, становить:

$$x_\phi = K_M x_M$$

2.6. Мінімальне віддалення до перешкоди, на якому водій буде мати технічну можливість уникнути наїзду шляхом своєчасного застосування гальмування та маневру «вхід в поворот», складає:

$$S_{a_{\min}} = x_\phi + S_{r1} + S_{r2} + (0,5B_a + \Delta_\delta) \gamma_M.$$

З метою автоматизації обчислень, зокрема – для розв'язування системи рівнянь (23), доцільно скористатись програмним комплексом для інженерних розрахунків «MathCAD».

При малих значеннях курсового кута  $\gamma_M$  необхідне поперечне зміщення ТЗ може бути визначене приблизно:

$$y_M \approx B_n + \Delta_\delta$$

Тоді потреба в розв'язуванні системи рівнянь відпадає, що спрощує розрахунки.

Положення загальмованого ТЗ в кінці маневру «вхід-вихід» визначається згідно з формулами 3/4-5/4 таблиці 1:

$$x_M = V_0 \tau_M - \frac{1}{2} j \tau_M^2 \quad (24)$$

$$y_M = \frac{27}{512} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (16V_0^2 - 18V_0 j \tau_M + 5j^2 \tau_M^2) \tau_M^3 \quad (25)$$

$$\gamma_M = \frac{27}{32} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (2V_0 - j \tau_M) \tau_M^2 \quad (26)$$

Дослідження маневру «вхід-вихід» можна проводити згідно тих же алгоритмів, що і для маневру «вхід в поворот» (див. алгоритми 1, 2), з тією різницею, що замість систем рівнянь (22), (23) слід використовувати системи, побудовані на основі рівнянь (24) – (26).

Так, при дослідженні максимального поперечного зміщення ТЗ, яке може бути реалізоване на заданому віддаленні, замість системи (22) вирішенню підлягає наступна система рівнянь:

$$\begin{cases} x_M = \frac{S_a - S_{t1} - S_{p2} - (0,5B_a + \Delta_\delta) \gamma_M}{K_M}; \\ \gamma_M = \frac{27}{32} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (2V_0 - j \tau_M) \tau_M^2; \\ x_M = V_0 \tau_M - \frac{1}{2} j \tau_M^2. \end{cases} \quad (27)$$

При дослідженні мінімального віддалення ТЗ до перешкоди, на якому її можна безпечно об'їхати, систему рівнянь (23) необхідно замінити системою (28):

$$\begin{cases} y_M = B_n - L_1 \gamma_M + \Delta_\delta; \\ \gamma_M = \frac{27}{32} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (2V_0 - j \tau_M) \tau_M^2; \\ y_M = \frac{27}{512} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (16V_0^2 - 18V_0 j \tau_M + 5j^2 \tau_M^2) \tau_M^3. \end{cases} \quad (28)$$

Послідовність дослідження маневру «зміна смуги руху» аналогічна до послідовності дослідження маневру «вхід в поворот» (див. алгоритми 1, 2). У результаті кінцеве положення ТЗ визначається формулами 3/5-5/5 таблиці 1:

$$x_M = V_0 \tau_M - \frac{1}{2} j \tau_M^2 \quad (29)$$

$$y_M = \frac{27}{8192} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (64V_0^2 - 32V_0 j \tau_M - 5j^2 \tau_M^2) \tau_M^3 \quad (30)$$

$$\gamma_M = 0 \quad (31)$$

При цьому розрахунки параметрів маневру «зміна смуги руху» спрощуються, оскільки в кінці маневру курсовий кут ТЗ  $\gamma_M = 0$ .

Так, при дослідженні максимального поперечного зміщення ТЗ, яке може бути реалізоване на заданому віддаленні, замість системи (22) вирішенню підлягає наступна система рівнянь:

$$\begin{cases} x_M = \frac{S_a - S_{t1} - S_{p2}}{K_M}; \\ x_M = V_0 \tau_M - \frac{1}{2} j \tau_M^2. \end{cases} \quad (32)$$

При дослідженні мінімального віддалення ТЗ до перешкоди, на якому її можна безпечно об'їхати, систему рівнянь (23) необхідно замінити системою (33):

$$\begin{cases} y_M = B_n + \Delta_\delta; \\ y_M = \frac{27}{8192} g \varphi_y \frac{j}{V_0^3} (64V_0^2 - 32V_0 j \tau_M - 5j^2 \tau_M^2) \tau_M^3. \end{cases} \quad (33)$$

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

На основі розробленої математичної моделі дослідження параметрів руху транспортних засобів, обладнаних антиблокувальною системою гальм, при виконанні маневру з одночасним застосуванням гальмування [10], отримано алгоритми аналізу механізму дорожньо-транспортних пригод пов'язаних з наїздом транспортного засобу на нерухому перешкоду, в залежності від поставленої експертної задачі для дослідження таких видів маневру, як «вхід в поворот», «вхід-вихід» та «зміна смуги руху». Необхідно відмітити, що в зазначених алгоритмах аналізу механізму дорожньо-транспортних пригод пов'язаних з наїздом транспортних засобів на нерухому перешкоду в розрахунках використовуються окремі складові, такі як безпечний боковий інтервал ( $\Delta_\delta$ ) та коефіцієнт маневру ( $K_M$ ), які отримані на основі емпіричних залежностей і застосовуються у випадку руху автомобіля з постійною, впродовж всього маневру, швидкістю [6]. Таким чином, з метою підвищення валідності таких досліджень є необхідність провести експериментальні (ходові) випробування для встановлення вищевказаних емпіричних величин для сучасних автотранспортних засобів з врахуванням можливості виконання маневру з одночасним застосуванням гальмування.

Оскільки дорожньо-транспортні пригоди з наїздом транспортного засобу на нерухому перешкоду є одиничним випадком зіткнення транспортного засобу з перешкодою в межах його смуги руху, тому, з метою подальшого розширення предмету експертного автотехнічного дослідження маневру об'їзду перешкоди з одночасним застосуванням гальмування транспортних засобів, обладнаних антиблокувальною системою гальм, доцільно розробити алгоритми аналізу механізму дорожньо-транспортних пригод пов'язаних з наїздом транспортного засобу на перешкоду, яка знаходиться в межах його смуги руху, в тому числі рухається в попутному чи зустрічному напрямку.

### ВИСНОВКИ

В даній статті запропоновані алгоритми аналізу механізму дорожньо-транспортних пригод пов'язаних з дослідженням маневру загальмованого транспортного засобу при наїзді на нерухому перешкоду при проведенні судових інженерно-транспортних (автотехнічних) експертиз, в залежності від поставленої експертної задачі для дослідження таких видів маневру, як «вхід в поворот», «вхід-вихід» та «зміна смуги руху». Зазначені алгоритми дослідження маневру загальмованого транспортного засобу дозволяють експерту вирішити питання щодо встановлення наявності у водія технічної можливості уникнути дорожньо-транспортної пригоди шляхом одночасного застосування гальмування та маневру об'їзду нерухомої перешкоди, а також перевірити технічну спроможність (обґрунтованість) показів учасників ДТП в зазначеній дорожній обстановці.

З метою подальшого розширення предмету експертного автотехнічного дослідження маневру об'їзду перешкоди з одночасним застосуванням гальмування транспортних засобів, обладнаних антиблокувальною системою гальм, обґрунтована доцільність розробки алгоритмів аналізу механізму дорожньо-транспортних пригод пов'язаних з наїздом транспортного засобу на перешкоду, яка рухається в попутному чи зустрічному напрямку в межах його смуги руху.

Також, з метою підвищення валідності таких досліджень, аргументована необхідність провести експериментальні (ходові) випробування для встановлення (уточнення) емпіричних залежностей, які застосовуються в запропонованих алгоритмах дослідження, з врахуванням можливості виконання маневру з одночасним застосуванням гальмування сучасних автотранспортних засобів.

### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ринок вантажних перевезень у 2022 році. TradeMasterGroup. URL: <https://trademaster.ua/articles/313620> (дата звернення: 10.03.2024).
2. Скільки людей загинули та травмувалися у ДТП на українських дорогах за десять років. Слово та діло. Аналітичний портал. URL:



<https://www.slovoidilo.ua/2024/01/29/infografika/suspilstvo/skilky-lyudej-zahynuly-ta-travmuvalysya-dtp-ukrayinskyx-dorohax-desyat-rokiv> (дата звернення: 10.03.2024).

3. Науково-методичні рекомендації з питань підготовки та призначення судових експертиз та експертних досліджень : Норм. акт від 08.10.98 р. № 53/5 : станом на 10 бер. 2024 р.
4. Тлумачний словник основних термінів судової автотехнічної і транспортно-трасологічної експертизи / уклад.: В. Б. Кисельов, В. Д. Гардерман, П. В. Галаса. Київ : НДІСЕ, 2000. 19 с.
5. Правила дорожнього руху України : Норм. акт від 10.10.2001 р. № 1306 : станом на 15 серп. 2023 р.
6. Галаса П.В. Експертний аналіз дорожньо-транспортних пригод [Текст]: Посібник для спеціалістів та водіїв-аматорів / П.В. Галаса, В.Б. Кисельов, А.С. Куйбіда та ін.; під заг. ред. П.В. Галаси; Український центр післяаварійного захисту «ЕКСПЕРТ-СЕРВІС». — К., 1995. — 190 с.: іл.
7. Wypadki drogowe. Vademecum biegłego sądowego. Wydanie 2. IES Kraków, 2006.
8. Jan Unarski, Jakub Zębala. Zbiór podstawowych wzorów i równań stosowanych w analizie wypadków drogowych. IES Kraków, 2001.
9. Крук А. С. Теоретичні засади розрахунку руху транспортного засобу, обладнаного антиблокувальною системою, при виконанні маневру з одночасним застосуванням гальмування. Теорія та практика судової експертизи і криміналістики. 2011. № 11. С. 443–449. URL: [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP\\_meta&C21COM=S&2\\_S21P03=FILE=&2\\_S21STR=Tpsek\\_2011\\_11\\_63](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILE=&2_S21STR=Tpsek_2011_11_63) (дата звернення: 11.03.2023).
10. Мурований І.С., Крук А.С. Дослідження параметрів маневру з одночасним застосуванням гальмування транспортних засобів при дослідженні дорожньо-транспортних пригод. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: ЛНТУ, 2023.– №2(21). с. 122-134. ISSN 2313-5425

#### REFERENCES

1. Rynok vantazhnykh perevezen u 2022 rotsi. TradeMasterGroup. URL: <https://trademaster.ua/articles/313620> (date of access: 10.03.2024).
2. Skilky lyudej zahynuly ta travmuvalysya u DTP na ukrayins'kykh dorohakh za desyat' rokiv. Slovo ta dilo. Analitychnyy portal. URL: <https://www.slovoidilo.ua/2024/01/29/infografika/suspilstvo/skilky-lyudej-zahynuly-ta-travmuvalysya-dtp-ukrayinskyx-dorohax-desyat-rokiv> (date of access: 10.03.2024).
3. Naukovo-metodychni rekomendatsiyi z pytan pidhotovky ta pryznachennya sudovykh ekspertyz ta ekspertnykh doslidzhen : Regulatory act from 08.10.98 No. 53/5: as of 10 Mar. 2024.
4. Kyselov, V. B., Harderman, V. D., & Halasa, P. V. (2000). Tlumachnyi slovnyk osnovnykh terminiv sudovoi avtotekhnichnoi i transportno-trasolohichnoi ekspertyzy. NDISE.
5. (2001). Pravyla dorozhnoho rukhu Ukrainy. Kabinet Ministriv Ukrainy.
6. Halasa P.V., Kysel'ov V.B., Kuybida A.S. & in (1995) Ekspertnyy analiz dorozhn'o-transportnykh pryhod: Posibnyk dlya spetsialistiv ta vodiiv-amatoriv. Ukrayins'kyy media-tsentr "EKSPERT-SERVIS".
7. Wypadki drogowe. Vademecum biegłego sądowego. (2006). Wydanie 2. IES Kraków.
8. Jan Unarski, Jakub Zębala. (2001). Zbiór podstawowych wzorów i równań stosowanych w analizie wypadków drogowych. IES Kraków.
9. Kruk, A. S. (2011). Teoretychni zasady rozrakhunku rukhu transportnoho zasobu, obladnanoho antyblokuvalnoiu systemoiu, pry vykonanni manevru z odnochasnym zastosuvanniam halmuvannia. Teoriia ta Praktyka Sudovoi Ekspertyzy i Kryminalistyky, 11, 443-449. [http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP\\_meta&C21COM=S&2\\_S21P03=FILE=&2\\_S21STR=Tpsek\\_2011\\_11\\_63](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILE=&2_S21STR=Tpsek_2011_11_63)
10. Murovaniy I.S., Kruk A.S. Doslidzhennya parametriv manevru z odnochasnym zastosuvanniam halmuvanniam transportnykh zasobiv pry doslidzhenni dorozhno-transportnykh prygod. Suchasni tekhnolohiyi v mashynobuduvanni ta transporti. Scientific Journal. – Luts'k: LNTU, 2023.– No.2(21).– S.122-134. ISSN 2313-5425

***I. Murovaniy, A. Kruk. The study of the maneuver of a braked vehicle in analyzing the bypassing of a stationary obstacle.***

This article discusses the maneuvering of a braked vehicle equipped with an Anti-lock Braking System (ABS) in analyzing the bypass of a stationary obstacle, as a study of the technical aspect of the mechanism of traffic accidents. Using the developed mathematical model, criteria for safe bypassing of obstacles were established, taking into account the dimensions of the vehicle, its speed at the start of the maneuver, the condition of the road surface, as well as the parameters of the obstacle (width and distance to it). An important part of the study is considering the reduction of the car's speed due to braking, which significantly affects the dynamics of the maneuver.

The article provides a detailed description of the algorithms for analyzing the mechanism of traffic accidents, depending on the tasks set before the expert. Based on the obtained data, conditions for the safe bypass of obstacles for different types of maneuvers: "entering a turn," "entry-exit," and "lane change" are formulated. Algorithms for solving typical tasks that may arise during the conduct of forensic automotive technical expertise are also proposed, with particular attention paid to establishing the driver's technical ability to avoid collision with a stationary obstacle, as well as checking the technical capacity of the participants' statements in such type of traffic accidents.

In the concluding part of the article, prospects for further research are discussed, including the need for experimental testing to establish empirical dependencies used in the developed mathematical model. The advisability of expanding the subject of expert research on the obstacle bypass maneuver is also expressed.

This work is significant for improving the methodologies of forensic automotive technical expertise and developing effective algorithms for analyzing the mechanism of road traffic accidents related to collisions with stationary obstacles, which also contributes to the development of measures to prevent accidents on roads, ensuring greater road safety.

**Keywords:** braking, maneuver, obstacle bypass, anti-lock braking system, ABS, vehicle movement, speed, course angle, maneuver time, automotive technical expertise.

*МУРОВАНИЙ Ігор Сергійович*, кандидат технічних наук, доцент, декан факультету транспорту та механічної інженерії Луцького національного технічного університету, e-mail: igor\_lntu@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-9749-980X>

*КРУК Андрій Сергійович*, судовий експерт, старший науковий співробітник Львівського науково-дослідного інституту судових експертиз, аспірант кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: kruk\_expert@ukr.net

*Igor MUROVANYI*, PhD. in Engineering, Assoc. Professor, Dean of the Faculty of Transport and Mechanical Engineering, Lutsk National Technical University, e-mail: igor\_lntu@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0002-9749-980X>

*Andriy KRUK*, forensic expert, senior researcher, Lviv Scientific Research Institute of Forensic Expertise, graduate student of the department of automobiles and transport technologies of the Lutsk National Technical University, e-mail: kruk\_expert@ukr.net

DOI 10.36910/automash.v1i22.1368

УДК 656.13  
UDC 656.13

Павлова І.О., Самостян В.Р., Дембіцький В.М.  
*Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна*

## ФАКТОРНИЙ АНАЛІЗ ФОРМУВАННЯ МЕРЕЖІ ПІДПРИЄМСТВ МОБІЛЬНОГО АВТОСЕРВІСУ

Найважливішими напрямками вдосконалення у сфері автосервісу є створення нових перспективних проєктів, розширення асортименту послуг з урахуванням фактичної потреби автовласників.

За статистикою, кожен другий власник автомобіля стикався з ситуацією, коли в його автомобіля ставалась поломка під час руху. На жаль, далеко не кожен водій знає як здійснити ремонт на місці і тому, як правило, виникає необхідність у виклику евакуатора та в подальшому ремонті в стаціонарному автосервісі. Подібні дії займають у власника автомобіля багато часу. З метою економії часу можна користуватись мобільним автосервісом, які виїжджають на місце перебування автомобіля. Проте мобільний автосервіс найбільш розвинутий у великих містах. У багатьох випадках послуги мобільного автосервісу обмежуються наданням евакуатора та транспортуванням автомобіля на станцію технічного обслуговування. Дані фактори вимагають реалізації нових підходів до організації автосервісу, зокрема мобільного.

На сьогоднішній день в Україні ніша мобільного автосервісу практично відсутня. В загальній структурі автосервісу він складає всього 6%. Послуга «ремонт автомобіля за викликом» тільки починає набувати популярності, Тому питання розвитку такого спектру послуг як мобільний автосервіс, в сучасних умовах збільшення автомобільного парку набуває виняткової актуальності.

У статті проведено наукові дослідження з проблем підвищення ефективності системи автосервісу та розширення спектру послуг в умовах збільшення автомобільного парку. Актуальність дослідження полягає в пошуку методів оцінки мобільної автосервісної інфраструктури та розробки математичної моделі необхідної кількості підприємств мобільного автосервісу.

**Ключові слова:** мобільний автосервіс, послуги, фактори, показники ринку мобільного автосервісу, моделювання ринку підприємств мобільного автосервісу.

### ВСТУП

Протягом тривалого часу в Україні інтенсивно зростає парк автомобілів індивідуальних власників. В загальному він складає близько 95% усіх легкових автомобілів. Однією з найбільш важливих проблем, з якими стикаються автомобілісти, є контроль за технічним станом автомобіля. Особливо важливо слідкувати за технічним станом систем, що впливають на безпеку руху: гальмівної системи, рульового керування; вчасна заміна мастила, контроль тиску в шинах, перевірка працездатності приладів освітлення та сигналізації.

Своєчасне проведення технічного обслуговування згідно визначених нормативів пробігу, або у відповідності до вказаних термінів заводу-виготовлювача, забезпечує надійність роботи автомобіля. Проте автомобіль ніколи не відмовляє за графіком. Навіть найбільш досвідчений водій не застрахований від раптової поломки автомобіля. Але не кожен водій здатен здійснити ремонт на місці власними силами, через що виникає необхідність у виклику евакуатора та в подальшому ремонті у стаціонарному автосервісі. Подібні дії займають у власника автомобіля багато часу.

Разом з тим, близько 85% усіх несправностей автомобілів складають такі, які можна усунути на місці, тобто не виїжджаючи до спеціалізованого підприємства: шиномонтажні роботи, зарядка акумуляторів, комп'ютерна діагностика, перевірка рівня робочих рідин, усунення причини зупинки двигуна, запуск двигуна тощо. Такі роботи не вимагають складного обладнання і можуть виконуватись по місцю знаходження автомобіля. З метою економії часу можна користуватись послугами мобільних станцій технічного обслуговування, або, як кажуть, «мобільного механіка», які виїжджають на місце перебування автомобіля.

Одним з факторів, який супроводжує життя сучасної ділової людини, є постійна нестача часу на своєчасне проведення попереджувального ремонту та технічного обслуговування, а також на доставку свого автомобіля до традиційного механіка. В таких ситуаціях попит на послуги мобільного автосервісу, набуває не аби якої популярності.

Враховуючи зазначені особливості, питання перспективи і підвищення ефективності системи автосервісу, зокрема її складової частини – мобільного автосервісу, в сучасних умовах збільшення автомобільного парку набувають виняткової актуальності.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Дослідженню теоретико-методологічних проблем функціонування та розвитку системи автосервісу присвячено багато наукових праць. Серед науковців, які досліджували проблеми

автосервісних послуг, можна назвати В. Біліченка [1], М. Мастепана [2,3], А. Бойка [4], О. Маркова [3,5], Воркута Т.А. [6], О. Горяїнова О.М. [7], А.Левківського [8], В.Хаврука [9], В.Юськіва [10] та інших.

У багатьох працях вивчаються загальні питання організації та впровадження прогресивних виробничих процесів у сфері технічного обслуговування та ремонту автомобілів [11]. Деякі наукові статті присвячені проблемам формування та конкурентоспроможності ринку автосервісних послуг [7]. Великий внесок в дослідження питань ефективності діяльності автосервісних підприємств, конкурентоспроможності бізнесу та якості сервісу зробив О. Марков [5].

В праці [12] автором проведено узагальнену класифікацію послуг автосервісу, що охоплюють увесь спектр ринку автомобільних послуг починаючи з вибору автомобіля і закінчуючи його утилізацією. В результаті аналізу видів автопослуг, авторами було визначено чотири найпопулярніші основні послуги, які надаються автосервісом усіх типів. До них відносяться шиномонтаж, балансування коліс; відновлювальний ремонт автомобіля; діагностика і ремонт агрегатів і систем; технічне обслуговування (регламентне і сезонне ТО). Проте час пред'являє нові вимоги до ринку послуг автосервісу. Сьогодні з'явилося ряд послуг, які завойовують популярність як серед автовласників, так і серед спеціалістів. Автосервісні підприємства розширюють асортимент послуг, в тому числі з врахуванням завантаженості людей. В ситуаціях, коли кожна хвилина дорога, і не вистачає часу на поїздку та очікування ремонту на підприємство автосервісу, з'явилась потреба в таких послугах як станції самообслуговування та мобільний автосервіс. При необхідності усунення нескладних поломок автомобіля мобільний автосервіс спрощує життя автовласникам.

О. Марков [5] визначає мобільний автосервіс як пересувну станцію, яка монтується на шасі вантажного автомобіля, і може обслуговувати автомобілі у дорозі та на дому. Автор виділяє два види пересувних станцій: станції швидкої технічної допомоги для обслуговування автомобілів, потерпілих аварію або несправних, і станції по обслуговуванню автомобілів вдома, що проводять ТО і ремонт в гаражі власника.

Виїзний, тобто мобільний, сервіс практикується давно – для спеціальної, сільськогосподарської та військової техніки. Пересувні ремонтні майстерні застосовуються в арміях, на великих підприємствах, що працюють на великих територіях – гірничодобувних, нафтовидобувних і т. п.

Фірми з надання швидкої технічної допомоги в дорозі легковим та вантажним автомобілям успішно діють за кордоном. Зокрема, вони пропонують абонементне обслуговування. Якщо з автомобілем щось трапилося в будь-якій точці даної країни, власник може зателефонувати в місцеве відділення фірми та назвати номер свого абонемента. Йому надішлють механіка з пересувної майстерні. Провідні автокомпанії стимулюють організацію їх дилерами цілодобової техдопомоги.

В Україні у зв'язку з недостатнім розвитком придорожнього сервісу, розвивається ремонт автомобілів-тягачів безпосередньо на автомагістралях бригадами ремонтників, які виїжджають на спеціально обладнаних автомобілях техдопомоги.

На сьогоднішній день в Україні ніша мобільних автосервісів практично відсутня. Послуга «ремонт автомобіля за викликом» тільки починає набувати популярності, за виключенням «мобільного шиномонтажу» та обігріву в холодну пору року.

В останній час набули важливості питання прогнозування попиту на послуги автосервісу [13-15]. Проте багато питань теорії та практики визначеної області діяльності залишаються недостатньо вивченими. Тому виникає інтерес до дослідження питань перспектив надання послуг підприємствами автосервісу.

### **ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Метою дослідження є аналіз особливостей формування ринку мобільних автосервісних послуг, а також пошук методу визначення кількості підприємств мобільного автосервісу.

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Мобільний автосервіс – це послуга, що надається автомайстром, який вирушає до клієнта на місцеперебування автомобіля для проведення необхідних ремонтних робіт, технічного обслуговування чи діагностики. Ця послуга може проводитись в різних ситуаціях, зокрема, при аваріях, поломках, передпродажній підготовці автомобіля, необхідності проведення планових робіт з технічного обслуговування тощо.

Мобільний сервіс спеціалізується за видами клієнтури, тобто, для легкових, вантажних автомобілів; для міських, сільських, дорожніх, постійних, періодичних клієнтів; аварійний, подієвий (обслуговування виставок, змагань, автопробігів) і т. д. та за набором послуг. Послуги, що виконуються підприємствами мобільного автосервісу, можна поділити на три групи: екстрені, додаткові та послуги з технічного обслуговування та ремонту (рис.1).

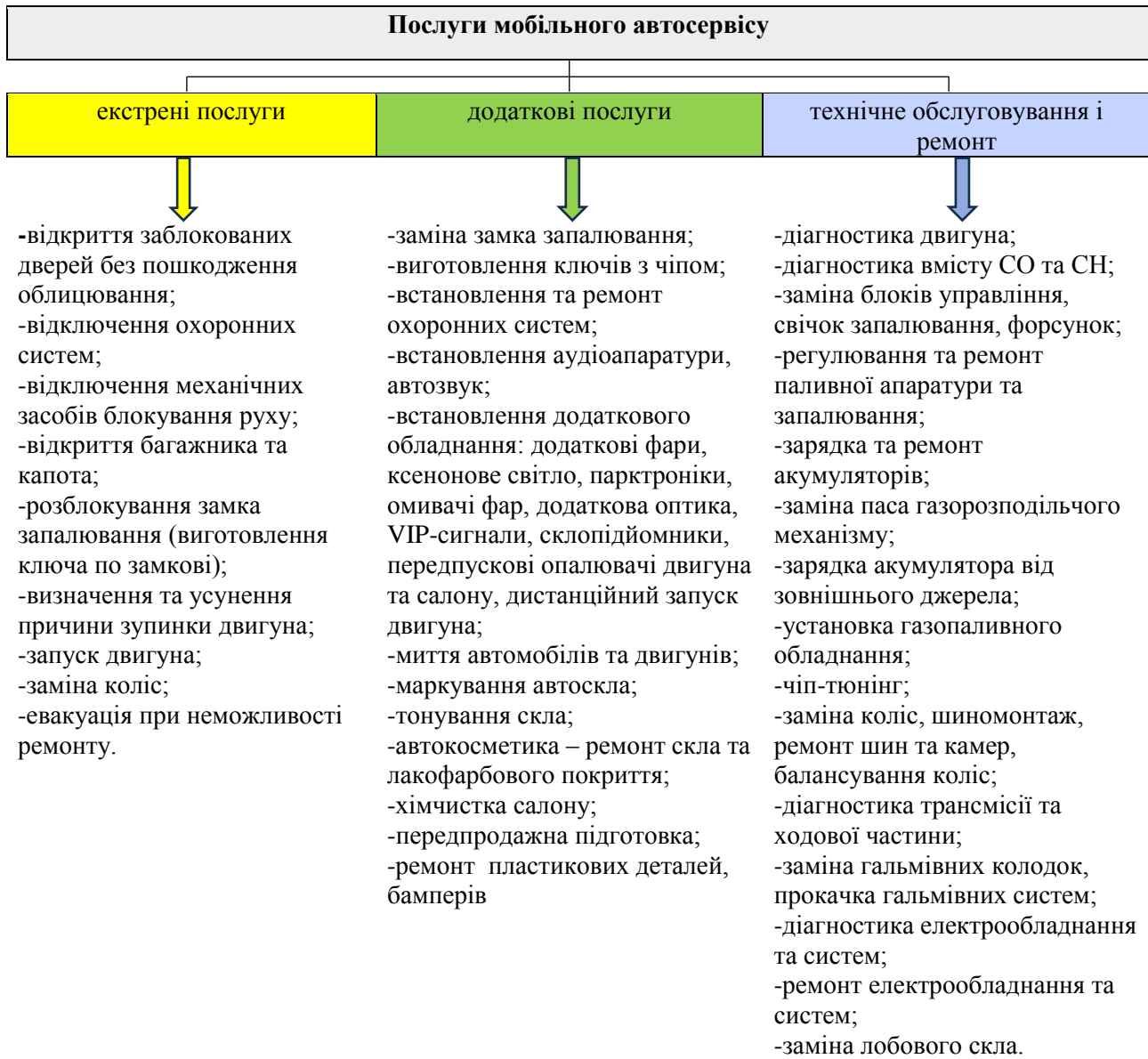


Рисунок 1 - Послуги, що надаються мобільним автосервісом

Як показали статистичні дослідження, найбільша частка усіх послуг, що надаються так званім «мобільним механіком», припадає на групу екстрених послуг (рис.2).



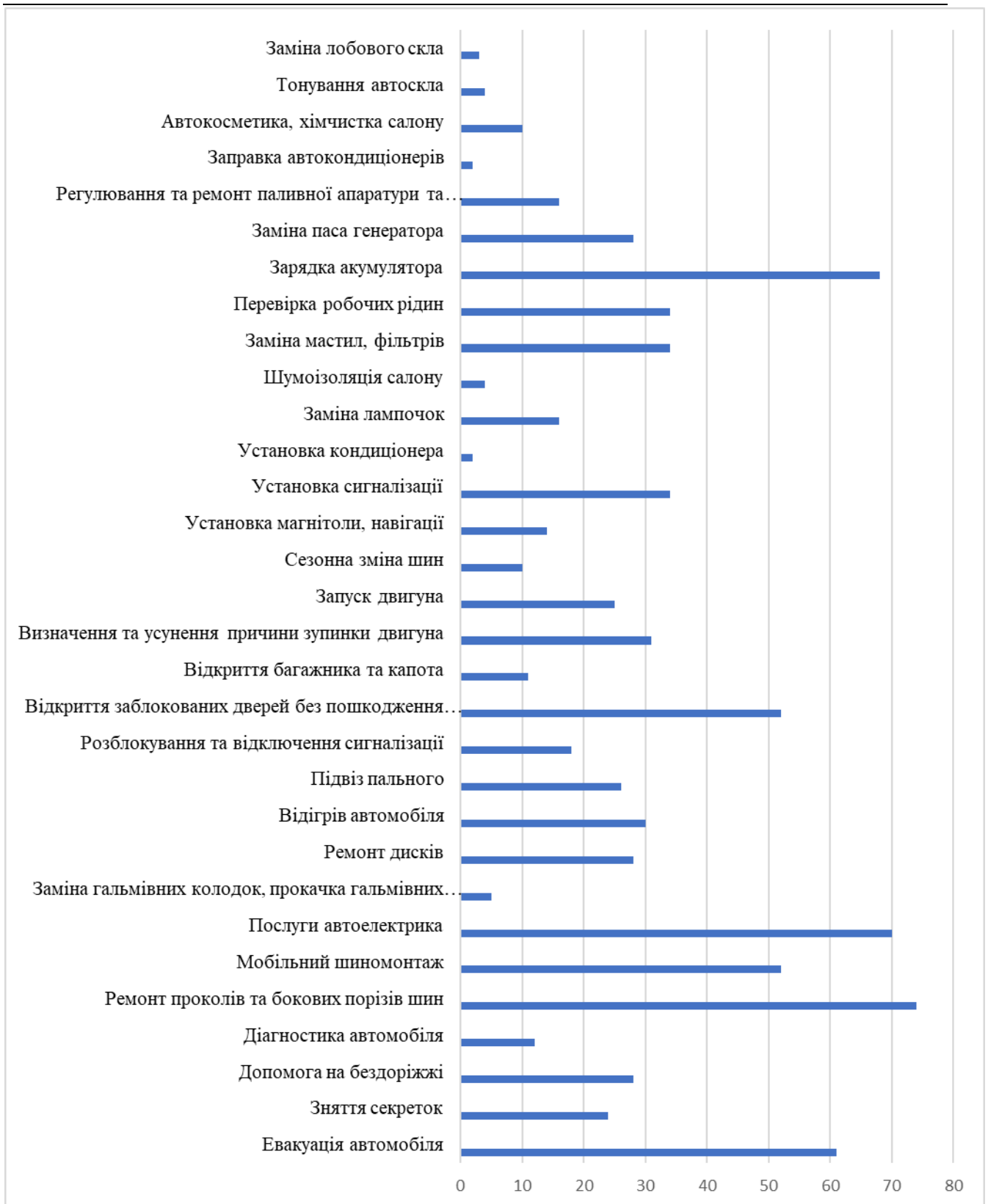


Рисунок 2 – Попит послуг мобільного автосервісу

Для виконання цілого ряду екстрених послуг мобільного автосервісу силами станцій технічного обслуговування, необхідно передбачити додатковий виробничий персонал, який би виконував роль швидкої автодопомоги, або ж створити мережу мобільного автосервісу для задоволення потреби у даному виді послуг. Визначити потребу в кількісних показниках дозволяє розрахунок ємності ринку, тобто, можливого об'єму продажу товару (чи послуг) для конкретного

регіону при певному рівні та співвідношенні цін за певний проміжок часу, який визначається платоспроможним попитом і величиною товарних пропозицій [16]. Ємність ринку визначається впливом факторів, які дозволяють оцінити ситуацію у вибраному секторі послуг. Факторами, які впливають на формування ринку мобільного автосервісу, є цілий ряд чинників, які можна виділити у декілька груп (рис.3).

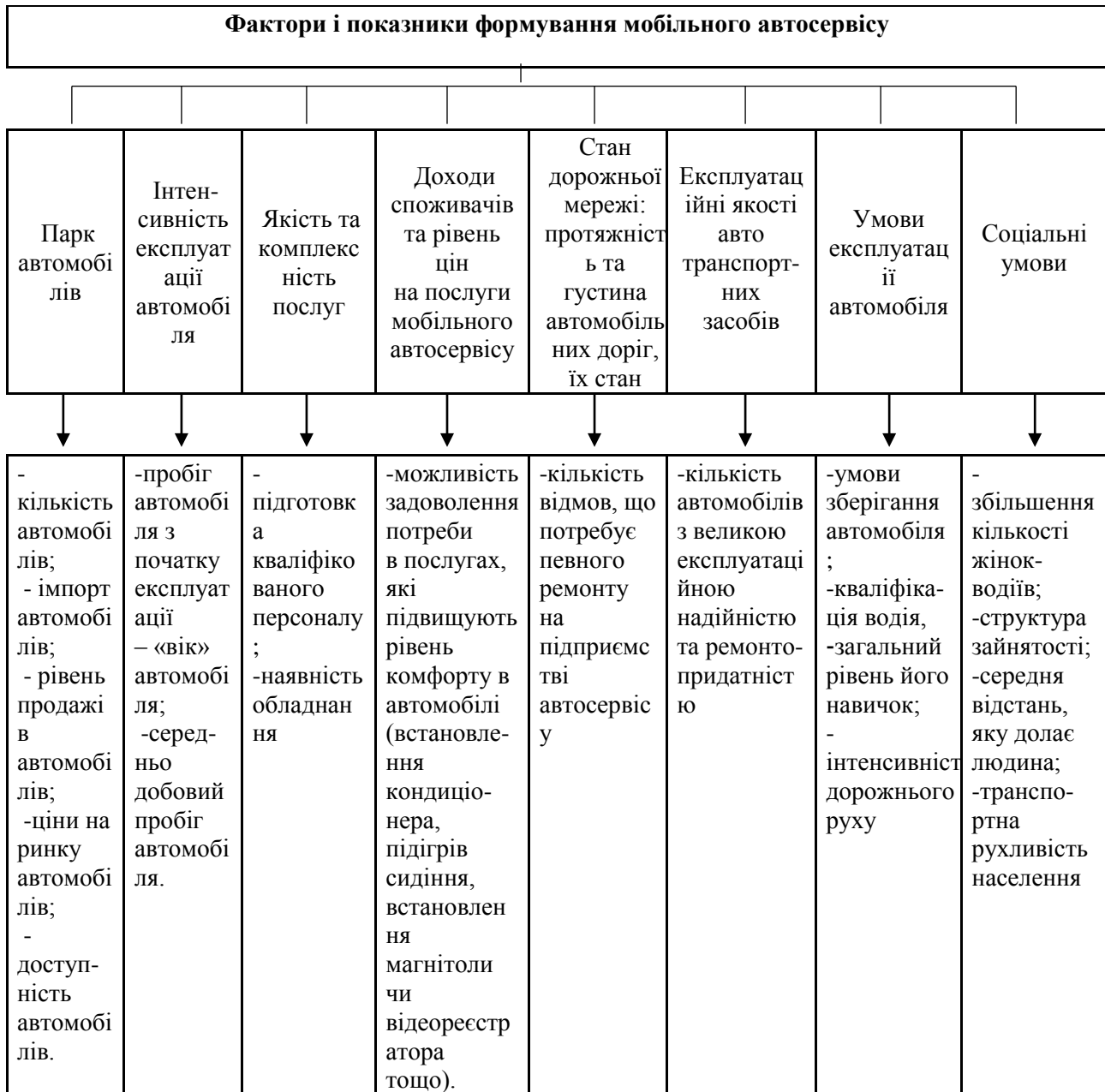


Рисунок 3 - Фактори і показники формування ринку мобільного автосервісу

До переліку вищевказаних факторів, які впливають на розвиток мобільного автосервісу, можна додати нестачу площ, високу вартість будівництва та оренди приміщень, зростання попиту на виїзний сервіс зі сторони дуже зайнятих клієнтів та в малонаселених районах, розвиток комунікативних засобів зв'язку тощо. Всі вищеперераховані фактори впливають на зміну попиту на ринку мобільних автосервісних послуг та на його структуру. Зі всіх факторів виберемо найбільш значущі, а саме:

- а) парк автомобілів;
- б) доходи споживачів та рівень цін на послуги;
- в) інтенсивність експлуатації автомобіля.

При розгляді фактору «Парк автомобілів» мається на увазі ряд показників, а саме: кількість автомобілів, рівень імпорту та продажів, ціни на ринку, рівень життя населення. Зазначені показники суттєво визначають доступність автомобіля для споживача і приріст парку автотранспортних засобів певної вікової та цінової групи. Так за експертними оцінками, автомобілі малого та середнього класу стали більш доступними для середнього прошарку населення, в той час як доступність більшої частини ринку автотранспортних засобів (а особливо нових іномарок) зменшилась для переважаючої частини населення.

Вплив фактору «Доходи споживачів та рівень цін на послуги мобільного автосервісу» проявляється в тому, що мобільні автосервісні послуги відносяться, як правило, до групи послуг, що передбачають деякий пороговий рівень доходів, після якого починається попит. В деяких випадках вплив фактору проявляється у виникненні потреби в послугах, які підвищують рівень комфорту в автомобілі, наприклад – встановлення кондиціонера. підігрів сидіння, встановлення магнітоли чи відеореєстратора тощо.

Фактор «Інтенсивність експлуатації автомобіля», в свою чергу, залежить від пробігу автомобіля з початку експлуатації, тобто, «віку» автомобіля та середньорічного пробігу автомобіля. Пробіг автомобілів з початку його експлуатації надає суттєвого впливу на об'єм поточного ремонту, його середню періодичність, номенклатуру ремонтних робіт та питому вартість технічного обслуговування і поточного ремонту.

Для м. Луцьк ретроспективні значення вищезазначених факторів відображені в табл.1.

Таблиця 1 – Таблиця факторів ринкового попиту у м.Луцьку за період 2020 -2023 р.р.

Фактори Рік	Кількість автомобілів*, шт.	Прожитковий мінімум на душу населення, грн.	ВВП на душу населення, грн.	Середньорічний пробіг автомобіля, км	Кількість підприємств мобільного автосервісу
Позначення					
	(X <sub>1</sub> )	(X <sub>2</sub> )	(X <sub>3</sub> )	(X <sub>4</sub> )	(Y)
2020	50417	2118	100432,5	17850	8
2021	67820	2189	131907,2	17352	9
2022	68503	2508	126152,3	16450	11
2023	73410	2589	158 882,1	16980	12

\*- кількість автомобілів розрахована на основі показника «кількість авто на 1000 жителів» по Волинській області.

На сьогодні у місті серед 215 підприємств автосервісу послуги «мобільного механіка» виконуються всього на 12 підприємствах.

Визначені в табл.1 числові значення факторів дозволяють змодельовати кількість станцій автосервісу, які виконували б такі послуги і в повному об'ємі задовольняли потреби споживачів.

Для моделювання використаємо лінійну багатфакторну функцію:

$$Y_{\text{розра}} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (1)$$

де  $Y_{\text{розра}}$  - розрахункова кількість станцій мобільного автосервісу;

$x_1, x_2, \dots, x_n$  – фактори;

$b_0, b_1, b_2, \dots, b_n$  – коефіцієнти регресії.

Попередньо, для того, щоб побудувати лінійну багатфакторну залежність, необхідно переконатись, що фактори  $x_1, x_2, x_3, x_4$  дійсно суттєво впливають на  $Y$ . Для цього необхідно провести кореляцію. Якщо один з факторів  $X$  не надає ніякого впливу на  $Y$ , то у кінцеве рівняння (1), яке буде отримане, воно не буде включено. Коефіцієнт кореляції показує ступінь взаємозв'язку між двома показниками. Коефіцієнт кореляції приймається в межах від «-1» до «+1». Якщо коефіцієнт кореляції ближче до 1, то між показниками існує сильний взаємозв'язок, причому прямий. Якщо значення коефіцієнта кореляції близьке до -1, то існує сильний, але обернений взаємозв'язок. Якщо значення коефіцієнта кореляції в межах від -0,5 до 0,5, то такі зв'язки є слабкими і в багатфакторній функції не беруться до уваги (рис.4).

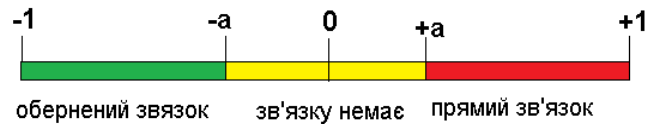


Рисунок 4 – Інтерпретація коефіцієнта кореляції

Проведемо кореляцію між  $Y$  та факторами  $X_1, X_2, X_3, X_4$  за формулою:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{(x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{(y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

Усі отримані результати оформляються в таблицю 2.

Таблиця 2 – Результати кореляції

	$Y$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$
$Y$	-	0,8504	-0,8941	0,9506	0,8725
$X_1$	-	-	-0,5784	0,8034	0,6181
$X_2$	-	-	-	-0,5971	-0,7351
$X_3$	-	-	-	-	0,2260
$X_4$	-	-	-	-	-

Якщо коефіцієнт кореляції  $\Delta r \leq 0,85$ , то фактор суттєво впливає на  $Y$ . Тому, для побудови лінійної регресії, взаємозв'язку між показником  $Y$  та факторами  $x_1, x_2, x_3, x_4$  – прийняти до уваги.

Знайдемо невідомі коефіцієнти  $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4$ . Усі результати представлені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати розрахунку коефіцієнтів значимості

Коефіцієнти				
$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$
-405,248	0,000916	-0,01258	0,00451	-0,0190

Лінійна багатфакторна функція буде мати вигляд:

$$Y_{\text{розн}} = -405,248 + 0,000916x_1 + (-0,01258)x_2 + 0,00451x_3 + (-0,0190)x_4 \quad (3)$$

Результати розрахунку зведені в таблицю 4.

Таблиця 4 – Результати моделювання кількості підприємств автосервісу

Фактори	Кількість підприємств мобільного автосервісу, шт.	Кількість автомобілів, од.	Прожитковий мінімум на душу населення, грн.	Доходи на душу населення, $S$ , грн.	Середньорічний пробіг автомобіля, км	Розрахунк. кількість підприємств мобільного автосервісу, шт.
	Позначення					
рік	$(Y)$	$(X_1)$	$(X_2)$	$(X_3)$	$(X_4)$	$Y_{\text{розн}}$
2020	8	50417	2118	100432,5	17850	11,94
2021	9	67820	2189	131907,2	17352	16,64
2022	11	68503	2508	126152,3	16450	18,02
2023	12	73410	2589	158 882,1	16980	21,11

Фактично, при відомих значеннях факторів ринку мобільного автосервісу: кількості автомобілів  $X_1$ , прожиткового мінімуму  $X_2$ , доходів на душу населення  $X_3$ , середньорічного пробігу автомобіля  $X_4$ , можна розрахувати потрібну кількість підприємств мобільного автосервісу.

Проте, необхідно перевірити, на скільки точно розрахункові значення будуть відповідати вихідним даним, тобто треба перевірити адекватність моделі. Для цього необхідно провести розрахунок критерія Фішера і порівняти його з табличним значенням. Значення мають відповідати умові  $F_{\text{розн}} \geq F_{\text{табл}}$ .

Розрахунок критерію Фішера проведемо за наступною формулою:

$$F_{\text{розра}} = \frac{\sum(Y_i - \bar{Y}_{\text{розра}})^2}{m} \cdot \frac{n - m - 1}{\sum(Y_i - Y_{\text{розра}})^2} \quad (4)$$

де  $Y_{i\text{розра}}$  – розрахункова кількість станцій мобільного автосервісу;

$m$  – кількість факторів  $X$ ,  $m = 4$ ;

$n$  – кількість спостережень,  $n = 6$ .

Всі отримані значення зводим в таблицю 5.

Таблиця 5 – Критерії Фішера

Коефіцієнт Фішера	
Розрахункове значення	Табличне значення
12,26	4,605

Так як  $F_{\text{розра}} \geq F_{\text{табл}}$ , тому можна зробити висновок про те, що з ймовірністю 99% розроблена модель відповідає вихідним даним.

Згідно моделі (формула 3), найбільшого впливу на кількість підприємств мобільного автосервісу надають фактори: кількість автомобілів ( $X_1$ ) та доходи на душу населення ( $X_2$ ). Меншою мірою впливають фактор прожиткового мінімуму ( $X_3$ ) та середньорічного пробігу автомобілів ( $X_4$ ).

Таким чином, математична модель (формула 3) дає можливість спрогнозувати кількість підприємств мобільного автосервісу на вибраній території, яка б повною мірою задовільняла потреби споживачів таких послуг.

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розгалужений ринок підприємств автомобільного сервісу, постійно зростаюча кількість автомобілів створює потребу у такій послугі як мобільний автосервіс. До сих пір залишається велика частка автовласників, які відправляються в дилерські та інші автоцентри для проведення усіх видів технічного обслуговування та різних операцій по виконанню дрібного ремонту. Разом з тим з'явилося багато власників автомобілів, які стали користуватись послугами мобільного (виїзного автосервісу). Особливо у тих випадках, коли несправність виникає в дорозі. Мобільний механік може виконувати ті ж самі послуги без заїзду на СТО, тим самим полегшуючи життя та економлячи час автовласника. Якщо за кордоном така послуга як «мобільний механік» добре розвинута, то в Україні вона тільки набуває деякої популярності.

В роботі проаналізовано формування ринку мобільних автосервісних послуг; проведено групування послуг, які можуть проводитись мобільним автосервісом, на екстрені, додаткові та послуги з технічного обслуговування та ремонту. Аналіз показав, що найбільшою популярністю серед споживачів послуг користуються екстрені послуги, які включають в себе відновлення неполадок, що стаються з автомобілем в дорозі: відкриття заблокованих дверей, відключення охоронних систем, відключення механічних засобів блокування руху; розблокування замка запалювання, запуск двигуна, заміна коліс, евакуація транспортного засобу тощо.

### ВИСНОВКИ

Для розрахунку потреби у послугах мобільного автосервісу було розглянуто фактори, які необхідні для формування інфраструктури мобільного автосервісу. До них відносяться: парк автомобілів, інтенсивність експлуатації автомобілів, експлуатаційні якості транспортного засобу, умови експлуатації тощо. Три фактори, які можна оцінити кількісно, було прийнято для подальшого дослідження, а саме, кількість автомобілів, прожитковий мінімум та доходи на душу населення, а також середньорічний пробіг автомобіля. За цими факторами розроблено математичну модель, яка дозволяє визначати оптимальну кількість підприємств мобільного автосервісу для обслуговування потенційних споживачів послуг.

### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Біліченко В. В. Методичні основи розробки проекту стратегічного розвитку підприємств автомобільного транспорту / В. В. Біліченко // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2008. – № 3. – С. 162–165.

2. Мастепан М. А. Аналіз залежності рівня попиту послуг автосервісу від платоспроможності споживачів / М. А. Мастепан, Д. М. Мінаков, Т. В. Волобуєва, О. С. Каверін // Восточно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – № 3/2(57). – С. 25–27.



3. Тарандушка Л.А., Кост'ян Н.Л., Марков О.Д., Біліченко В.В. Розробка функціональної моделі мережі автосервісних підприємств. Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця, 2020. №1(11). С. 133–139.
4. Бойко А. О. Проект відкриття автосервісу “Авто-Плюс” [Електронний ресурс] / А.О. Бойко, Н.В. Бугай // Соціум. Наука. Культура. – 28-30.01.2014. [Бойко А. О., Бугай Н. В. ПРОЕКТ ВІДКРИТТЯ АВТОСЕРВІСУ «АВТО-ПЛЮС» \(int-konf.org\)](#)
5. Марков О. Д. Організація автосервісу / О.Д. Марков. – Львів: Оріяна-Нова, 2008. – 536 с.
6. Воркут Т.А. Проектування систем транспортного обслуговування в ланцюгах постачань: Монографія. – К.: НТУ, 2002. – 248с.
7. Горяїнов О.М, Рославцев Д.М. Автотранспорт в логістичних системах і ланцюгах : монографія. Харків : НТМТ, 2009. 344 с. (Серія «Наукові дослідження в сфері логістики і транспорту»)
8. Левківський А.О. Визначення кількості підприємств технічного сервісу на основі аналізу транспортного потоку. Вісник ЖДТУ. Серія «Технічні науки». Житомир, 2018. №2(82). С. 94–98.
9. Хаврук В.О. Загальна характеристика факторів, що впливають на функціонування станцій технічного обслуговування автомобілів. - Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Том 2, № 19, 2022. С.203 – 213.
10. Юськів Б. М. Особливості реалізації логістичної концепції функціонування автосервісного підприємства / Б. М. Юськів, В. М. Юськів // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Логістика. – 2014. – № 811. – С.432–437. [content \(lpnu.ua\)](#)
11. Лудченко О.А. Технічне обслуговування та ремонт автомобілів: Підручник. – К.: Знання-Прес, 2003. – 511 с.
12. Ложачевська О.М. Узагальнена класифікація послуг сучасного автосервісу. / О.М. Ложачевська, Р.В.Григоренко// Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Економіка та управління підприємствами. ТНУ. Том 29 (68). № 2, 2018. С. 31 – 36.
13. Шаповалова О.О., Кімлик О.О. Моделювання попиту на послуги автосервісу/О. Шаповалова, О. Кімлик// Системи обробки інформації : збірник наукових праць. – Харків: ХУПС імені Івана Кожедуба, 2016. – Вип. 7 (144). – С.98 – 102.
14. Смирнов Є.В., Огневий В.О. Визначення конкурентоспроможності автосервісних підприємств. Вісник машинобудування та транспорту. - Вип. 11, Лип. 2020. С. 126–132.
15. Кудін Р.А. Прогнозування потреб в послугах з технічного обслуговування і ремонту парку легкових автомобілів в проектах розвитку підприємств автосервісу: дис. ... канд. техн. наук : 05.13.22 / Кудін Роман. Київ, 2004.
16. Тимотін О.М. Маркетинг : навчальний посібник для студентів напряму підготовки 6.030601 "Менеджмент" / О. М. Тимонін, О. А. Небилиця. – Х. : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015. – 152 с.
17. Єріна А.М. Статистичне моделювання та прогнозування: Навч.посіб. / А.М.Єріна. – К.: КНЕУ, 2001. – 170 с.

#### REFERENCES

1. Bilichenko, V. V. (2008). *Methodological foundations of the development of the project of strategic development of road transport enterprises*. Naukovi pratsi Vinnyts'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu, 3, 162–165 [in Ukrainian].
2. Mastepan, M. A., Minakov, D. M., Volobuieva, T. V., Kaverin, O. S. (2012). *Analysis of the dependence of the level of demand for car service services on the solvency of consumers*. Vostochno-Evropejskyj zhurnalпередovikh tekhnolohyj, 3/2(57) 25–27 [in Ukrainian].
3. Tarandushka, L.A., Kost'ian, N.L., Markov, O.D., Bilichenko, V.V. (2020). *Development of a functional model of a network of car service enterprises*. Visnyk mashynobuduvannia ta transportu. 11, 133–139 [in Ukrainian].
4. Bojko, A. O., Buhaj, N.V. (2014). *The project of opening a car service "Avto-Plus"*. Sotsium, Nauka. Kul'tura. Retrieved from: [Бойко А. О., Бугай Н. В. ПРОЕКТ ВІДКРИТТЯ АВТОСЕРВІСУ «АВТО-ПЛЮС» \(int-konf.org\)](#)
5. Markov, O. D. (2008). *Car service organization*. L'viv: Oriiana-Nova [in Ukrainian].
6. Vorkut, T.A. (2002). *Designing transport service systems in supply chains*. Kyiv: NTU [in Ukrainian].
7. Horiainov, O.M, Roslavitsev, D.M. (2009). *Road transport in logistics systems and chains*. “Naukovi doslidzhennia v sferi lohistyky i transportu”. Kharkiv: NTMT[in Ukrainian].
8. Levkivs'kyj, A.O. (2018). *Determining the number of technical service enterprises based on traffic flow analysis*. Visnyk ZhDTU. Seriiia “Tekhnichni nauky”, 2(82), 94–98 [in Ukrainian].
9. Khavruk, V.O. (2022). *General characteristics of factors affecting the operation of car service stations*. Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti, 19, 203 – 213 [in Ukrainian].

10. Yus'kiv, B.M., Yus'kiv, V.M. (2014). *Peculiarities of the implementation of the logistic concept of the functioning of a car service enterprise*. "L'vivs'ka politekhnikha". Lohistyka, 811, 432–437 [in Ukrainian].
11. Ludchenko, O.A. (2003). *Maintenance and repair of cars*. Kyiv: Znannia-Pres [in Ukrainian].
12. Lozhachevs'ka, O.M., Hryhorenko, R.V. (2018). *Generalized classification of modern car service services*. Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernads'koho. Ekonomika ta upravlinnia pidpriemstvom: TNU, 29 (68), 31 – 36 [in Ukrainian].
13. Shapovalova, O.O., Kimlyk, O.O. (2016). *Modeling demand for car service*. Systemy obrobky informatsii. Kharkiv: KhUPS imeni Ivana Kozheduba, 7 (144), 98 – 102 [in Ukrainian].
14. Smyrnov, Ye.V., Ohnevyy, V.O. (2020). *Determining the competitiveness of car service enterprises*. Visnyk mashynobuduvannia ta transportu, 11, 126–132 [in Ukrainian].
15. Kudin, R.A. (2004). *Forecasting the needs for maintenance and repair services of the passenger car fleet in the development projects of car service enterprises*: Extended abstract of candidate's thesis. Kyiv [in Ukrainian].
16. Tymotin, O.M., Nebylytsia, O. A. (2015). *Marketing*. Kharkiv: KhNEU im. S. Kuznetsia [in Ukrainian].
17. Yerina, A.M. (2001). *Statistical modeling and forecasting*. Kyiv: KNEU [in Ukrainian].

### **I. Pavlova, V. Samostian, V. Dembitskyi. Factor analysis of the formation of a network of enterprises mobile car service.**

The most important areas of improvement in the field of car service are the creation of new promising projects, expansion of the range of services taking into account the actual needs of car owners.

According to statistics, every second car owner faced a situation when his car broke down while driving. Unfortunately, not every driver knows how to carry out repairs on the spot, and therefore, as a rule, there is a need to call a tow truck and carry out further repairs at a stationary car service. Such actions take a lot of time for the car owner. In order to save time, you can use a mobile car service that goes to the location of the car. However, mobile car service is most developed in large cities. In many cases, the services of a mobile car service are limited to providing a tow truck and transporting the car to a service station. These factors require the implementation of new approaches to the organization of a car service, in particular a mobile one.

Today, the niche of mobile car service is almost non-existent in Ukraine. In the general structure of the car service, it is only 6%. The service "car repair on call" is just beginning to gain popularity. Therefore, the issue of developing such a range of services as a mobile car service, in modern conditions of increasing the car fleet, is becoming extremely relevant.

The article carries out scientific research on the problems of improving the efficiency of the car service system and expanding the range of services in the conditions of increasing the car fleet. The relevance of the research lies in the search for methods of evaluating the mobile car service infrastructure and the development of a mathematical model of the required number of mobile car service enterprises.

**Keywords:** mobile car service, services, factors, indicators of the mobile car service market, modeling of the market of mobile car service enterprises.

*ПАВЛОВА Ірина Олексіївна*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: [Iruna\\_Pavlova@ukr.net](mailto:Iruna_Pavlova@ukr.net), [Ірина Павлова \(0000-0003-1506-6064\) - ORCID](#)

*САМОСТЯН Віктор Русланович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: [cvmbf@ukr.net](mailto:cvmbf@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0001-6823-8558>

*ДЕМБІЦЬКИЙ Валерій Миколайович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: [dvm2@meta.ua](mailto:dvm2@meta.ua), <http://orcid.org/0000-0002-1006-9218>

*Irina PAVLOVA*, PhD in Engineering, associate professor of Automobiles and Transport Technologies department, Lutsk National Technical University e-mail: [Iruna\\_Pavlova@ukr.net](mailto:Iruna_Pavlova@ukr.net), [Ірина Павлова \(0000-0003-1506-6064\) - ORCID](#)

*Viktor SAMOSTIAN*, PhD in Engineering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University e-mail: [svrmbf@gmail.com](mailto:svrmbf@gmail.com) <http://orcid.org/0000-0001-6823-8558>

*Valerii DEMBITSKYI*, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Automobiles and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: [dvm2@meta.ua](mailto:dvm2@meta.ua), <http://orcid.org/0000-0002-1006-9218>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1369

Павлюк В.І., Булік Ю.В., Сітовський О.П.  
Луцький національний технічний університет

## ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ «НИЗХІДНИМ» МОДЕЛЮВАННЯМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СКЕЛЕТОНІВ

Для технічного обслуговування та ремонту колісних транспортних засобів використовується різноманітне технологічне обладнання, що має різну ступінь складності. Вказано на потребу проектування нових та удосконалення існуючих зразків гаражного обладнання. Розглянуто проектування збірних конструкцій технологічного обладнання та їх складових елементів з використанням методів тримірного моделювання. Розглянуто можливості використання принципів «висхідного» та «низхідного» моделювання для проектування технологічного обладнання. Наведено рекомендації щодо вибору методу моделювання зважаючи на складність об'єкту проектування та можливостей використовуваних програм. Розглянуто особливості застосування універсальних інструментів побудови і аналізу ескізів механізмів рухомого скелетону (Motion Skeleton). Проаналізовано можливості побудови зборок і підборок з використанням опорного ескізу скелетону та функції рухомого скелетону для дослідження кінематики механізмів і та їх попереднього силового аналізу. Обґрунтовано доцільність та розглянуто особливості застосування скелетонів просторових механізмів. Приділено увагу особливостям побудови просторового ескізу (скелетону). Вказано на потребу коректного зв'язку геометрії компонентів і зборок у параметричному тримірному моделюванні. Розглянуто способи поєднання скелетних геометрій підборок у загальній збірці виробу. Проаналізовано алгоритм раціонального підходу у побудові скелетонів та прив'язці геометрії компонентів у підбірці та загальній збірці виробу. Розглянуто можливість реалізації принципів «низхідного» моделювання у програмах тримірного моделювання з обмеженими функціями побудови електронного макету виробу та реалізації параметризації.

**Ключові слова:** проектування, технологічне обладнання, моделювання, скелетон, зборка компонент

### ВСТУП

Для проектування конструкцій виробів набуло широкого використання просторове 3D моделювання, що дозволяє візуалізувати процес і результат розробки. Застосування цифрового макету виробу у тримірному моделюванні дає можливість значно підвищити якість і ефективність проектувальних робіт, застосувати переваги асоціативності, параметризації, тощо.

Якісне виконання технічного обслуговування та ремонту автомобілів можливе за умови застосування широкого спектру технологічного обладнання: механічних пристосувань, механізованих пристроїв, складних технічних та технологічних систем. Останні, як правило, містять великі зборки, мають різного роду приводи, можуть мати деталі складної геометрії. Зважаючи на особливості підходів у проектуванні та можливості прикладного програмного забезпечення 3D моделювання, нескладне технологічне обладнання можна проектувати «висхідним» підходом, а для проектування складних виробів та систем варто використовувати «низхідне» з використанням опорного ескізу «скелетону» [1].

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Процес проектування технологічного обладнання для ремонту та обслуговування автомобілів, з використанням 3D технологій як і без просторового моделювання, здійснюється відповідно до структури і алгоритму обраного способу моделювання: висхідного (Bottom Up Desing) чи низхідного (Top Down Desing) (рис. 1). Вибір способу здійснюється з врахуванням організації процесу проектування із застосуванням систем керування життєвим циклом виробу та його складності, функціональних можливостей використовуваного програмного забезпечення, якості технології виробництва, кількості і кваліфікації персоналу задіяного у проектуванні і виготовленні, та ін [1, 2].

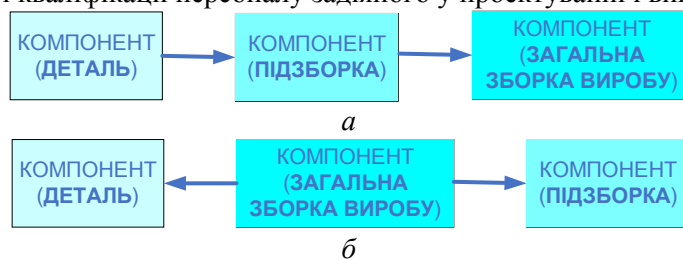


Рисунок 1 – Схема «висхідного» та «низхідного» моделювання

Для реалізації цифрового макету виробу програми просторового 3D моделювання, зазвичай, пропонують різні інструменти. Останні виконані як надбудови чи модулі, часто як наявні опції зі спрощеними функціями. Впровадження цих функцій продиктовані потребою зацікавлення споживачів розроблюваного програмного продукту оскільки на усіх етапах проектування є необхідність постійного контролю над проведеними змінами у системі цифрового макету виробу.

На практиці застосовуються обидва підходи, використовуючи зв'язок геометрії компонентів і зборок у параметричному тримірному моделюванні. Посилання параметрів окремих компонентів на геометричні параметри інших компонентів, що входять у збірку, обмежують можливості внесення поточних правок, можливості видалення та регенерації об'єктів. Виникає необхідність внесення правок вручну у кожен елемент збірки, що значно ускладнює процес проектування. Тому геометричні зв'язки між компонентами замінені зв'язками окремих елементів збірки до скелетної геометрії опорного ескізу (рис. 2).

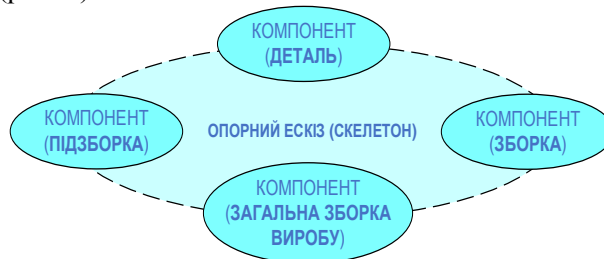


Рисунок 2 – Схема компонентів виробу з використанням скелетону

Збірка, що базується на геометрії «скелетону», дозволяє вносити правки, за потреби, у геометрію скелетона. Ці зміни автоматично відображаються і враховуються в усіх компонентах пов'язаних скелетоном. Завдяки такому підходу проектувальник має можливість оперативно контролювати, змінювати, модифікувати варіанти конструкції виробу, збірка якого створена за низхідним принципом моделювання. Зручність способу проявляється під час роботи над новими складними проектами, котрі мають невизначеність кінцевого рішення, передбачають можливість внесення правок, як у технічне завдання, так і на інших етапах проектування. Узгодження похідних геометрій компонентів із опорним ескізом дозволяє розподілити значний об'єм роботи між декількома виконавцями для одночасної роботи над проектом забезпечуючи при цьому коректність загальної збірки та контроль процесу проектування. Крім того деякі програмні комплекси дозволяють провести кінематичний та силовий аналіз схеми скелетону, що дозволяє обґрунтувати вибір конструкційного рішення на етапі дослідження кількісно визначених структур під час синтезу виробу [1, 3, 4].

Підприємства, котрі займаються розробкою технологічного обладнання для ТО і ремонту КТЗ і зайняли свою нішу на ринку, спеціалізуються на певних видах продукції, мають конструкторські підрозділи та використовують певний комплекс програмних продуктів для супроводу цифрового макету виробу у продовж його життєвого циклу. Більш гнучко адаптуватися до потреб на ринку нестандартного технологічного обладнання можуть невеликі проектувальні організації та проектувальники. Однак середній і малий бізнес часто працює в умовах фінансових обмежень, що унеможливує доступ до комплексних програмних продуктів через значну їх вартість та використовує доступний продукт з визначеним, часто обмеженим, функціоналом. Розробники програмного забезпечення намагаються постійно удосконалювати програми для тримірного моделювання та поширювати їх, спрощуючи доступ, на пільгових умовах передбачених ліцензуванням. Тим не менше вартість і базових продуктів лишається досить високою. Однак, на сьогодні, є беззаперечною необхідність використовувати тримірне моделювання, з можливостями візуалізації та застосування функцій аналізу конструкції для обґрунтування та прийняття оптимальних рішень. Тому варто навести обґрунтування та рекомендації щодо вибору методу моделювання зважаючи на складність об'єкту проектування та можливостей використовуваних програм. Проаналізувати реалізацію принципу «низхідного» моделювання з застосуванням сучасних програм, зокрема для проектування технологічного обладнання, що використовується під час технічного обслуговування та ремонту колісних транспортних засобів. Також варто відмітити важливість підготовки фахівців у сфері проектування, котрі в умовах реального виробництва зможуть впроваджувати процес «низхідного» моделювання. Оскільки, на відміну від «висхідного» підходу



послідовного отримання підзборки та зборки з попередньо розроблених деталей, «низхідний» потребує уявлення, як про будову виробу в цілому, так і форму та розміри всіх його складових. [1–5].

### ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз методик використання скелетонів у «низхідному» 3D моделюванні технологічного обладнання на прикладі розробки гаражного обладнання для технічного обслуговування і ремонту колісних транспортних засобів.

Обґрунтувати практичні переваги «низхідного» проектування з використанням опорного скелетона та модуля «блокнот».

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

На етапі проектування, що передбачає початковий синтез виробу з розглядом загальної концепції і структури, формується форма виробу та його елементів, узгоджується технічне завдання на проектування. Однак внесення конструкторами правок у технічне завдання, за вимогою замовника чи з технічних причин у продовж процесу проектування, може привести до зміни параметрів елементів кількісно визначених структур. Так, наприклад, кінематика механізму, габаритні параметри та силові характеристики стандартних елементів амортизаторів стріли консольного пантографа впливають на положення точок їх кріплення (рис. 3).

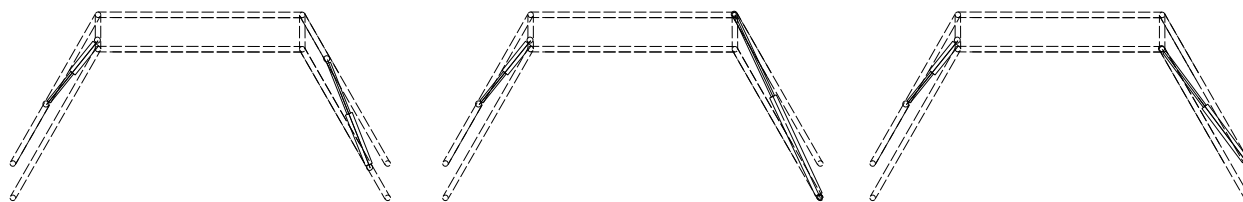


Рисунок 3 – Побудова кількісно визначених структур на початковому етапі синтезу виробу на прикладі зміни положення амортизатора у паралелограмі пантографа

Розгляд і попередній аналіз можливих варіантів поліпшується використанням опорного скелетона моделі виробу, який завдяки наявним функціям, задавання в'язей та прикладання зусиль, дає можливість проводити кінематичний та силовий аналіз розроблюваного механізму з метою забезпечення оптимальних параметрів та характеристик конструкції на попередньому етапі вибору параметрів кількісно визначених структур.

Так для моделі автомобільного підйомника використання схеми опорного ескізу ножичного механізму дозволяє підібрати положення гідроциліндра в умовах накладених обмежень концепцією та компоновкою виробу (рис. 4).

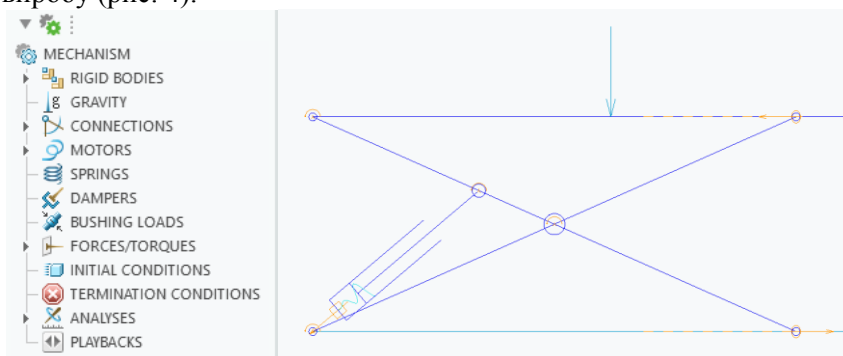


Рисунок 4 – Кінематичний та силовий аналіз конструкції ножичного підйомника у модулі «Mechanism» програмного середовища Стео для конструкції у вигляді скелетона

При необхідності проведення динамічного аналізу з врахування сил тертя, гравітації та глибшого дослідження впливу характеристик окремих елементів на роботу загальної зборки, необхідно побудувати тримірну модель із твердотільною геометрією (рис. 5).

Необхідно відмітити, що не всі програми, що використовуються для 3D моделювання, мають функцію побудови скелетного ескізу. При використанні «низхідного» моделювання без скелетонів існує ризик появи кільцевих посилянь, усунення яких є складною задачею [6].



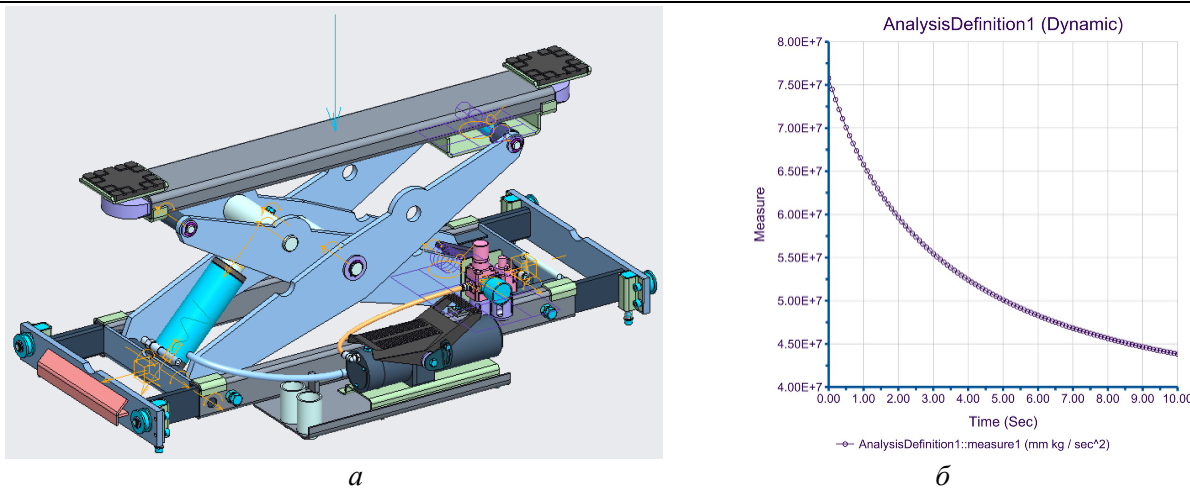


Рисунок 5 – Динамічний аналіз конструкції автомобільного ножичного підйомника у модулі «Mechanism» програмного середовища Creo: *a* – для зібраної конструкції із твердотільною геометрією; *б* – графік залежності зусилля на штокові плунжера від часу протягом процесу підйому

При використанні методу «низхідного» моделювання важливо організувати ефективну передачу параметрів пристрою (розмірів поверхонь спряження, кількості елементів, довжин ланок, тощо) та його геометрії, до збірних одиниць та деталей, що входять в дану зборку. Так само, параметри підборок та їх геометрію потрібно поширити на підборки і деталі, з яких дані підборки складаються. На рисунку 6 показана схема низхідного моделювання, що передбачає передачу параметрів та геометрії від вищих рівнів зборки до нижчих за допомогою скелетонів [3-5].

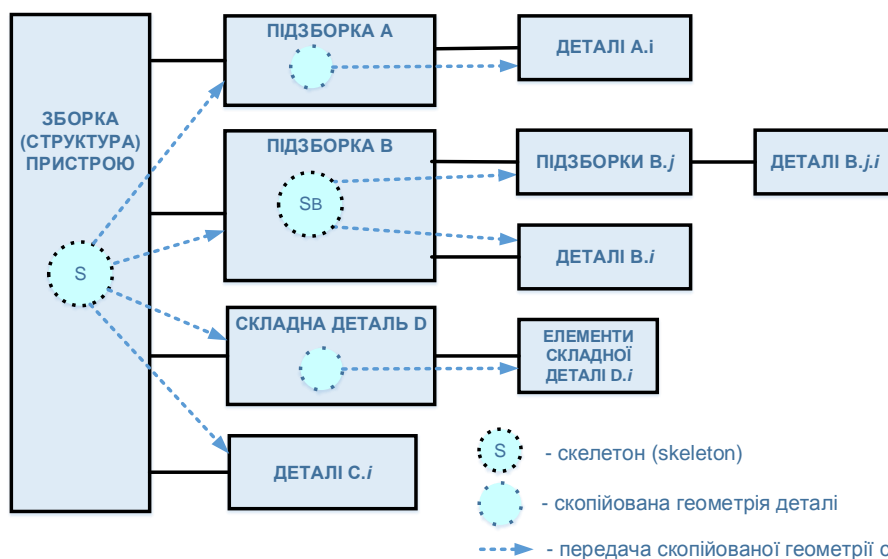


Рисунок 6 – Структурна схема процесу побудови тримірної моделі виробу при «низхідному» моделюванні з використанням скелетону для поширення загальних параметрів зборки

Альтернативою використання скелетонів, для поширення параметрів пристрою до зборок та деталей всіх рівнів, є застосування «блокнота» (рис. 7). Для цього визначається загальна структура зборки, що може включати визначення вузлів, зв'язків між частинами та будь-яких обмежень. З використанням «блокнота» будуються скелетні моделі, які слугуватимуть основою для конструкції. Вони можуть включати опорні площини, осі, точки, криві або інші геометричні сутності, які керуватимуть розміщенням і проектуванням частин. Проектуються окремі частини в контексті зборки. При побудові складових частин зборки, за допомогою «блокнота» перевіряється відповідність їх параметрів визначеній структурі та заданим обмеженням або вимогам [3–5].

Спосіб побудови моделі із використанням «блокнота» є більш універсальним, оскільки складові частини тримірної моделі не прив'язані до «основного скелетону», можуть бути збережені як незалежні моделі і використані в зборках інших проектів.

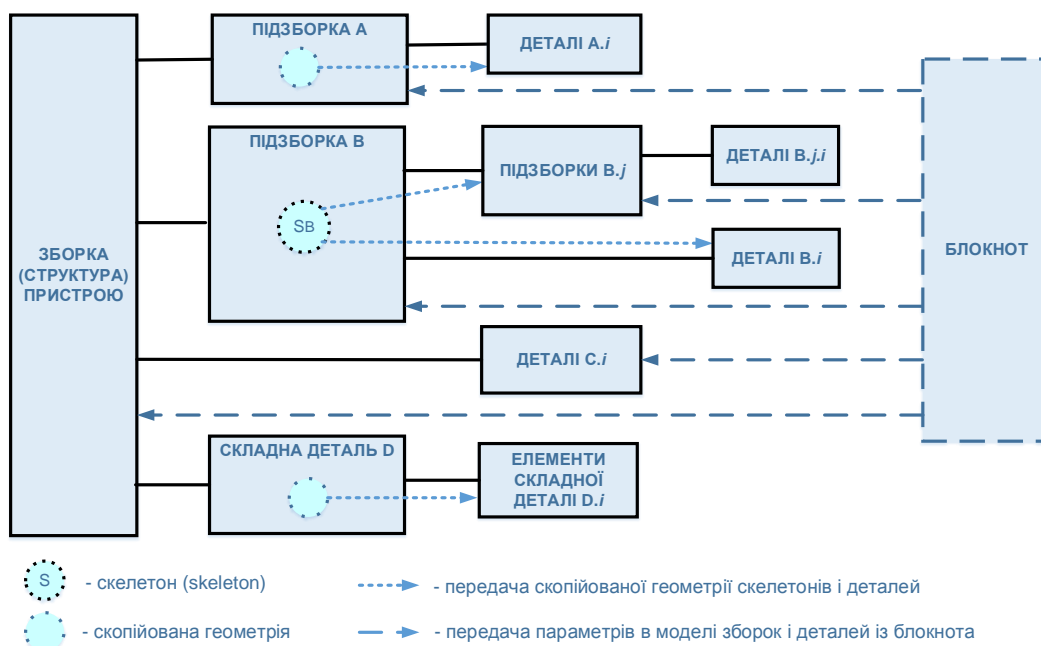


Рисунок 7 – Структурна схема процесу побудови тримірної моделі виробу при «низхідному» моделюванні з використанням «блокнота» для поширення загальних параметрів зборки

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Варто зазначити зростаючу необхідність підготовки спеціалістів котрі зможуть організувати, супроводжувати, приймати участь у процесі розробки об'єктів технологічного обладнання із використанням сучасних методик та програмних засобів проектування. Метод побудови тримірної моделі виробу при «низхідному» моделюванні з використанням скелетону для поширення загальних параметрів зборки використовують при проектуванні складних виробів із багатьма взаємопов'язаними частинами. З іншої сторони, застосування модуля «Блокнот» дає можливість створювати незалежно один від одного компоненти, які в подальшому можуть бути використані в інших пристроях, поза зборкою, де вони були створені.

### ВИСНОВОК

Наведено рекомендації щодо вибору методу поширення загальних параметрів пристрою при «низхідному» моделюванні, залежно від складності об'єкту проектування та необхідності використання його складових частин в інших проектах. Проаналізовано метод «низхідного» моделювання з застосуванням скелетних ескізів у сучасних програмах і програмних комплексах під час проектування технологічного обладнання для технічного обслуговування та ремонту колісних транспортних засобів.

### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Булік Ю.В., Павлюк В.І. Застосування принципів «висхідного» та «низхідного» моделювання для проектування технологічного обладнання // 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. 88–90.
2. Корпорація Parametric Technology Corp. [Електронний ресурс]: офіційний сайт. URL: <https://www.ptc.com/>
3. Creo Parametric – Top Down Design (TDD) Overview. [Електронний ресурс]: Creo Parametric. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=ycvaCOCResU>
4. Top Down Design in Creo. [Електронний ресурс]: PDSVISION. URL: <https://www.youtube.com/@PDSVISION-Take-Control>
5. Creo Parametric 8.0: Advanced Assembly Design and Management by Ascent - Center for Technical Knowledge (Author). Publisher: ASCENT, Center for Technical Knowledge (November 20, 2023). – 652 p.
6. Creo Parametric – Assemblies – Top Down Design – Circular References. [Електронний ресурс]: PDSVISION. URL: [https://www.youtube.com/playlist?list=PLRhPacOz\\_f-F2dbny5cliEGQ9DgojAsd7](https://www.youtube.com/playlist?list=PLRhPacOz_f-F2dbny5cliEGQ9DgojAsd7)

## REFERENCES

1. Bulik Yu.V., Pavliuk V.I. Zastosuvannia pryntsyv «vyskhidnoho» ta «nyzhkhidnoho» modeliuvannia dlia proektuvannia tekhnolohichnoho obladdannia // Materialy KhVI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasni tekhnolohii ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu», 23-25 zhovtnia 2023 roku: zbirnyk naukovykh prats / Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy, Vinnytskyi natsionalnyi tekhnichniy universytet [ta insh.]. – Vinnytsia: VNTU, 2023. – S. 88–90.
2. Korporatsiia Parametric Technology Corp. URL: <https://www.ptc.com/>
3. Creo Parametric – Top Down Design (TDD) Overview. Creo Parametric. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=ycvaCOCResU>
4. Top Down Design in Creo. PDSVISION. URL: <https://www.youtube.com/@PDSVISION-Take-Control>
5. Creo Parametric 8.0: Advanced Assembly Design and Management by Ascent - Center for Technical Knowledge (Author). Publisher: ASCENT, Center for Technical Knowledge (November 20, 2023). – 652 p.
6. Creo Parametric – Assemblies – Top Down Design – Circular References. PDSVISION. URL: [https://www.youtube.com/playlist?list=PLRhPac0z\\_fF2dbny5cliEGQ9DgojAsd7](https://www.youtube.com/playlist?list=PLRhPac0z_fF2dbny5cliEGQ9DgojAsd7)

**V. Pavliuk, Y. Bulik, O. Sitovsky. Design of technological equipment by "top-down" modeling using skeletons**

For the maintenance and repair of wheeled vehicles, a variety of technological equipment of varying degrees of complexity is used. The need to design new and improve existing models of garage equipment is indicated. The design of prefabricated structures of technological equipment and their constituent elements using three-dimensional modeling methods is considered. The possibilities of using the principles of "bottom-up" and "top-down" modeling for the design of technological equipment are considered. Recommendations for choosing a modeling method are given, taking into account the complexity of the design object and the capabilities of the programs used. The peculiarities of the application of universal tools for the construction and analysis of sketches of the mechanisms of the moving skeleton (Motion Skeleton) are considered. The possibilities of building assemblies and subassemblies using the reference sketch of the skeleton and the function of the moving skeleton for the study of the kinematics of the mechanisms and their preliminary force analysis were analyzed. The expediency is substantiated and the features of the use of skeletons of spatial mechanisms are considered. Attention is paid to the features of building a spatial sketch (skeleton). The need for the correct connection of the geometry of components and assemblies in parametric three-dimensional modeling is indicated. Methods of combining skeleton geometries of subassemblies in the general assembly of the product are considered. The algorithm of the rational approach in the construction of skeletons and binding of the geometry of components in the subassembly and general assembly of the product is analyzed. The possibility of implementing the principles of "top-down" modeling in three-dimensional modeling programs with limited functions of building an electronic model of the product and implementing parameterization is considered.

**Key words:** design, technological equipment, modeling, skeleton, assembly, component.

*ПАВЛЮК Василь Іванович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: [v.pavliuk@lutsk-ntu.com.ua](mailto:v.pavliuk@lutsk-ntu.com.ua), Vasyl Pavliuk <https://orcid.org/0000-0002-0678-3566>

*БУЛІК Юрій Володимирович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: [yurii.bulik@lutsk-ntu.com.ua](mailto:yurii.bulik@lutsk-ntu.com.ua), Yuriy Bulik <https://orcid.org/0000-0002-9787-434X>

*СІТОВСЬКИЙ Олександр Пилипович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: [o.sitovskyi@lutsk-ntu.com.ua](mailto:o.sitovskyi@lutsk-ntu.com.ua), Oleg Sitovsky <https://orcid.org/0000-0003-0382-2299>

*Vasyl PAVLIUK*, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Automobiles and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: [v.pavliuk@lutsk-ntu.com.ua](mailto:v.pavliuk@lutsk-ntu.com.ua), Vasyl Pavliuk <https://orcid.org/0000-0002-0678-3566>

*Yurii BULIK*, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Automobiles and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: [yurii.bulik@lutsk-ntu.com.ua](mailto:yurii.bulik@lutsk-ntu.com.ua), Yuriy Bulik <https://orcid.org/0000-0002-9787-434X>

*Oleg SITOVSKY*, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Automobiles and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: [o.sitovskyi@lutsk-ntu.com.ua](mailto:o.sitovskyi@lutsk-ntu.com.ua), Oleg Sitovsky <https://orcid.org/0000-0003-0382-2299>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1370

## УДОСКОНАЛЕННЯ ЛОГІСТИЧНОЇ СТРАТЕГІЇ ПІДПРИЄМСТВА НА РИНКУ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ

Ключовим завданням логістичної стратегії є визначення показників, як кількісних, так і якісних, які необхідні для досягнення стратегічних цілей компанії в області логістикискладування, розподілу, управління запасами, транспортування тощо, з обліком оптимізації витрат на всіх ділянках логістичного ланцюга.

Використання логістичних інструментів та методів, правильний вибір типу логістичної стратегії сприяють оптимізації процесів розподілу товару, а також мінімізації витрати, пов'язаних з рухом потоків продукції, послуг, фінансів та інформації.

Розробляючи логістичну стратегію, компаніям слід підходити з точки зору того, який ринок збуту буде освоюватися. Найбільш ефективною логістичною стратегією розподілу на регіональних ринках і ринках великих і середніх міст є поєднання фізичного розподілу товару до оптово-посередницької мережі при паралельному здійсненні роздрібних продажів.

Структурування і аналіз основних проблем і завдань стратегічного планування логістичної діяльності транспортного підприємства дозволяє діяти більш цілеспрямовано і концентрувати управлінські, організаційні та інші ресурси, оптимізуючи у свої витрати та терміни досягнення поставлених цілей.

Нами були вивчені теоретичні питання в області розробки логістичних стратегій. Були визначено сутність і основні види логістичних стратегій. Дана оцінка існуючої моделі здійснення діяльності на підприємстві і виявлена найбільш проблемна ділянка. Так було взято окремий бізнес-процес, який починається з рівня телефонних переговорів та укладання договору та закінчується завантаженням. В результаті оцінки було виявлено, що даний бізнес процес справді не оптимізовано і несе великі тимчасові витрати.

Таким чином, були проведені дослідження в одній із головних галузей логістики, були вивчені теоретичні питання, був проведений аналіз діяльності транспортної компанії та була надана інформація щодо вдосконалення моделі бізнес-процесу.

**Ключові слова:** логістична стратегія, реінжинірінг бізнес процесу, стратегічні рішення, логістичні технології, матриця пріоритетів.

### ВСТУП

Впровадження прогресивних методів реінжинірінгу бізнес-процесів у функціонал сучасних транспортних підприємств і побудова ефективної логістичної стратегії в даний час стають необхідними умовами отримання балансного прогресу та суттєвих конкурентних переваг в галузі транспортних і логістичних послуг.

За останні десять років економічний світ помітно змінився: по-перше, докорінно змінилося ціннісне значення пропонованих товарів і послуг, оскільки тепер попитом користується той продукт, який найбільш пристосований до конкретних потреб певного споживача і доставляється найбільш придатним методом в потрібний час; по-друге, ринок знаходиться під контролем споживачів, які чітко розуміють своє становище і всі переваги і можливості з цього. І, по-третє, з'явилися нові засоби, технології і виробництво, а також суттєво виросло значення інформаційних технологій, які з бази для багатьох інших технологій тепер перетворилися на інструмент повідомлення інформації до покупців.

Однак, навіть попри вищесказані особливості господарювання, більшість транспортних компаній у своїй діяльності продовжують керуватися застарілими управлінськими принципами та ідеями.

Виходячи з цього, виникає об'єктивна потреба переосмислення способів побудови та організації циркулюючих на підприємстві бізнес-процесів і використання принципово іншого підходу, що дозволяє повною мірою реалізувати переваги нових технологій та програм, а також людських ресурсів. В цьому зв'язку особливий інтерес представляє використання методу реінжинірінгу бізнес-процесів в рішенні проблеми створення стратегічно ефективних і економічно обґрунтованих форм організації бізнесу транспортних компаній, оскільки саме використання потенціалу реінжинірінгу як інструменту реорганізаційного управління економічними потоками підприємства відкриває широкі можливості для придбання унікальних компетенцій і формування на цій основі стабільної і передової системи господарювання.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Практика показує, що ефективність стратегічного управління, здатна забезпечити високі кінцеві результати виробничо-господарської діяльності, що дозволяє компаніям в довгостроковій

перспективі успішно розвиватися в конкурентному середовищі, схильному до швидкого, радикального і часто важко передбачуваних змін, визначається сучасним розвитком компанії.

У загальному випадку стратегія є детальним всебічним комплексним планом, призначення якого реалізація місії і досягнення цілей компанії [12].

Роль логістики в сучасній компанії носить оптимізаційний та інтегральний характер. З позицій бізнесу стратегічних, тактичних або оперативних цілей можна досягти за допомогою одного з інструментів менеджменту - логістики [1-5, 12].

Згідно з рейтингом Світового Банку [3], у ТОП-10 країн за рівнем розвиненості системи логістики входять Німеччина, Люксембург, Швеція, Нідерланди, Сінгапур, Бельгія, Великобританія, США, Австрія та Гонконг. При цьому Україна займає 78 місце з 160 можливих. Щоб покращити позиції України в рейтингу ефективності логістики Світового банку (LPI) потрібно реалізовувати комплекс заходів: як в аспекті інфраструктури та пошуку нових підходів до управління, так і в аспекті автоматизації логістичної галузі. Також величезне значення грає правильно сформована логістична стратегія.

Закордонна література достатньо докладно описує роль стратегії в логістика, але не усі питання, які торкаються логістичної стратегії, вирішені на сьогоднішній день. Насамперед, необхідно дати визначення терміну «логістична стратегія». У літературних джерелах з транспортної логістики логістична стратегія розглядається не усіма авторами.

### ЦІЛІ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Актуальність теми даного дослідження обумовлена тим, що питання побудови ефективної логістичної стратегії та впровадження сучасних методів управління бізнес-процесами автотранспортного підприємства належать сьогодні до пріоритетних завдань вітчизняної економічної науки та практики.

Мета даного дослідження полягає в розробці та апробації алгоритму створення логістичної стратегії підприємства по засобам технології реінжинірингу бізнес-процесів.

В даній статті необхідно вирішити такі задачі: провести аналіз існуючих видів логістичних стратегій і механізмів впровадження реінжинірингу на підприємствах; провести реінжиніринг в рамках певного бізнес-процесу на підприємствах автомобільного транспорту.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Логістичні рішення, що володіють довгостроковим характером, визначають логістичну стратегію, в склад якої входять усі стратегічні рішення, прийоми, плани і культура, пов'язані з управлінням ланцюгом постачання.

Логістична стратегія повинна бути частиною корпоративної бізнес-стратегії компанії і сприяти покращенню всієї господарської діяльності компанії. Розроблена логістична стратегія надає вплив на створення системи, яка дозволяє підвищити ефективність керування матеріальними потоками.

Логістичні рішення приймаються ієрархічно від стратегічних до структурних, а потім до функціональних та операційних. Типи стратегічних рішень представлені на рисунку 1.

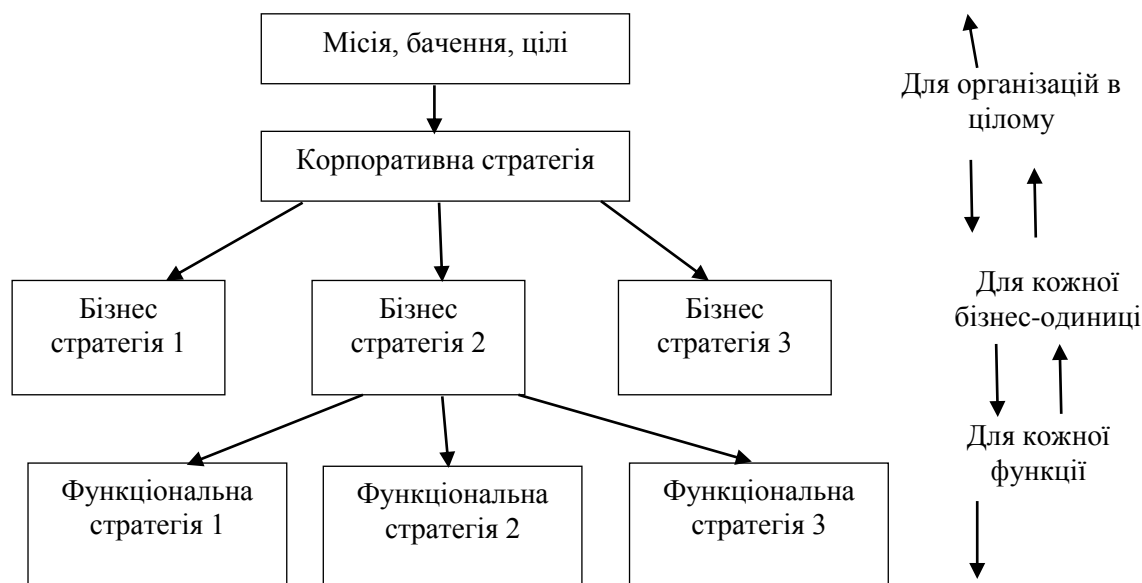


Рисунок 1 - Типи стратегічних рішень



Виходячи з рисунку 1, можна визначити цілі стратегічних рішень. Так, наприклад, для стратегій вищого рівня характерним є формування цілей і загальної спрямованості компанії. За реалізацію стратегічних рішень відповідають функціональні стратегії, іншими словами, бізнес-стратегії визначають напрями дій. Логістична стратегія в даній ієрархії показує, як досягнення цих цілей допомагає діяльності ланцюга постачання.

Розглянемо на прикладі взаємодію загальної цілі компанії і логістичної стратегії. Якщо мета компанії – стати провайдером продукту з найнижчими витратами, то логістична стратегія буде спрямована на скорочення логістичних витрат до мінімуму. Якщо мета компанії пов'язана з прискоренням постачання продукції своїм замовникам, то в рамках логістичної стратегії буде визначено прийоми, які дозволять це зробити.

Розробивши логістичну стратегію, компанія може вирішити ряд проблем, що приведе до збільшення продуктивності роботи і зниження логістичних витрат, підвищення якості сервісу. Досягнення перерахованих цілей призведе до реалізації стратегічних цілей компанії, до яких можна віднести:

- зріст продажів, оптимізація витрат, ефективне використання активів і, як наслідок, зріст прибутку компанії;
  - зміцнення позицій компанії або становлення лідером на цільовому ринку.
- Логістичні стратегії в бізнесі можуть розвиватися в кількох напрямках:
- договірні логістичні стратегії;
  - логістичний аутсорсинг;
  - логістичне партнерство;
  - швидкі цикли і інтеграція ланцюга постачання.

Ключовим завданням логістичної стратегії є визначення показників, як кількісних, так і якісних, які необхідні для досягнення стратегічних цілей компанії в області логістики складування, розподілу, управління запасами, транспортування тощо, з обліком оптимізації витрат на всіх ділянках логістичного ланцюга [9-11].

Компанії, які порушили розробку логістичної стратегії, прагнуть до підвищення якості обслуговування споживачів і постачальників, формування гнучкості, оптимізації витрат. Для досягнення таких цілей, компанії обирають партнерів, якщо мова йде про транспортні компанії. Також компанії можуть організувати співробітництво в області складування, послуг у сфері імпорту/експорту, обробки інформації [6,7,15]. Найчастіше в компанії насамперед опрацьовуються маркетингові питання, так як велика увага приділяється маркетинговій стратегії, а не стратегії розвитку компанії загалом. Власники та керівники компаній часто забувають про те, що розвиток компанії залежить саме від реалізації стратегії.

Використання логістичних інструментів та методів, правильний вибір типу логістичної стратегії сприяють оптимізації процесів розподілу товару, а також мінімізації витрати, пов'язаних з рухом потоків продукції, послуг, фінансів та інформації.

Розробляючи логістичну стратегію, компаніям слід підходити з точки зору того, який ринок збуту буде освоюватися. Найбільш ефективною логістичною стратегією розподілу на регіональних ринках і ринках великих і середніх міст є поєднання фізичного розподілу товару до оптово-посередницької мережі при паралельному здійсненні роздрібних продажів [8, 14].

Враховуючи ієрархію рівнів формування стратегії, при виборі стратегії логістики необхідною умовою є її відповідність корпоративним цілям і стратегічним пріоритетам зростання і розвитку організації (рис. 2).

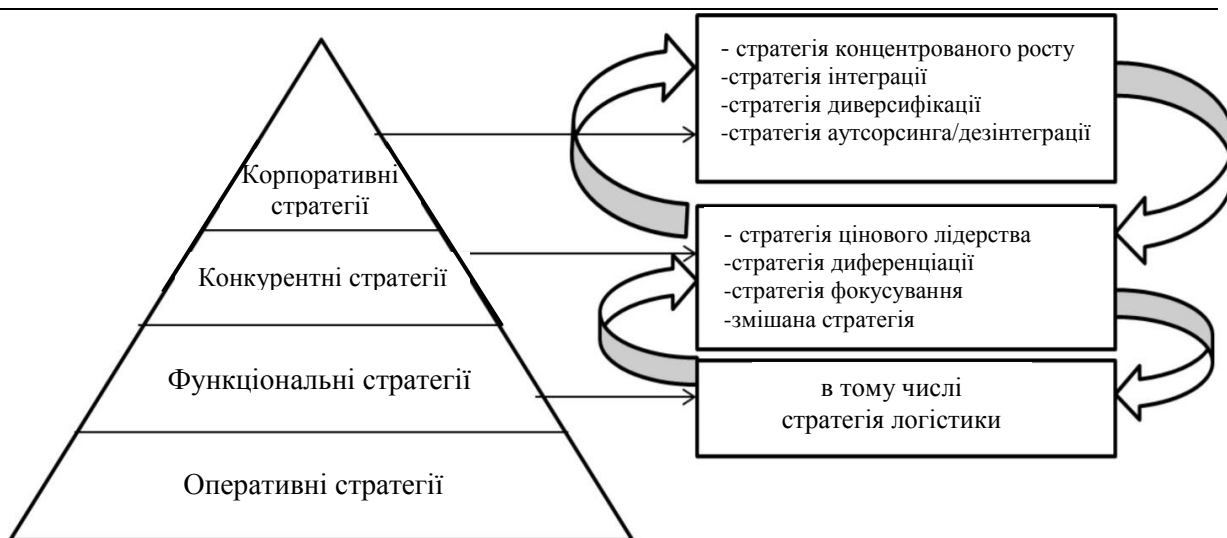


Рисунок 2 - рівні формування стратегій підприємства

Серед великого числа логістичних стратегій, застосовуваних підприємствами, можна виділити основні і додаткові стратегії.

До основних логістичних стратегій можна віднести «худу» і динамічну стратегію, а також стратегію, яка заснована на спілках або партнерстві.

Основна мета «худой» стратегії - знайти і усунути випадки непродуктивного використання ресурсів. У рамках стратегії кожна операція повинна задіяти якомога менше ресурсів (персонал, простір, запаси, обладнання, час тощо). У ході реалізації цієї стратегії компанії здійснюють наступні кроки:

- аналізують виконувані операції і відмовляються від тих, що не додають цінності для споживачів;
- використовують більш досконалі технології;
- усувають непотрібні ланки з ланцюга постачання;
- обирають найближчих до споживачів постачальників, для того щоб знизити транспортні витрати.

Реалізація даної стратегії можлива лише у стійкому зовнішньому середовищі, оскільки «худу» стратегію погано реалізується у невизначених, тобто, динамічних умовах, чого не скажеш про динамічну стратегію.

Основна мета динамічної логістичної стратегії – забезпечення високою якістю обслуговування в умовах зміни вимог і переваг споживачів. Таким чином, компанії, які обирають динамічну стратегію, акцентують свою увагу на споживачах. Ця стратегія припускає додаткові витрати, які повинні покрити незаплановані потреби клієнтів.

Схема розробки динамічної стратегії передбачає облік двох основних характеристик:

- швидкість реакції компанії на зміну зовнішніх умов;
- гнучкість діяльності.

Третій тип основних логістичних стратегій – стратегія, яка заснована на спілках або партнерстві, спрямована на збільшення ефективності ланцюга постачання. Підприємства вдаються до реалізації цієї стратегії в тих випадках, коли обслуговування споживачів знаходиться на високому рівні, а витрати на низькому. Також компанії мають високий ступінь гнучкості і відсутність бажання інвестувати засоби в ризикові проекти. Часто партнерства і спілки створюються між транспортними компаніями, які, як правило, використовують контрактних провайдерів.

Логістичні стратегії можна представити у вигляді загальної схеми (рис. 3).



Рисунок 3 - Класифікація логістичних стратегій

Стратегія в своєму роді є системою, яка представляє сукупність деяких елементів. Логістична стратегія також має на увазі деякі елементи, серед яких:

1. Якість. Компанії прагнуть покращувати якість продукції або ж спочатку закуповувати сировину високої якості, що дозволяє скорочувати витрати, пов'язані з виробництвом і внутрішнім контролем якості. Покупець має право отримувати інформацію про результати випробувань щодо сертифікації якості, які проводить технічний відділ компанії.

2. Управління запасами, отримання інформації про запаси сировини, матеріалів, готової продукції з обліком угод про партнерство з ключовими постачальниками.

3. Логістичні технології постачання, інтеграція інформаційних потоків від постачальника до кінцевого споживача.

4. Інноваційні технічні рішення і обладнання.

5. Закупівля матеріальних ресурсів та готової продукції.

В даний час велика увага приділяється теорії логістики, при цьому не всі розглядають такий аспект як логістична стратегія, що дозволяє компаніям знайти нові конкурентні переваги на ринку.

До того, як буде розроблена логістична стратегія, необхідно пройти етапи прогнозування і планування логістичної діяльності.

Прогнозування є основою для розробки стратегічних логістичних планів.

Стратегічне логістичне планування складається з низки цілей, процедур, структур, елементів, систем, тощо. При проектуванні логістичної стратегії всі її структурні елементи можна представити в вигляді логістичного плану. Цей план співзвучний контуру стратегічного планування, стосовно до логістичної стратегії його можна розділити на окремі стадії чи етапи. Логістична стратегія є одним з етапів логістичного планування (рис. 4).

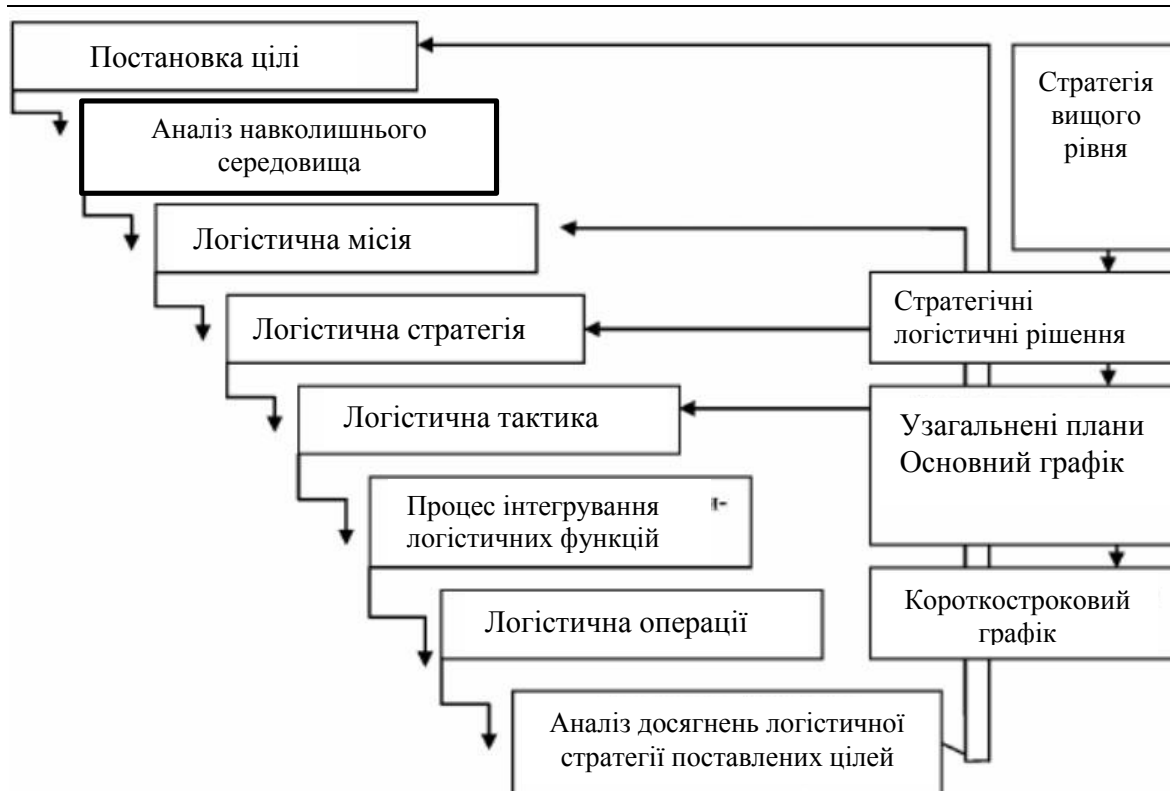


Рисунок 4 - Етапи логістичного планування

Говорячи про реалізацію логістичної стратегії, компанії натякають на перетворення загальних цілей стратегії в конкретні і прийняття рішень на більш низькому рівні. Стратегія вважається ефективною, якщо вона була успішно реалізована, тобто довгострокові цілі були перетворені в рішення більш низьких рівнів, а дії, спрямовані на їх досягнення були виконані. Досить важким представляється процес перетворення логістичної стратегії на рішення більш низьких рівнів.

При розробці логістичної стратегії варто перекоонатися, що реалізація стратегії і довгострокових планів приведе до тактичних і операційних рішень. Логістична стратегія повинна тримати компанію в напрузі, на межі зони комфорту, щоб досягти високих результатів. При цьому цілі логістичної стратегії мають бути цілком досяжними.

Процес початкової співпраці з клієнтами є важливою частиною діяльності транспортної компанії. Процес починається з підготовки інформаційних записок після телефонної розмови і закінчується оформленням дорожнього листа на навантаження та транспортування.

Для полегшення розпізнавання та аналізу етапи процесу описані та представлені у вигляді таблиці (табл. 1).

Процес початкової співпраці з клієнтами є невід'ємною частиною функціонування будь-якої компанії. Якщо компанія хоче рости і розвиватися, вона повинна постійно вдосконалювати свою роботу, структуру і політику. Як кажуть, «ознака досконалості». У цьому може допомогти реінжиніринг.

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розглянемо початковий процес проектування роботи із замовником. Обмеження процесу: процес починається після телефонних переговорів і після створення інформаційного листа. Після завантаження та оформлення вантажних документів (накладної та транспортної накладної) процес завершується.

Таблиця 1 - Вихідні дані для аналізу

п/п	Етап	Вхідний документ	Вихідний документ	Виконавець	Кількість виконавців	Час, година
1	Телефонні переговори	Інформаційна записка	Аналітична записка	Директор	1	8 год.

2	Обмін робітниками електронними поштами	Аналітична записка	Аналітична записка	Фахівець по роботі з замовниками	1	1 год.
3	Обмін картками підприємства	Аналітична записка	Картка підприємства замовника	Спеціаліст по роботі з замовниками	1	1 год.
4	Надсилання договору	Картка підприємства замовника	Типова форма договору	Спеціаліст по роботі з замовниками, директор	2	5 год.
5	Підписання договору	Типова форма договору	Підписаний договір на надання транспортних послуг	Спеціаліст по роботі з замовниками, директор	2	2 год.
6	Прийом заявки	Підписаний договір на надання транспортних послуг	Заявка	Спеціаліст по роботі з замовниками, директор	2	1 год.
7	Підписання заявки	Заявка	Підписана заявка	Спеціаліст по роботі з замовниками, директор	2	1 год.
8	Підготовка транспорту дорейсу	Підписана заявка	Шляховий лист	Спеціаліст транспортного відділу, механік, водій	3	4 год.
9	Виїзд на завантаження	Шляховий лист	Шляховий лист	Спеціаліст транспортного відділу, водій	2	1 год.
10	Прибуття на місце навантаження	Шляховий лист	Шляховий лист з відміткою про прибуття	Спеціаліст транспортного відділу, водій	2	≈2 год.
11	Завантаження	Шляховий лист з відміткою про прибуття	Транспортна та товарно-транспортна накладна	Спеціаліст транспортного відділу, водій	2	2 год.

У даному випадку етапи бізнес-процесу по великому рахунку узагальнені та ідеалізовані, тому що в деяких випадках він може складатися як із менших, так і з більших стадій.

Ознайомившись з етапами функціональної моделі бізнес-процесу, нами було запропоновано виокремити найбільш важливі, на наш погляд, чинники успіху бізнес-процесу:

1) Наявність спеціалізованого програмного продукту за допомогою якого оформлення накладних стає простіше, а головне – швидше. Не потрібно вводити всі дані вручну, вся необхідна інформація збережена програмою. Доступні всі основні функції обліку та ведення накладних. Можливість одночасної роботи в програмі з декількох комп'ютерів.

2) Технічний стан усіх транспортних засобів підлягає суворому контролю. Якщо весь автопарк обслуговується та знаходиться в хорошому стані, то підприємство ніколи не розчарує своїх клієнтів.

3) Підприємство повинно мати гарну репутацію. Коли компанія позиціонує себе як надійного надавача послуг, її репутація зростає.

4) Визначення існуючих проблем бізнес-процесів. Це починається з визначення критичних бізнес-процесів — процесів, які допоможуть досягти заданої місії та цілей. Це робиться шляхом визначення критичності бізнес-процесу та порівняння його з критичними факторами успіху.

Нами були визначені наступні фактори успіху:

КФУ 1 Наявність програмного продукту

КФУ 2 Технічний стан усіх транспортних засобів необхідно суворо контролювати

КФУ 3 Хороша репутація.

Таблиця 2 – Оцінка зв'язків між процесами і КФУ

БП	КФУ 1	КФУ 2	КФУ 3	Число КФУ	Ступінь якості
Телефонні переговори			+	1	С
Обмін робітниками електронними поштами			+	1	D
Обмін картками підприємства			+	1	A
Надсилання договору			+	1	E
Підписання договору			+	1	E
Прийом заявки			+	1	E



Підписання заявки			+	1	D
Підготовка транспорту до рейсу	+	+		2	A
Вийзд на завантаження		+		1	D
Прибуття на місце навантаження		+		1	B
Завантаження нафтопродуктів		+		1	B

Для того щоб розглянути всі бізнес-процеси з погляду їх бажаного і поточного стану, а також конкурентної ситуації в галузі кожен бізнес процес був оцінений по шкалі: А - відмінна; В - гарна; С - задовільна; D - погана; Е - дуже погана.

Після оцінки ступенів важливості та проблемності бізнес-процесів була побудована матриця пріоритетів по вибору бізнес-процесів для оптимізації (рисунок 5).

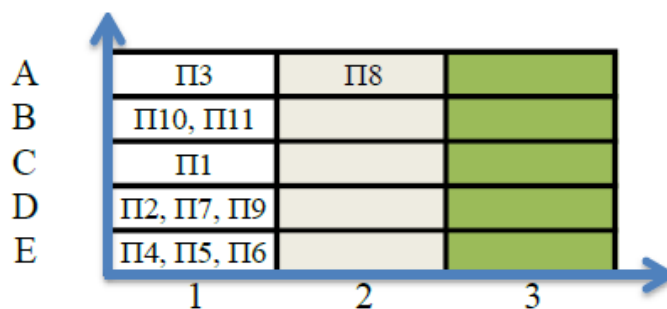


Рисунок 5 – Матриця пріоритетів по вибору бізнес-процесів для оптимізації

Найважливіші та найпроблемніші бізнес-процеси знаходяться біля нижнього правого кута матриці. Вони належать до категорії високого пріоритету, і покращення їх повинно бути вашим головним пріоритетом.

У нашому випадку це: P2 - Обмін праці електронною поштою, P7 - Підписання заявки, P9 - Відправлення на завантаження, P4 - Надсилання контракту, P5 - Підпис контракту, P6 - Отримання заявки.

Після впровадження запропонованих рішень у бізнес-процесі залишилося шість основних етапів. Їх вміст наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 - Етапи бізнес-процесу після оптимізації

п/п	Найменування етапів	Візуалізація	Учасник процесу	Матеріальні ресурси	Інформаційні ресурси	Якість	Час
1	Телефонні переговори	Прийняти телефонний дзвінок від замовника Записати електронну пошту замовника	Директор	Мобільний телефон	Інформаційна записка	Вся первинна інформація про послуги буде донесена до замовника	8
2	Обмін даними підприємства	Направити дані про підприємство по електронній пошті замовнику Прийняти дані про підприємство від замовника	Фахівець по роботі з замовниками	ПК, принтер	Дані підприємства замовника, електронна пошта	Дані про підприємство будуть направлені замовнику	1
3	Робота з договором	Направити типову форму договору замовнику на підпис. Підписати договір зі своєї сторони	Директор, спеціаліст по роботі з замовниками	ПК, принтер, мобільний телефон	Типова форма договору, електронна пошта	Договір буде підписано обома сторонами після врегулювання всіх спірних моментів	5

4	Підготовка транспорту до рейсу	Виписати шляховий лист Заправити паливом транспортний засіб	Фахівець транспортно-механік, водій	ПК, принтер, автозаправник, інструменти	Дорожній лист, Програмне забезпечення	Транспорт буде готовий до рейсу після випускання дорожнього листа, заправки і т.д.	4
5	Прибуття на місце навантаження	Під'їхати до пункту завантаження Поставити позначку в аркуші проприбуття	Фахівець транспортно-механік, водій	ПК	Шляховий лист з відміткою про прибуття	Транспорт прибуде на місце навантаження після подолання маршруту від бази до пункту завантаження	2
6	Завантаження	Припаркувати транспортний засіб згідно схеми розташування території Почати завантаження	Фахівець транспортно-механік, водій	ПК, принтер, навантажувач	Транспортна та товарно-транспортна накладна	Завантаження буде завершено після випускання всієї первинної документації	2

Метою роботи було реінжиніринг бізнес-процесу «першого контакту з клієнтом». Коли бізнес-процеси вперше аналізували, вони склалися з 11 фаз і тривали 28 годин. Переглядаючи процеси та визначаючи їх проблемні точки, нами було виявлено проблеми з надмірним документообігом у компаніях та непотрібними етапами процесу, які призводять до неправильного використання часу.

Для вирішення цих проблем запропоновано перелічені вище заходи. Виключити велику кількість процесів з основних внутрішніх компонентів системи. Зміни в стандартах документації. Видалити зайві ступені. Внести зміни в процес контактної роботи, призначивши нову функціональність. Запровадження нових положень щодо процесу «контрактної праці».

Отже, в процесі нового перетворення отримуємо наступний результат: - велика кількість процесів буде видалена із системи. Затвердження нових стандартів документації. Змінити процес «Договірна робота». Затвердження нових положень щодо «порядку трудового договору». Це скорочує час на 6 годин.

## ВИСНОВКИ

У даний час стан транспортного комплексу характеризується підвищеною ресурсомісткістю транспорту, малою фінансовою стійкістю, незбалансованістю в розвитку як в територіальному розвитку, так і між різними видами транспорту, малою рентабельністю, а також відсутністю у учасників ринку транспортно-логістичних послуг чітко опрацьованої стратегії розвитку логістичної діяльності, що дозволяє зробити висновок про те, що на внутрішньому рівні компанії необхідні системні перетворення, рішення яких дозволить транспортним підприємствам підвищити ефективність функціонування та посилити свої конкурентні позиції. В силу цього процес управління автотранспортним підприємством необхідно розробити і впровадити логістичну стратегію, яка дозволить досягти не тільки лідерства по витратах, але й збільшити конкурентоспроможність пропонувананих послуг, а також підвищити економічну стійкість самого підприємства. Для позитивних змін в сфері управління автотранспортним підприємством слід чітко ідентифікувати та досліджувати ключові напрямки, категорії та принципи логістичної стратегії на кожному етапі її побудови.

Структурування і аналіз основних проблем і завдань стратегічного планування логістичної діяльності транспортного підприємства дозволяє діяти більш цілеспрямовано і концентрувати управлінські, організаційні та інші ресурси, оптимізуючи у свої витрати та терміни досягнення поставлених цілей.

Нами були вивчені теоретичні питання в області розробки логістичних стратегій. Були визначено сутність і основні види логістичних стратегій. Дана оцінка існуючої моделі здійснення діяльності на підприємстві і виявлена найбільш проблемна ділянка. Так було взято окремий бізнес-процес, який починається з рівня телефонних переговорів та укладання договору та закінчується завантаженням. В результаті оцінки було виявлено, що даний бізнес процес справді не оптимізовано і несе великі тимчасові витрати.

Таким чином, були проведені дослідження в одній із головних галузей логістики, були вивчені теоретичні питання, був проведений аналіз діяльності транспортної компанії та була надана інформація щодо вдосконалення моделі бізнес-процесу.

#### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Васильєва Ю.В. Взаємозв'язок логістичної і корпоративної стратегії // Виробничий менеджмент. - 2015 року. - №2. - с. 67
2. Гуськова І.В. Розробка логістичної стратегії оптового підприємства // «Сучасні наукомісткі технології». – 2016. - №2.– с. 42
3. Рейтинг LPI Світового банку – 2016 // [Електронний ресурс] офіційний сайт. - Електрон. - Луцьк, 2023 року. - URL: // <https://lpi.worldbank.org/> (дата звернення: 11.11.2023)
4. Шаміс В.А. Теоретичне розгляд логістичних стратегій підприємств // Економічні науки - 2016. - № 43. - С. 28
5. Рудківський О.А. Моделювання логістичної стратегії підприємства // Логістика. - 2015 року. - №7.– с. 59
6. Данильченко Ю.В., Пантелєєва А.А. Логістичні стратегії організації постачання територіально віддалених об'єктів // Науковий форум. - 2017. - №3(5). - с. 34-38
7. Бауерсокс Д. *Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process* / Д. Бауерсокс., 2010 року. - 640 с.
8. APICS Dictionary. *The Industry Standard for More than 3500 Terms and Definitions* / Eleventh Edition. – The Association for Operation Management, 2005. – P.88.
9. Terminology in Logistics and Definitions / Glossary of Logistics Terms. – European Logistics Association, 2005. – P. 81.
10. Крикавський Є.В. Логістичне управління: підручник / Є.В Крикавський. –Львів: Львівська політехніка, 2005. – 684 с.
11. Terzi S., Cavalieri S. «Simulation in the supply chain context: a survey», // *Computers in Industry*. – 2004. Vol. 53. P. 3 – 16.
12. Gadginckii A. M. *Logistika: Ychebnik dlia vyzov*. – 20-e izd., pererab. i dop. // М.: Dashkov i K, 2012. – 484 с.
13. Gnap, J., Poliak M., Semanova, S. The issue of a transport mode choice from the perspective of enterprise logistics. *Open Engineering*. Volume 9, Issue 1, 2019, Pages 374-383 doi: 10.1515/eng-2019-0044
14. Самостян В.Р. Ефективне використання підходів для імітаційного моделювання логістичних процесів. Науковий журнал “Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті” – Луцьк: Луцький НТУ, 2020. - Вип. 2(15). - 106-118 <https://doi.org/10.36910/automash.v2i15.400>
15. Самостян В.Р. Удосконалення процесу планування перевезення вантажів автомобільним транспортом: монографія / В.Р. Самостян, В.П. Онищук – Луцьк : Вежа-Друк, 2023. 158 с.

#### REFERENCES

1. Vasyliieva Yu.V. *Vzaiemozviazok lohistychnoi i korporatyvnoi stratehii* // *Vyrobnychy menedzhment*. - 2015 roku. - №2. - s. 67
2. Huskova I.V. *Rozrobka lohistychnoi stratehii optovoho pidpriemstva* // «Suchasni naukomistki tekhnolohii». – 2016. - №2.– s. 42
3. Reitynh LPI Svitovoho banku – 2016 // [Elektronnyi resurs] ofitsiinyi sait. - Elektron. - Lutsk, 2023 roku. - URL: // <https://lpi.worldbank.org/> (data zvernennia: 11.11.2023)
4. Shamis V.A. *Teoretychne rozghliad lohistychnykh stratehii pidpriemstv* // *Ekonomichni nauky* - 2016. - № 43. - S. 28
5. Rudkivskyy O.A. *Modeliuvannia lohistychnoi stratehii pidpriemstva* // *Lohistyka*. - 2015 roku. - №7.– s. 59
6. Danylchenko Yu.V., Pantelieieva A.A. *Lohistychni stratehii orhanizatsii postachannia terytorialno viddalenykh obiektiv* // *Naukovyi forum*. - 2017. - №3(5). - s. 34-38
7. Bauersoks D. *Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process* / D. Bauersoks., 2010 roku. - 640 s.
8. APICS Dictionary. *The Industry Standard for More than 3500 Terms and Definitions* / Eleventh Edition. – The Association for Operation Management, 2005. – P.88.
9. Terminology in Logistics and Definitions / Glossary of Logistics Terms. – European Logistics Association, 2005. – P. 81.
10. Krykavskyy Ye.V. *Lohistychne upravlinnia: pidruchnyk* / Ye.V Krykavskyyi. –Lviv: Lvivska politekhnik, 2005. – 684 s.

11. Terzi S., Cavalieri S. «*Simulation in the supply chain context: a survey*» // *Computers in Industry*. – 2004. Vol. 53. P. 3 – 16.
12. Gadginckii A. M. *Logistika: Ychebnik dlia vyzov*. – 20-e izd., pererab. i dop. // M.: Dashkov i K, 2012. – 484 c.
13. Gnap, J., Poliak M., Semanova, S. *The issue of a transport mode choice from the perspective of enterprise logistics. Open Engineering*. Volume 9, Issue 1, 2019, Pages 374-383 doi: 10.1515/eng-2019-0044
14. Samostian V.R. *Efektivne vykorystannia pidkhodiv dlia imitatsiinoho modeliuvannia lohistychnykh protsesiv*. Naukovyi zhurnal “Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti” – Lutsk: Lutskyyi NTU , 2020. - Vyp. 2(15). - 106-118 <https://doi.org/10.36910/automash.v2i15.400>
15. Samostian V.R. *Udoskonalennia protsesu planuvannia perevezennia vantazhiv avtomobilnym transportom: monohrafiia / V.R. Samostian, V.P. Onyshchuk – Lutsk : Vezha-Druk, 2023. 158 s.*

### **V. Samostian, I. Pavlova. V. Prydiuk. Improvement of the logistics strategy of the enterprise in the market of transport services**

The key task of the logistics strategy is to determine the indicators, both quantitative and qualitative, that are necessary to achieve the strategic goals of the company in the field of logistics of warehousing, distribution, inventory management, transportation, etc., taking into account the optimization of costs in all areas of the logistics chain.

The use of logistics tools and methods, the correct choice of the type of logistics strategy contribute to the optimization of product distribution processes, as well as to the minimization of costs associated with the movement of product, service, financial and information flows.

When developing a logistics strategy, companies should approach from the point of view of which sales market will be developed. The most effective logistics strategy for distribution in regional markets and markets of large and medium-sized cities is the combination of physical distribution of goods to the wholesale and intermediary network with parallel implementation of retail sales.

Structuring and analysis of the main problems and tasks of strategic planning of logistics activities of a transport enterprise allows you to act more purposefully and concentrate managerial, organizational and other resources, optimizing your costs and the time frame for achieving your goals.

We studied theoretical issues in the field of logistics strategy development. The essence and main types of logistics strategies were defined. The assessment of the existing model of activity at the enterprise was given and the most problematic area was identified. Thus, a separate business process was taken, which begins at the level of telephone negotiations and conclusion of the contract and ends with the download. As a result of the assessment, it was found that this business process is really not optimized and carries large time costs.

Thus, research was carried out in one of the main areas of logistics, theoretical issues were studied, an analysis of the transport company's activities was carried out, and information was provided regarding the improvement of the business process model.

**Keywords:** logistics strategy, business process reengineering, strategic solutions, logistics technologies, priority matrix

*САМОСТЯН Віктор Русланович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: [cymbf@ukr.net](mailto:cymbf@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0001-6823-8558>

*ПАВЛОВА Ірина Олексіївна*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: [Iruna\\_Pavlova@ukr.net](mailto:Iruna_Pavlova@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0003-1506-6064>

*ПРИДЮК Валентин Михайлович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: [pred.mbf@gmail.com](mailto:pred.mbf@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-7791-1230>

*Viktor SAMOSTIAN*, PhD in Engineering, associate professor of Automobiles and Transport Technologies department, Lutsk National Technical University e-mail: [svrmbf@gmail.com](mailto:svrmbf@gmail.com) <http://orcid.org/0000-0001-6823-8558>

*Irina PAVLOVA*, PhD in Engineering, associate professor of Automobiles and Transport Technologies department, Lutsk National Technical University e-mail: [Iruna\\_Pavlova@ukr.net](mailto:Iruna_Pavlova@ukr.net), <http://orcid.org/0000-0003-1506-6064>

*Valentyn PRYDIUK*, Ph.D in Engineering, associate professor of Automobiles and Transport Technologies department, Lutsk National Technical University, e-mail: [pred.mbf@gmail.com](mailto:pred.mbf@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0001-7791-1230>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1371

УДК 629.113  
UDC 629.113

Сахно В.П.<sup>1</sup>, Мурований І.С.<sup>2</sup>, Онищук В.П.<sup>2</sup>, Стельмашук С.В.<sup>2</sup>, Вінцюк М.Я.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Національний транспортний університет*

<sup>2</sup> *Луцький національний технічний університет*

## ДО ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ РУХУ АВТОМОБІЛЯ З ПРИЧЕПОМ КАТЕГОРІЇ O2 У ГАЛЬМІВНОМУ РЕЖИМІ

У статті аналізується стійкість руху автопоїзда, який складається з автомобіля Mercedes-Benz T1N "Sprinter" та причепа ПВБФ 15, залежно від різних сценаріїв розміщення вантажу в кузові причепа. Основна увага дослідження зосереджена на впливі розташування вантажу на показники стійкості автопоїзда під час гальмування. Критичним критерієм оцінки стійкості є початкова швидкість руху, за якої автопоїзд зберігає своє положення в межах визначеної смуги руху.

Згідно з результатами дослідження, стійкість автопоїзда при базовому розміщенні вантажу досягається при початковій швидкості 23,2 м/с (83,5 км/год), при цьому бокове зміщення причепа не перевищує 0,075 метра. Але зміна положення вантажу, як зміщення центру мас вперед, так і назад, впливає на безпечну швидкість гальмування. Особливо ризикованим є зміщення центру мас назад, що знижує швидкість з 21,2 м/с до 19,5 м/с.

Важливим аспектом дослідження є встановлення, що незалежно від способу розміщення вантажу, стійкість автопоїзда забезпечується, якщо бічне прискорення у центрі мас автомобіля та причепа не перевищує 0,45g. Це підкреслює значення відповідального підходу до розподілу вантажу при транспортуванні та необхідність урахування цього фактору для підтримки безпеки дорожнього руху.

На основі отриманих даних, можна визначити оптимальні параметри для забезпечення максимальної безпеки та стійкості автопоїзда. Розроблені рекомендації можуть допомогти в процесі проектування та експлуатації автопоїздів з причепами, сприяючи підвищенню загальної безпеки на дорогах.

Дослідження підкреслює значення розуміння складності взаємодій у системах з кількома з'єднаними елементами, які важливі для забезпечення безпеки та ефективності транспортних засобів у реальних умовах експлуатації.

**Ключові слова:** стійкість руху, автопоїзд, гальмування, математичне моделювання, причеп категорії O2, диференціальні рівняння, експлуатаційні характеристики, безпека дорожнього руху, зчіпка, динаміка автопоїзда.

### ВСТУП

Розвиток малого і середнього бізнесу в Україні призвів до збільшення потреби в причепах, що використовуються в зчіпці з легковими автомобілями. Це, перш за все, причепи категорій O1 і O2. Характер руху автопоїзда принципово відрізняється від руху одиничного автомобіля. Відмінність можна пояснити наявністю додаткових зусиль, що виникають у шарнірному з'єднанні ланок транспортного засобу, а також сил і моментів, які діють на його окремі ланки та рух транспортного засобу в цілому. Особливо помітним є їх вплив при гальмуванні автопоїзда, яке може супроводжуватися складанням ланок та втратою стійкості транспортного засобу. Це пояснюється тим, що у процесі гальмування на автомобіль діють сили та моменти в різних площинах та напрямках. Під їх впливом змінюється навантаження окремих коліс. Вплив бічних сил призводять до перевантаження коліс одного борту транспортного засобу, а також може спричинити відведення або ковзання його коліс і як наслідок порушення стійкості руху.

Проблемі стійкості руху автомобіля та автопоїзда присвячено багато робіт, оскільки вона є важливою характеристикою, яка визначає його поведінку під впливом зовнішніх факторів. Аналіз робіт, спрямованих на поліпшення експлуатаційних властивостей автопоїздів у різних режимах руху, дозволив з'ясувати, що здебільшого, при вирішенні поставлених завдань, дослідники опираються на засоби математичного моделювання [1-4 та ін.]. При цьому складність математичних моделей залежить від правильного вибору розрахункової схеми та повноти описання всієї множини факторів, які впливають на автопоїзд в реальних умовах експлуатації, точності оцінки та описання силової взаємодії. Проте, варто зазначити, що на сьогодні не існує розроблених універсальних моделей, які б дозволили досліджувати зміну експлуатаційних властивостей автопоїздів у тому числі і показників стійкості руху в різних режимах та під впливом різних факторів. Це пояснюється складністю побудови таких моделей. Не існує також і загальноприйнятих уніфікованих вимог та підходів щодо побудови математичних моделей та визначення математичного апарату для їх аналізу. Тому актуальним і дуже важливим для автопоїздів з причепами категорій O1, O2, що експлуатуються, як



правило, приватними підприємцями і аматорами, є забезпечення їх стійкості руху як в тяговому, так і гальмівному режимах.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Численні дослідження [5-10 та ін.] доводять, що динаміка гальмування автопоїзда набагато складніша, ніж в одиночного автомобіля, що спричинено наявністю шарнірного зв'язку між ланками транспортного засобу, а також додаткових сил і моментів, які діють окремо на тягач та причіпні ланки. Ще одним фактором, який ускладнює динаміку гальмування автомобільного поїзда можна назвати неодноразовість спрацювання гальмівних механізмів різних осей. Сюди ж віднесемо можливість складання ланок автопоїзда, запобігти якому набагато важче ніж уникнути заносу одиночного автомобіля. Пояснюється це набіганням причіпної ланки на автомобіль-тягач, обумовлено як дією гальмівної системи автопоїзда, так і завантаженням його ланок.

На основі дослідження стійкості автопоїзда у процесі гальмування, у роботі [6] робиться висновок про те, що кут складання ланок автомобільного поїзда напряму залежить від початкової швидкості гальмування, бази причіпної ланки та координат точки зчеплення причіпної ланки та тягача. Також дослідники вказують на обернену залежність кута складання автопоїзда від ступеня його завантаження, коефіцієнта зчеплення шин з опорною поверхнею та часу випередження гальмування причіпної ланки відносно тягача.

Вагомий внесок у дослідження стійкості руху транспортних засобів у різних режимах, зокрема і гальмівному, здійснили науковці школи доктора технічних наук, професора, Подригало М. А. та доктора технічних наук, професора, Волкова В. П. Багато досліджень науковців даної школи спрямовано на забезпечення стійкості руху транспортних засобів у гальмівному режимі шляхом регулювання та оптимального розподілу гальмівних сил по їх осях; аналіз та вдосконалення конструкції існуючих та розробку нових зразків регуляторів гальмівних сил; дослідження впливу порушень роботи гальмівних механізмів на стійкість автомобілів та тракторів при гальмуванні; дослідження впливу на експлуатаційні властивості транспортних засобів різних значень коефіцієнта використання зчепних мас та ін. [11-15 та ін.].

У ході проведення досліджень вчені виділяють різні фактори, які порушують стійкість руху транспортних засобів у гальмівному режимі. Зокрема, у роботі [6] Ревін О. О., аналізуючи фактори, які впливають на стійкість автомобіля при гальмуванні, поділяє їх на дві групи: зовнішні та внутрішні. До зовнішніх дослідник відносить дорожні фактори, пов'язані зі зміною погоднокліматичних умов, які впливають на зчеплення шин з опорною поверхнею, та провокують появу ділянок з поперечною неоднорідністю коефіцієнта зчеплення. Також до цієї групи автор відносить наявність поперечних нахилів дорожнього покриття, вплив аеродинамічних сил, прикладених в боковому напрямку, вплив відцентрових сил, які діють на криволінійних ділянках доріг. До внутрішніх відносить фактори, обумовлені технічним станом конструктивних елементів автомобіля. В основу даного поділу автором покладений характер взаємодії механічної системи зі зовнішнім середовищем. У роботі [15] також пропонується поділ факторів на три основні групи: 1) зовнішні фактори, які залежать від погоднокліматичних умов та стану дороги, 2) внутрішні, які залежать від технічного стану автомобіля, 3) конструктивні, що залежать від досконалості конструкції гальмівної системи автомобіля.

Ряд дослідників [12-18 та ін.] можливим фактором втрати стійкості автомобіля при гальмуванні називають появу обертового моменту у горизонтальній площині, який виникає через нерівномірність дії гальмівних механізмів, що обумовлює появу різних за величиною гальмівних моментів на колесах однієї осі транспортного засобу. Поява такого моменту може спричинити занос транспортного засобу, а при гальмуванні автопоїзда – складання його ланок.

У ході проведених досліджень, вчені окрім факторів, які впливають на стійкість, виокремили ряд показників, які дозволяють характеризувати стійкість автомобілів при гальмуванні, проводити її оцінку. Аналізу критеріїв стійкості руху транспортних засобів у гальмівному режимі та нормуванням гальмівних властивостей автомобілів та автопоїздів присвячені роботи [19-21]. У цих роботах у якості критеріїв стійкості руху автомобілів та автопоїздів у різних режимах руху використовують кутові та лінійні відхилення транспортних засобів від заданої траєкторії руху; бічні відхилення траєкторії причіпної ланки від траєкторії автомобіля-тягача, максимальне значення яких не повинно перевищувати  $\pm 3\%B_r$  ( $B_r$  – габаритна ширина ланки); кут складання автопоїзда.

На сьогодні гальмівні властивості транспортних засобів та показники їх стійкості у гальмівному режимі регламентують такі нормативні документи: ДСТУ 2886:94 “Автотранспортні засоби. Гальмівні властивості. Терміни та визначення”, ДСТУ 3736:98 “Стойкість дорожньо-

транспортних засобів. Терміни та визначення”, ДСТУ 3310:96 “Засоби транспортні дорожні. Стійкість. Методи визначення основних параметрів випробуванням”, ДСТУ UN/ECE R 13-09:2002 (Правила ЄЕК ООН № 13) “Єдині технічні приписи щодо офіційного схвалення типу транспортних засобів категорій М N та О стосовно гальмування”, ДСТУ 3649:2010 “Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання”. Зокрема, з їх використанням встановлюються основні терміни та визначення, що стосуються гальмівних властивостей, визначаються особливості проведення досліджень та відбувається нормування гальмівних властивостей автомобілів та автопоїздів. Тенденція щодо зростання швидкісних режимів руху та збільшення рівня завантаження сучасних автопоїздів вимагає підвищення безпеки їх використання. Це в свою чергу відображається на формуванні вимог до всіх систем, що входять до складу транспортного засобу. Особливо це стосується гальмівних систем автопоїздів, які повинні дозволяти водієві регулювати швидкість руху в широкому діапазоні, а за потреби швидко та безпечно зупинити транспортний засіб. Важливо, щоб в процесі гальмування автомобільний поїзд володів хорошою керованістю та не втрачав стійкості. Безперечно, забезпечити стійкість автопоїзда набагато складніше ніж одиничного автомобіля.

Окрім згаданих факторів, не менш вагомим на стійкість автопоїзда у гальмівному режимі є вплив бортової нерівномірності гальмівних сил. В процесі експлуатації автопоїздів особливо небезпечними є екстрені гальмування, оскільки вони, в більшості випадків, супроводжуються блокуванням коліс. Аналіз досліджень [22-25 та ін.] експлуатаційних властивостей автопоїздів дозволив з'ясувати, що на показники стійкості руху автомобільних поїздів впливає також значна кількість масово-геометричних, конструктивних та експлуатаційних факторів, серед яких: розміщення вантажу, тиск повітря в шинах, величина зазорів у зчіпних пристроях, стан дорожніх умов, режими руху транспортного засобу та ін.

Варто зазначити, що на сьогодні не існує розроблених універсальних моделей, які б дозволили досліджувати зміну експлуатаційних властивостей автопоїздів у тому числі і показників стійкості руху в різних режимах та під впливом різних факторів. Це пояснюється складністю побудови таких моделей. Не існує також і загальноприйнятих уніфікованих вимог та підходів щодо побудови математичних моделей та визначення математичного апарату для їх аналізу.

У зв'язку з цим метою роботи є поліпшення показників динамічності гальмування автопоїзда з причепом категорії O2 за різного навантаження та розташування вантажу в кузові.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються такі завдання:

1. Визначення основних оціночних показників стійкості руху автопоїзда в гальмівному режимі та факторів, які на неї впливають.
2. Розробка математичної моделі автопоїзда з урахуванням розташування вантажу в кузові причепа.
3. Дослідження впливу навантаження та розташування вантажу в кузові причепа на показники стійкості автопоїзда в режимі гальмування.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз досліджень стійкості руху автомобільних поїздів в гальмівному режимі показав, що узагальнюючим параметром, що характеризує стійкість автопоїзда, можна прийняти початкову швидкість руху  $V_0$ , за якої автомобіль і причіп не виходять за межі ширини смуги руху. На величину цього параметру впливають конструктивні і експлуатаційні параметри автопоїзда і умови його експлуатації. Визначення цього параметра у прямолінійному русі базується на диференціальних рівняннях руху автопоїзда у гальмівному режимі. Ці рівняння записані у вигляді [26]:

$$\begin{aligned}
 m(\dot{v} + \omega u) &= X \cos \theta - Y \sin \theta + X_{11} - YB \cos \phi - XB \sin \phi + P_\gamma; \\
 I \dot{\omega} &= a(Y \cos \theta - X \sin \theta) - bY_{11} - b_b Y_{12} + c(YB \cos \phi - XB \sin \phi); \\
 I_1 \dot{\omega}_1 &= d_1 YB - b_1 Y_{21} - b_{11} Y_{22}; \\
 I_\gamma \ddot{\gamma} &= m(\dot{v} + \omega u) + m \times g \times H \times \gamma - K_\gamma H^2 \times \gamma / 2 - N_\gamma H^2 \dot{\gamma} / 2; \\
 I_{1\gamma} \ddot{\gamma}_1 &= m_1(\dot{v}_1 + \omega_1 u_1) + m_1 \times g \times H_1 \times \gamma_1 - K_{\gamma 1} H_1^2 \times \gamma_1 / 2 - N_{\gamma 1} H_1^2 \dot{\gamma}_1 / 2
 \end{aligned} \tag{1}$$

У системі рівнянь (1) прийняті такі позначення:

$m, I, m_1, I_1$  - відповідно маса і момент інерції автомобіля і причепа щодо вертикальної осі, що проходить через центр мас;

$u, v, \omega, u_2, v_2, \omega_2$  - бічна, поздовжня і кутова швидкість центра мас автомобіля і причепа;

$X, Y, X_{11}, Y_{11}$  - поздовжня і бічна сила на колесах передньої керованої осі автомобіля і некерованих колесах задньої осі;

$XB, YB$  - поздовжня і бічна реакція в опорно-зчіпному пристрої автомобіля;

$P_y$  - поздовжня сила в центрі мас автомобіля;

$Y_{21}, Y_{22}$  - бічна сила на колесах передньої і задньої осі причепа;

$I_y, I_{1y}$  - момент інерції автомобіля і причепа щодо поперечної осі, що проходить відповідно через центр мас автомобіля і причепа;

$K_\gamma, K_{\gamma 1}$  - відповідно коефіцієнти жорсткості підвіски автомобіля і причепа у поздовжній площині;

$N_\gamma, N_{\gamma 1}$  - відповідно коефіцієнти демпфування у підвісках автомобіля і причепа;

$\theta$  - кут повороту керованих коліс автомобіля;

$\gamma, \gamma_1$  - відповідно кути тангажу автомобіля і причепа;

$\varphi$  - кут складання ланок автопоїзда;

$H, H_1$  - відповідно висота центру мас підресорених мас автомобіля і причепа;

$a, b$  - відстань від центра мас автомобіля до передньої і задньої осі автомобіля;

$b_1, b_{11}$  - відстань від центра мас причепа до його передньої і задньої осі;

$c$  - відстань від центра мас автомобіля до точки зчіпки з причепом.

Отримана система п'яти диференціальних рівнянь може бути використана для знаходження п'яти невідомих –  $v, u, \omega, \gamma, \gamma_1$ .

У систему рівнянь (1) входять поздовжні і бокові реакції дороги на колеса окремих ланок автомобіля, які у значній мірі залежать від нормальних реакцій опорної поверхні. Бічні реакції  $Y_i$  залежать від прийнятої моделі деформації колеса у бічному напрямку. Величина і напрямок поздовжніх реакцій  $X_i$  залежать від режиму руху автопоїзда (розгін, усталений вільний рух, гальмування).

Поздовжні реакції, що діють на колеса осей автопоїзда у гальмівному режимі, визначені як:

$$X_i = \varphi \times Z_i, \quad (2)$$

де  $\varphi$  - коефіцієнт зчеплення;

$Z_i$  - нормальна реакція опорної поверхні на осі автомобіля і причепа.

Нормальні реакції опорної поверхні визначені як

-для передньої осі причепа

$$Z_{1n} = G_n \left( \frac{j_\tau h_{gn}}{gL_n} + \frac{b_{11}}{L_n} \right) \pm P_c \frac{h_c}{L_n}; \quad (3)$$

-для задньої осі причепа

$$Z_{2n} = G_n \left( \frac{j_\tau h_{gn}}{gL_n} - \frac{b_1}{L_n} \right) \pm P_c \frac{h_c}{L_n} \quad (4)$$

-для передньої осі автомобіля

$$Z_{1a} = G_a \left( \frac{j_\tau h_{ga}}{gL_a} + \frac{b}{L_a} \right) \pm P_c \frac{h_c}{L_a}. \quad (5)$$

- для задньої осі автомобіля

$$Z_{2a} = G_a \left( \frac{j_\tau h_{ga}}{gL_a} - \frac{a}{L_a} \right) \pm P_c \frac{h_c}{L_a}, \quad (6)$$

де  $G_a, G_n$  – сила тяжіння від маси автомобіля і причепа;

$L_a, L_n$  – база автомобіля і причепа;

$j_\tau, j_{\tau a}, j_{\tau n}$  - сповільнення автопоїзда, автомобіля і причепа;

$P_c$  – зусилля в тягово-зчіпному пристрої,  $P_c = (j_{\tau a} \pm j_{\tau n}) \times G_n$ ;

$h_c$  – висота розташування тягово-зчіпного пристрою,  $h_c=0,4$  м.

При визначенні бічних реакцій серед розповсюджених феноменологічних теорій, які описують рух еластичного колеса, найбільше розповсюдження отримала аксіоматика І.Рокара [14]. Якщо крива залежності бічної реакції від кута бічного відведення  $Y = f(\delta)$  при будь-якому значенні кута відведення  $\forall \delta > 0$  опукла, то цьому випадку відповідають такі можливі аналітичні апроксимації

$$Y = k_0 \arctg(c\delta), Y = k_0 th(c\delta), Y = \frac{k\delta}{\sqrt{1 + \chi^2 \delta^2}}. \tag{2}$$

Загальна вимога до всіх функцій наведених у формулі (2) полягає в тому, що функція  $f(\delta)$  є сумою знакоперемінного ряду

$$Y = k\delta - k'\delta^3 + k''\delta^5 - + \dots \tag{3}$$

У наведених формулах  $k$  – коефіцієнт опору відведення;  $\delta$  – кут відведення;  $c$  – коефіцієнт пропорційності,  $\chi = \frac{k}{Y^*}$ ,  $Y^*$  - максимальна, можлива до реалізації бічна сила на осі автомобіля і причепа;  $Y_i^* = Z_i \times \varphi_{ib}$ ;  $Z_i$ - нормальна реакція опорної поверхні на  $i$ -вісь автомобіля і причепа;  $\varphi_{ib}$  - коефіцієнт зчеплення коліс  $i$ -ої осі автопоїзда у бічному напрямку (прийнято рівним для усіх осей  $\varphi_{ib}=0,6$ ).

Приймемо останню з апроксимацій (2). Тоді для реакції на  $i$ -ій осі  $Y_i$  отримаємо

$$Y_i = \frac{k_i \delta_i}{\sqrt{1 + \chi_i^2 \delta_i^2}} \tag{4}$$

Дана закономірність правомірна для визначення бічних сил і показників стійкості автопоїзда у вільному режимі. Відповідно кути відведення визначаються як

$$\delta_1 = \theta - \arctg \frac{u + a\omega}{v}, \delta_2 = \arctg \frac{-u + b\omega}{v}, \delta_3 = -\arctg \frac{u_2 - b_1\omega_2}{v_2}, \delta_4 = -\arctg \frac{u_2 - b_{11}\omega_2}{v_2} \tag{5}$$

Інтегрування системи рівнянь (1) виконано за вихідних даних, наведених у табл. 1.

Таблиця 1– Коротка технічна характеристика автопоїзда

Показник	Значення
Автомобіль	
Повна маса, кг	3500
База, м	3,550
– відстань від передньої осі до центру мас, м	1,90
– відстань від задньої осі до центру мас, м	1,65
– відстань від точки зчіпки до задньої осі, м	0,80
Габаритна довжина, м	5,64
Ширина, м	1,9
Висота центру мас автомобіля, м	0,58
Висота центру мас підресорених мас автомобіля, м	0,25
Коефіцієнт жорсткості підвіски автомобіля, кН/м	195
Коефіцієнт демпфування у підвісці автомобіля, Н×м/с	505
Момент інерції автомобіля щодо вертикальної осі, що проходить через центр мас, кг×м <sup>2</sup>	10973
Момент інерції автомобіля щодо поперечної осі, що проходить через центр мас, кг×м <sup>2</sup>	12110
Коефіцієнт опору бічному відведенню, кН/рад	25
Причіп	
Повна маса, кг	2800
База, м	1,2
– відстань від передньої осі до центру мас, м	0,65

– відстань від задньої осі до центру мас, м	0,55
Довжина дишла, м	1,1
Габаритна довжина платформи, м	5,5
Ширина, м	1,9
Висота центру мас причепа, м	0,45
Висота центру мас підресорених мас причепа, м	0,2
Коефіцієнт жорсткості підвіски причепа, кН/м	202
Коефіцієнт демпфування у підвісці автомобіля Н×м/с	742
Момент інерції причепа щодо вертикальної осі, що проходить через центр мас, кг×м <sup>2</sup>	6298
Момент інерції причепа щодо поперечної осі, що проходить через центр мас, кг×м <sup>2</sup>	7415
Коефіцієнт опору бічному відведенню, кН/рад	20

На рис. 1 наведено графік зміни нормальних реакцій опорної поверхні на осі автомобіля і причепа у функції сповільнення і зусилля у тягово-зчипному пристрої за вихідними даними для автопоїзда, що наведені у табл. 1. При цьому максимальне сповільнення автопоїзда змінювалося в межах від 1,0 до 6,0 м/с<sup>2</sup>, а зусилля у тягово-зчипному пристрої дорівнювалося нулю.

Зміна нормальних реакцій опорної поверхні на осі автомобіля і причепа врахована у подальшому при визначенні коефіцієнта опору відведення коліс автомобіля і причепа.

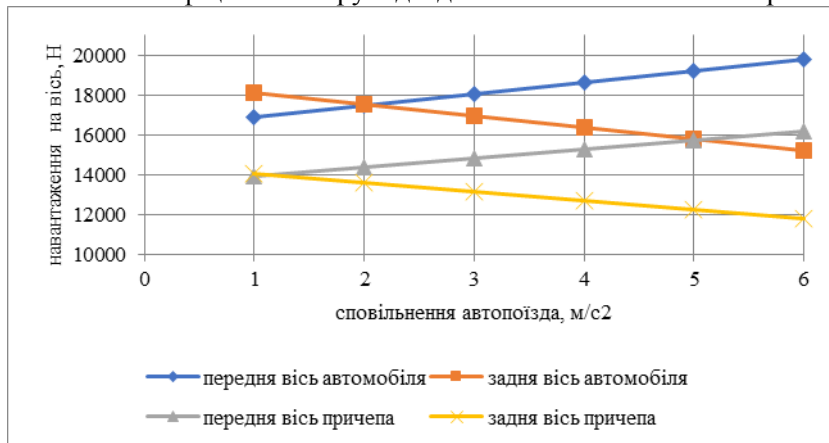


Рисунок 1 – Зміна нормальних реакцій опорної поверхні на осях автопоїзда у функції сповільнення за відсутності зусилля у тягово-зчипному пристрої

Отримана система рівнянь дозволяє досліджувати поведінку автопоїзда у гальмівному режимі. Вихідні дані, за якими здійснювалося інтегрування системи рівнянь (1), наведено у табл.1. Зважаючи на те, що у якості основного оціночного параметру стійкості автопоїзда прийнята швидкість, за якої в процесі гальмування він не виходить за межі габаритної смуги руху, інтегрування рівнянь проводилося у такій послідовності. Спочатку визначалися кути тангажу рис.2а, довантаження передніх осей автомобіля і причепа, рис. 2б, кути рискання і швидкість рискання, рис. 2 с, d, за якими у подальшому визначалися бокове зміщення траєкторії причепа за різної початкової швидкості гальмування, рис. 2е, і бічні прискорення у центрі мас причепа у часі перехідного процесу, рис.2к.

Аналіз рис. 2а і 2б показує, що як кут диференту, так і довантаження коліс передньої осі для тягового автомобіля значно перевищує такі ж показники для причепа. Пояснюється це тим, що база автомобіля майже в 1,5 рази більше бази причепа. Крім того і жорсткість підвіски причепа перевищує жорсткість підвіски автомобіля. Цим і пояснюється такий характер протікання кривих на рис. 2а,б.

Зміна навантаження на осі автомобілі і причепа призводить до зміни бічних сил на колесах їх оцей. Це, у свою чергу, призведе до появи рискання і кутової швидкості рискання автомобіля і причепа. На відміну від коливань автомобіля щодо поперечної осі, що проходить через центр мас автомобіля і причепа, кут рискання і кутова швидкість причепа перевищують аналогічні параметри щодо автомобіля. Це призводить до погіршення стійкості автопоїзда, що видно на рис. 2е,к.

При визначенні початкової швидкості гальмування і бічного прискорення у центрі мас автомобіля і причепа, за яких забезпечується стійкість рух автопоїзда враховувалося також розташування вантажу у кузові причепа. За базовий варіант приймалося таке розташування вантажу, за якого центр мас причепа розташовувався посередині між його осями. Два інші варіанти характеризувалися тим, що центр мас причепа розташовувався або над передньою віссю (зміщення вперед), або над задньою віссю (зміщення



назад). Аналіз рис. 2е показує, що для базового варіанту початкова швидкість, за якої забезпечується стійкість автопоїзда в процесі гальмування (бокове зміщення причепа не перевищує допустиме значення 0,075 м), складає 23,2 м/с (83,5 км/год). Зміщення центру мас причепа або вперед, або назад призводить до зменшення початкової швидкості гальмування, причому біль небезпечним є зміщення центру мас назад (початкова швидкість гальмування зменшується від 21,2 до 19,5 м/с). Разом з тим, як для номінального розташування центру мас причепа, так і при його зміщенні вперед або назад, за визначеної початкової швидкості гальмування забезпечується стійкість руху автопоїзда (бічне прискорення у центрі мас автомобілі і причепа не перевищує максимально допустиме 0,45g, рис.2к). Якщо зважити на допустиму швидкість буксирування причепа, 50 км/год [27], то обидва варіанти забезпечують вимоги щодо безпеки.

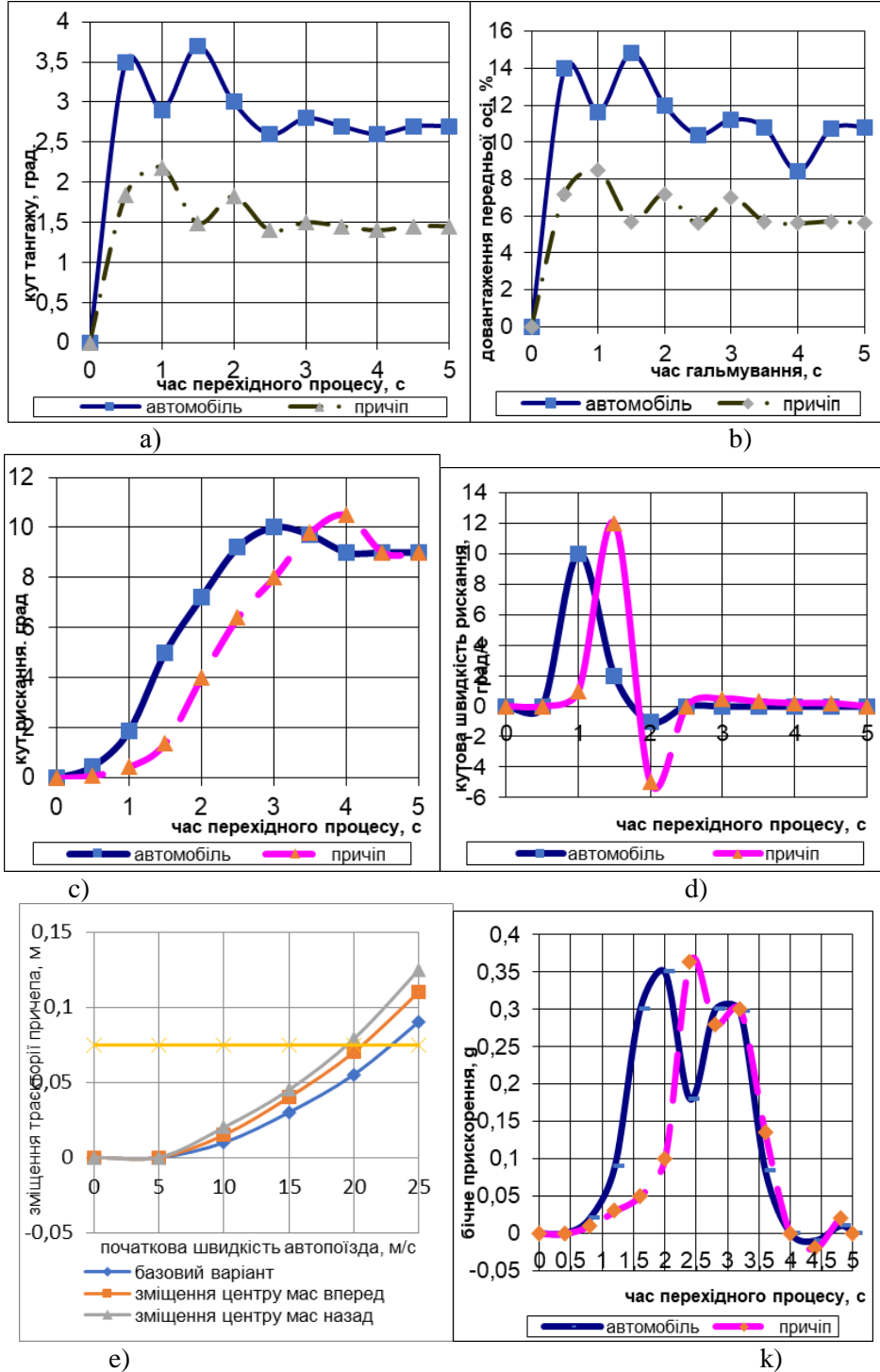


Рисунок 2 – До визначення стійкості руху автопоїзда у гальмівному режимі

## ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Розвиток малого і середнього бізнесу в Україні призвів до збільшення потреби в причепах, що використовуються в зчипці з легковими автомобілями. Це, перш за все, причепи категорій O1 і O2. Характер руху автопоїзда принципово відрізняється від руху одиничного автомобіля. Відмінність можна пояснити наявністю додаткових зусиль, що виникають у шарнірному з'єднанні ланок транспортного засобу, а також сил і моментів, які діють на його окремі ланки та рух транспортного засобу в цілому. Особливо помітним є їх вплив при гальмуванні автопоїзда, яке може супроводжуватися складанням ланок та втратою стійкості транспортного засобу. Аналіз робіт, спрямованих на поліпшення експлуатаційних властивостей автопоїздів у різних режимах руху, дозволив з'ясувати, що здебільшого, при вирішенні поставлених завдань, дослідники опираються на засоби математичного моделювання. При цьому складність математичних моделей залежить від правильного вибору розрахункової схеми та повноти описання всієї множини факторів, які впливають на автопоїзд в реальних умовах експлуатації, точності оцінки та описання силової взаємодії. Аналіз досліджень стійкості руху автомобільних поїздів в гальмівному режимі показав, що узагальнюючим параметром, що характеризує стійкість автопоїзда, можна прийняти початкову швидкість руху  $V_0$ , за якої автомобіль і причіп не виходять за межі ширини смуги руху. На величину цього параметру впливають конструктивні і експлуатаційні параметри автопоїзда і умови його експлуатації. Визначення цього параметра у прямолінійному русі базується на диференціальних рівняннях руху автопоїзда у гальмівному режимі. Інтегрування рівнянь руху виконано для автопоїзда у складі автомобіля Mercedes-Benz T1N "Sprinter" і причепа ПВБФ 15 за різного розташування вантажу в кузові причепа. Встановлено, що стійкість руху автопоїзда за різного розташування вантажу в кузові причепа задовольняє вимогам нормативних документів щодо стійкості руху в процесі гальмування. Максимальні зміщення траєкторії причепа щодо траєкторії автомобіля при допустимій швидкості буксирування причепа не перевищують максимально допустимі.

## ВИСНОВКИ

Визначені показники стійкості автопоїзда у складі автомобіля Mercedes-Benz T1N "Sprinter" і причепа ПВБФ 15 за різного розташування вантажу в кузові причепа. Встановлено, що для базового варіанту початкова швидкість, за якої забезпечується стійкість автопоїзда в процесі гальмування (бокове зміщення причепа не перевищує допустиме значення 0,075 м), складає 23,2 м/с (83,5 км/год). Зміщення центру мас причепа або вперед, або назад призводить до зменшення початкової швидкості гальмування, причому більш небезпечним є зміщення центру мас назад (початкова швидкість гальмування зменшується від 21,2 до 19,5 м/с). Разом з тим, як для номінального розташування центру мас причепа, так і при його зміщенні вперед або назад, за визначеної початкової швидкості гальмування забезпечується стійкість руху автопоїзда (бічне прискорення у центрі мас автомобілі і причепа не перевищує максимально допустиме 0,45g).

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Холоднюк М. Методи аналізу нелінійних математичних моделей / М. Холоднюк, А. Клич, М. Кубічек, М. Марек. – М. : Мир, 1991. – 368 с.
2. Andrejeloski R., Awrejcewicz J. Nonlinear Dynamics of a Wheeled Vehicle. – Springer, 2005.
3. Артемов Н. П., Лебедев А. Т., Подригало М. А. та ін.; за ред. М. А. Подригало. Метод парціальних прискорень та його застосування в динаміці мобільних машин. – Харків : Міськдрук, 2012. – 220 с.
4. Сахно В. П., Тімков О. М. Результати чисельного інтегрування рівнянь руху автопоїзда в нелінійній постановці // Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів. – К. : НТУ, ТАУ, 2003. – № 16. – С. 26–30.
5. Файчук М. І., Поляков В. М., Горпінюк А. В., Тімков О. М. Огляд вимог нормативних документів відносно гальмівних властивостей автопоїздів // Вісник НТУ. – 2009. – № 18. – С. 45–50.
6. Кузнецов Р. М. Покращання показників стійкості триланкових автопоїздів у граничних режимах руху : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.02. – К., 2007. – 176 с.
7. Burton D., Delaney A., Newstead S. et al. Evaluation of Anti-lock Braking Systems Effectiveness. – Royal Automobile Club of Victoria (RACV); Research report. – 2004. – 04/01. – 56 p.
8. Fancher P. Integrating Anti-Lock Braking Systems with the Directional Control Properties of Heavy Trucks. – Anti-Lock Braking Systems for Road Vehicles. – London: IMechE, 1985. – P. 99–109.
9. Kelley Ken. Evaluation ABS in the USA. ABS rule nears. Producers gauge antilock braking systems in terms of safety programs // Concr. Prod. – 1998. – № 7. – P. 28–30.

10. Кашканов А. А., Кашканов В. А., Грисюк О. Г. Математична модель гальмівного шляху автомобіля при екстремому гальмуванні з АБС // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – Луцьк, 2012. – Вип. № 36. – С. 131–136.
11. Подригало М. А. Нове в теорії експлуатаційних властивостей автомобілів і тракторів : монографія. – Харків, 2013. – 220 с.
12. Подригало М. А., Волков В. П., Кірчатий В. І., Бобошко А. А.; за ред. М. А. Подригало. Маневреність і гальмівні властивості колісних машин. – Харків : ХНАДУ, 2003. – 403 с.
13. Олександров Е. Е., Волков В. П., Волонцевич Д. О. та ін.; за ред. Д. О. Волонцевича. Підвищення стійкості та керуваності колісних машин в гальмівних режимах : монографія. – Харків : НТУ «ХП», 2007. – 320 с.
14. Подригало М. А., Волков В. П., Павленко В. А. та ін.; за ред. М. А. Подригало. Устойчивость колесных машин против заноса в процессе торможения и пути ее повышения. – Харків : ХНАДУ, 2006. – 377 с.
15. Подригало М. А., Волков В. М., Бобошко А. А. та ін.; за ред. М. А. Подригало. Динаміка автомобіля. – Харків : ХНАДУ, 2008. – 424 с.
16. Подригало М. А., Коробко А. І. Вплив бортової нерівномірності гальмівних сил на відхилення автомобіля // Автомобільний транспорт. Збірник наукових трудів. – Харків : ХНАДУ, 2009. – № 24. – С. 33–36.
17. Подригало М. А., Волков В. П., Павленко В. А. та ін.; за ред. М. А. Подригало. Устойчивость колесных машин против заноса в процессе торможения и пути ее повышения. – Харків : ХНАДУ, 2006. – 377 с.
18. Подригало М. А., Назаров В. І. Вплив гальмівних моментів на величину динамічних вертикальних реакцій дороги на осях автомобіля [Текст] // Автомобільна промисловість : Науково-технічний журнал. – 2011. – № 8. – С. 23–25.
19. Файчук М. І., Поляков В. М., Горпінюк А. В., Тімков О. М. Огляд вимог нормативних документів відносно гальмівних властивостей автопоїздів // Вісник НТУ. – 2009. – № 18. – С. 45–50.
20. Ребедаїло В. М., Кашканов В. А. Аналіз відповідності вітчизняних вимог до міжнародних щодо гальмових властивостей автомобілів // Матеріали VI міжнародної науково-технічної конференції «Автомобільний транспорт, Проблеми і перспективи». – Севастополь, СевНТУ. – 2003. – С. 18-21.
21. Кравчук П. М., Нілов Р. Ю., Бабін Ю. В. Нормування гальмівних властивостей колісних транспортних засобів в Україні // Науково-виробничий журнал Автомобільний транспорт: У реаліях міжнародного права. – 2014. – № 2(238). – С. 8-10.
22. Поляков В. М., Приходченко Д. Ю., Шарай С. М. Вплив експлуатаційних факторів на стійкість руху триланкового автопоїзда при гальмуванні // Вісник СевНТУ : зб. наук. пр.. – Севастополь : Вид-во СевНТУ, 2011. – Вип. 121. – С. 61-64.
23. Сахно В. П., Тімков О. М., Гуменюк П. О., Файчук М. І. До визначення показників стійкості автопоїзда // Вісник Національного транспортного університету. – К. : НТУ. – 2013. – Вип. 27. – С. 31-39.
24. Save fuel, tires and much more with the correct axle and wheel alignment [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : [http://www.josam.se/wp-content/uploads/2014/04/fueltires\\_gb.pdf](http://www.josam.se/wp-content/uploads/2014/04/fueltires_gb.pdf). – Назва з екрана.
25. Heavy Truck Axle Alignment Evolution – From the Truck Manufacturer to the User [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : <http://papers.sae.org/933046>. – Назва з екрана.
26. Сахно В. П., Поляков В. М., Шарай С. М., Босенко В. М. Прикладна теорія руху автопоїзда. – К. : НТУ, 2016.
27. Правила дорожнього руху [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://vodiy.ua/pdr/12/>.

#### REFERENCES

1. Holodniuk, M., Klych, A., Kubycheck, M., & Marek, M. (1991). *Metody analiza nelineinykh matematicheskikh modelei* [Methods of analysis of nonlinear mathematical models]. Moskva: Mir.
2. Andrejeloski, R., & Awrejcewicz, J. (2005). *Nonlinear dynamics of a wheeled vehicle*. Springer.
3. Artemov, N. P., Lebedev, A. T., Podrigalo, M. A., et al. (Eds.). (2012). *Metod parcialnykh uskorenii i ego prilozheniia v dinamike mobilnykh mashin* [The method of partial accelerations and its applications in the dynamics of mobile machines]. Kharkiv: Mis'kdruk.
4. Sakhno, V. P., & Timkov, O. M. (2003). Rezul'taty chyselnoho intehratsii rivnian ruhu avtopoizda v nelineinii postanovtsi [Results of numerical integration of the equations of motion of a road train in a nonlinear setting]. *Systemni metody keruvannia, tekhnolohiia ta orhanizatsiia vyrobnytstva, remontu i ekspluatatsii avtomobiliv*, 16, 26-30.
5. Faichuk, M. I., Poliakov, V. M., Horpiniuk, A. V., & Timkov, O. M. (2009). Ohliad vymoh normatyvnykh dokumentiv vidnosno hal'mivnykh vlastyvostei avtopoizdiv [Review of regulatory documents regarding the braking properties of road trains]. *Visnyk NTU*, 18, 45–50.

6. Kuznetsov, R. M. (2007). *Pokrashchannia pokaznykiv stikosti trylankovykh avtopoizdiv u hranichnykh rezhymakh ruhu* [Improvement of stability indicators of three-link road trains in extreme modes of movement] (Candidate of Technical Sciences). Kyiv.
7. Burton, D., Delaney, A., Newstead, S., et al. (2004). *Evaluation of anti-lock braking systems effectiveness*. Royal Automobile Club of Victoria (RACV); Research report, 04/01, 56.
8. Fancher, P. (1985). Integrating anti-lock braking systems with the directional control properties of heavy trucks. In *Anti-Lock Braking Systems for Road Vehicles* (pp. 99-109). London: IMechE.
9. Kelley, K. (1998). Evaluation ABS in the USA. ABS rule nears. Producers gauge antilock braking systems in terms of safety programs. *Concr. Prod.*, 7, 28-30.
10. Kashkanov, A. A., Kashkanov, V. A., & Hrysiuk, O. H. (2012). Matematychna model hal'mivnoho shliakhu avtomobilia pry ekstremomu hal'muvanni z ABS [Mathematical model of the braking path of a car during emergency braking with ABS]. *Mizhvuzivskyi zbirnyk "Naukovi notatky"*, 36, 131-136.
11. Podrigalo, M. A. (2013). *Novoe v teorii ekspluatatsionnykh svoistv avtomobiley i traktorov* [New in the theory of operational properties of cars and tractors]. Kharkiv.
12. Podrigalo, M. A., Volkov, V. P., Kirchaty, V. I., & Boboshko, A. A. (Eds.). (2003). *Manevrennost' i tormoznye svoistva kolesnykh mashin* [Maneuverability and braking properties of wheeled machines]. Kharkiv: Izd-vo KHADU.
13. Aleksandrov, E. E., Volkov, V. P., Volontsevich, D. O., et al. (Eds.). (2007). *Povyshenie ustoichivosti i upravliaemosti kolesnykh mashin v tormoznykh rezhimakh* [Improving stability and manageability of wheeled machines in braking modes]. Kharkiv: NTU "KhPI".
14. Podrigalo, M. A., Volkov, V. P., Pavlenko, V. A., et al. (Eds.). (2006). *Ustoichivost' kolesnykh mashin protiv zanosa v protsesse tormozheniia i puti ee povysheniia* [Stability of wheeled vehicles against skidding during braking and ways to improve it]. Kharkiv: Izd-vo KHADU.
15. Podrigalo, M. A., Volkov, V. M., Boboshko, A. A., et al. (Eds.). (2008). *Dinamika avtomobilia* [Dynamics of the car]. Kharkiv: Izd-vo KHADU.
16. Podrigalo, M. A., & Korobko, A. I. (2009). Vplyv bortovoi nerivnomirnosti hal'mivnykh syl na vidkhyleniia avtomobilia [The effect of the lateral unevenness of braking forces on the deviation of the car]. *Avtomobil'nyi transport. Sbornik nauchnykh trudov*, 24, 33-36.
17. Podrigalo, M. A., Volkov, V. P., Pavlenko, V. A., et al. (Eds.). (2006). *Ustoichivost' kolesnykh mashin protiv zanosa v protsesse tormozheniia i puti ee povysheniia* [Stability of wheeled vehicles against skidding during braking and ways to improve it]. Kharkiv: Izd-vo KHADU.
18. Podrigalo, M. A., & Nazarov, V. I. (2011). Vliianie tormoznykh momentov na velichinu dinamicheskikh vertikal'nykh reaktsii dorogi na osiakh avtomobilia [The influence of braking moments on the magnitude of dynamic vertical reactions of the road on the axles of the car]. *Avtomobil'naiia promyshlennost'* [Automotive Industry], 8, 23-25.
19. Faichuk, M. I., Poliakov, V. M., Horpiniuk, A. V., & Timkov, O. M. (2009). Ohliad vymoh normatyvnykh dokumentiv vidnosno hal'mivnykh vlastyvostei avtopoizdiv [Review of regulatory documents regarding the braking properties of road trains]. *Visnyk NTU*, 18, 45-50.
20. Rebidailo, V. M., & Kashkanov, V. A. (2003). Analitychnyi oglyad vymog do hal'mivnykh vlastyvostei avtomobiliv [Analytical review of the requirements for the braking properties of cars]. *Materialy VI mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Avtomobil'nyi transport, Problemy i perspektyvy"*, Sevastopol: SevNTU, 18-21.
21. Kravchuk, P. M., Nilov, R. Yu., & Babin, Yu. V. (2014). Normuvannia hal'mivnykh vlastyvostei kolesnykh transportnykh zasobiv v Ukraini [Regulation of braking properties of wheeled vehicles in Ukraine]. *Naukovo-vyrobnychiy zhurnal Avtomobil'nyi transport: U realiakh mizhnarodnoho prava*, 2(238), 8-10.
22. Poliakov, V. M., Prykhodchenko, D. Yu., & Sharai, S. M. (2011). Vplyv ekspluatatsiinykh faktoriv na stikist' ruhu trylankovoho avtopoizda pry hal'muvanni [Influence of operational factors on the stability of a three-link road train during braking]. *Visnyk SevNTU*, 121, 61-64.
23. Sakhno, V. P., Timkov, O. M., Humeniuk, P. O., & Faichuk, M. I. (2013). Do vyznachenniia pokaznykiv stikosti avtopoizda [Towards determining the indicators of stability of the road train]. *Visnyk Natsional'noho transportnoho universytetu*, 27, 31-39.
24. Save fuel, tires and much more with the correct axle and wheel alignment. Retrieved from [http://www.josam.se/wp-content/uploads/2014/04/fueltires\\_gb.pdf](http://www.josam.se/wp-content/uploads/2014/04/fueltires_gb.pdf)
25. Heavy Truck Axle Alignment Evolution – From the Truck Manufacturer to the User. Retrieved from <http://papers.sae.org/933046>
26. Sakhno, V. P., Poliakov, V. M., Sharai, S. M., & Bosenko, V. M. (2016). *Prikladna teoriia ruhu avtopoizda* [Applied theory of the movement of a road train]. Kyiv: NTU.
27. Pravyla dorozhnoho ruhu [Traffic Rules]. Retrieved from <https://vodiy.ua/pdr/12/>



**V. Sakhno, I. Murovaniy, V. Onyshchuk, S. Stelmashchuk, V., M. Vintsjuk Towards determining the stability of movement of a vehicle with a category O2 trailer in braking mode.**

The article analyzes the stability of a road train comprising a Mercedes-Benz T1N “Sprinter” and a PVBF 15 trailer, with different cargo placement scenarios within the trailer's body. The study focuses on the impact of cargo placement on the stability indices of the road train during braking. The critical criterion for assessing stability is the initial speed of movement, at which the road train remains within the confines of a designated traffic lane.

According to the research results, the stability of the road train with the base cargo placement is achieved at an initial speed of 23.2 m/s (83.5 km/h), with the lateral displacement of the trailer not exceeding 0.075 meters. However, changing the cargo position, either by moving the center of mass forward or backward, affects the safe braking speed. Notably, moving the center of mass backward is particularly risky, reducing the speed from 21.2 m/s to 19.5 m/s.

An important aspect of the study is the determination that regardless of the cargo placement method, the stability of the road train is ensured if the lateral acceleration at the center of mass of the car and trailer does not exceed 0.45g. This highlights the importance of responsible cargo distribution during transportation and the need to consider this factor to maintain road safety.

Based on the data obtained, optimal parameters can be determined to ensure maximum safety and stability of the road train. The developed recommendations could assist in the design and operation of road trains with trailers, contributing to enhanced overall road safety.

The research emphasizes the importance of understanding the complexity of interactions in systems with multiple connected elements, which are crucial for ensuring the safety and efficiency of vehicles under real operating conditions.

**Keywords:** stability of movement, road train, braking, mathematical modeling, category O2 trailer, differential equations, operational characteristics, road safety, coupling, road train dynamics.

*САХНО Володимир Прохорович*, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобілів, Національний транспортний університет, Київ, Україна, e-mail: [sakhno@ntu.edu.ua](mailto:sakhno@ntu.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0002-5144-7131>

*МУРОВАНІЙ Ігор Сергійович*, кандидат технічних наук, доцент, декан факультету транспорту та механічної інженерії Луцького національного технічного університету, e-mail: [igor\\_lntu@ukr.net](mailto:igor_lntu@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-9749-980X>

*ОНИЩУК Василь Петрович*, кандидат технічних наук, завідувач кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: [Vasyl.Onyshchuk@lutsk-ntu.com.ua](mailto:Vasyl.Onyshchuk@lutsk-ntu.com.ua), <https://orcid.org/0000-0002-5316-408X>

*СТЕЛЬМАЩУК Станіслав Валерійович*, аспірант другого року навчання кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, [stanislav0077@ukr.net](mailto:stanislav0077@ukr.net), <https://orcid.org/0009-0009-6981-1040>

*ВІНЦЮК Максим Ярославович*, аспірант першого року навчання кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, [aspirant\\_vintsjuka@lntu.edu.ua](mailto:aspirant_vintsjuka@lntu.edu.ua), <https://orcid.org/0009-0006-6932-5518>

*Volodymyr SAKHNO*, Doctor of Technical Science, Professor, Head of Automobiles Department, National Transport University, Kyiv, Ukraine, e-mail: [sakhno@ntu.edu.ua](mailto:sakhno@ntu.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0002-5144-7131>

*Igor MUROVANYI*, PhD. in Engineering, Assoc. Professor, Dean of the Faculty of Transport and Mechanical Engineering, Lutsk National Technical University, e-mail: [igor\\_lntu@ukr.net](mailto:igor_lntu@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0002-9749-980X>

*Vasyl ONYSHCHUK*, PhD in Engineering, head of Automobiles and Transport Technologies department, Lutsk National Technical University e-mail: [Vasyl.Onyshchuk@lutsk-ntu.com.ua](mailto:Vasyl.Onyshchuk@lutsk-ntu.com.ua), <https://orcid.org/0000-0002-5316-408X>

*Stanislav STELMASHCHUK*, second-year postgraduate student at the Department of Automobiles and Transport Technologies, Lutsk National Technical University. [stanislav0077@ukr.net](mailto:stanislav0077@ukr.net), <https://orcid.org/0009-0009-6981-1040>

*Maksym VINTSIUK*, first-year postgraduate student at the Department of Automobiles and Transport Technologies, Lutsk National Technical University. [aspirant\\_vintsjuka@lntu.edu.ua](mailto:aspirant_vintsjuka@lntu.edu.ua), <https://orcid.org/0009-0006-6932-5518>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1372



Слатов І.М.

*Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна*

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПАЛИВНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПАСАЖИРСЬКИХ АВТОБУСІВ КАТЕГОРІЇ М3 ЗА ДОПОМОГОЮ ПНЕВМАТИЧНОЇ ПІДВІСКИ

У статті розглянуто важливу роль пасажирських автобусів категорії М3 у сучасному громадському транспорті та виклики, що пов'язані з їх ефективним управлінням та експлуатацією. В умовах зростання значення оптимізації витрат палива та контролю навантаження автобусів, важливо розглядати перспективи використання експлуатаційних даних з пневматичної підвіски для обчислення робочого навантаження на маршруті в умовах міської агломерації. Це дозволяє отримувати точні та надійні дані у режимі реального часу для математичної моделі, що розраховує норму витрати пального.

Дослідження включає опис та порівняння класичного методу обліку пасажиропотоку з новим підходом, який використовує дані з пневматичної підвіски. Використання пневматичної підвіски для отримання повних та достовірних даних про робоче навантаження автобуса може покращити точність розрахунків паливної витрати за допомогою математичного моделювання.

Одним з ключових аспектів є необхідність визначення робочого навантаження транспортного засобу, оскільки воно має прямий та вагомий вплив на ефективність його роботи і витрату пального.

У статті наведені аспекти реалізації методу обліку навантаження за допомогою пневматичної підвіски автобуса. Також описані додаткові переваги цього методу які можливо використати у математичному моделюванні з метою підвищення точності розрахунку норми витрати пального.

**Ключові слова:** Паливна економічність, математичне моделювання, оптимізація витрат, норми витрат палива, пасажирські перевезення, транспортні засоби категорії М3, пневматична підвіска, облік пасажиропотоку, експлуатація транспортних засобів.

### ВСТУП

У сучасному світі транспортні засоби категорії М3 (надалі – пасажирські автобуси) відіграють ключову роль у громадському транспорті, забезпечуючи міські та міжміські перевезення тисяч пасажирів щодня. З плином часу зростає значення ефективного управління та експлуатації цих автобусів, щоб забезпечити безперебійний рух і задовольнити потреби пасажирів. В сучасних умовах виникають нові виклики, пов'язані з оптимізацією витрат палива та ресурсів, а також потребою зниження викидів. Одним із ключових аспектів є належний контроль над завантаженістю автобусів, який безпосередньо впливає на розрахунок паливної витрати та загальну ефективність перевезень.

Предметом даного дослідження є аналіз перспективності використання експлуатаційних даних з пневматичної підвіски для обчислення робочого навантаження транспортних засобів категорії М3 у міській агломерації за встановленими маршрутами. При цьому увага приділяється можливості позитивного впливу на точність обчислень паливної витрати та зменшення витрат часу, фінансів та людських ресурсів порівняно із класичним методом обліку пасажиропотоку.

Передумовою для розгляду можливості використання пневматичної підвіски для обліку навантаження на маршруті стає поява у містах автобусів з більшою пасажиромісткістю, до 100 та більше місць, що значно підвищує вплив фактору завантаженості на точність розрахунку норми витрати палива. Зокрема, відзначається, що сучасні автобуси майже усі оснащені пневматичною підвіскою, яка дозволяє вирішувати питання діагностики та контролю за нею. На сучасному ринку комерційних послуг надається можливість встановлення бортових систем зважування, які опираються на функціонування пневматичної підвіски. [1]

У світлі постійних змін у галузі громадського транспорту та необхідності вдосконалення його функціонування, цей дослід є актуальним. Він може бути корисним для операторів автобусних перевезень, місцевих органів влади та дослідницьких установ, які працюють у сфері транспортної логістики та експлуатації автобусів.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Згідно з наказом Міністерства інфраструктури України [2], встановлені базові норми витрати палива для дорожньо-транспортних засобів. Однак більшість існуючих моделей автомобілів не включена до цього документу. У зв'язку з цим виникає потреба у використанні альтернативних методів визначення норм витрати палива для транспортних засобів. Пропонується розраховувати значення базової норми витрати палива за допомогою математичних моделей, які базуються на технічних характеристиках автомобіля, доступних з відкритих джерел.

Науковці, такі як Чудаков Є.А., Говорущенко М.Я., Маяк Н.М., Зимелев Г.В., Висоцький М.С., Сахно В.П., Токарев А.А., Фаробін Я.Є., Великанов Д.П., Фалькевич В.С. та інші, займалися розробкою детермінованих методів оцінки паливної економічності автомобілів на дорозі, що враховували конструкцію та умови експлуатації транспортних засобів. На основі робіт зазначених науковців до цього час проводяться дослідження в галузі паливної економічності.

У роботі [3] наведено результати математичного моделювання руху пасажирського автобусу за заданим маршрутом. Модель, що застосовується у цій роботі, здатна охоплювати не лише технічні параметри роботи транспортного засобу, а й додавати до обчислень параметри навколишнього середовища в експлуатаційній зоні. Додатковою складовою цієї моделі є можливість відслідковувати технічний стан ТЗ за зміною його паливної витрати використовуючи контрольні карти Шухарта.

У літературі [4;5] наведені приклади, що охоплюють різні підходи до математичного моделювання, включаючи мікроскопічне, аналітичне, емпіричне та змінне моделювання, які використовуються для розрахунку споживання палива автомобільними транспортними засобами.

Одним із об'єднуючих факторів для цих моделей є необхідність визначення робочого навантаження транспортного засобу. [3] Зі збільшенням навантаження відбуваються ряд процесів, які мають значний вплив, наприклад, збільшення площі контакту автомобільної шини з дорожнім покриттям призводить до збільшення опору і, відповідно, збільшення витрат пального. Крім того, зі збільшенням навантаження автомобільна шина витрачає більше енергії на пружну деформацію, що також сприяє збільшенню споживання палива. [6]

Ці процеси наочно демонструють важливість розрахунку навантаження транспортного засобу, оскільки вони безпосередньо впливають на ефективність його роботи та витрату пального.

На зображенні 1.1 зображено вплив різних чинників на витрату палива. Звертає на себе увагу те, що найбільший внесок у загальну витрату палива становить опір коченню коліс, який складає 42,2% [7], і саме цей аспект є ключовим для нашого дослідження.

Враховуючи тенденції до збільшення пасажиромісткості автобусів громадського транспорту параметр навантаження набуває більшої ролі у моделюванні паливної витрати. З цього і постає проблематика, яка стала рушієм до вивчення перспективи використання пневматичної підвіски автобуса для моніторингу його завантаженості.

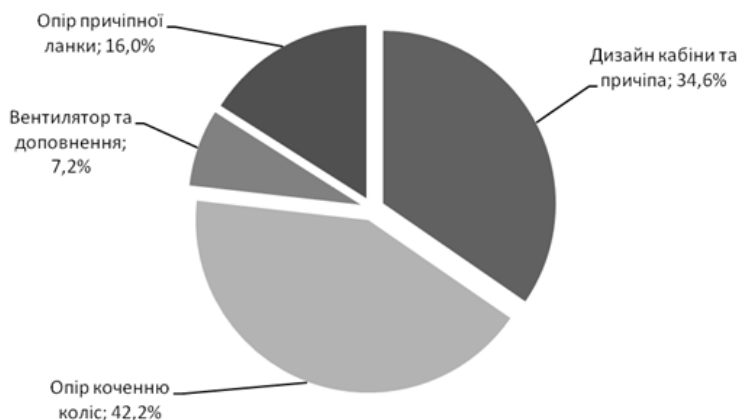


Рисунок 1 Вплив на паливну економічність різних факторів [7]

У стосунку до пасажирських автобусів, зазвичай, використовується метод обстеження пасажиропотоку, що дозволяє розробити схему завантаженості на різних ділянках маршруту та розділити операційні зони за параметром навантаження для підвищення точності математичної моделі. Альтернативною методикою, яка застосовується у літературі [3] є розрахунок завантаженості автобусу базуючись на його повній масі. Розрахунок проводиться із припущень про найбільш ймовірне завантаження на маршруті пасажирями та перемножується на прийняту середньостатистичну вагу одного пасажиря – 68 кг. [8] Цей метод є найменш затратним, проте він допускає накопичування статистичної похибки у випадку, коли застосування моделі для обчислення паливної витрати застосовується як інструмент діагностики автобуса за критерієм зміни його фактичної витрати палива відносно розрахункової. Проте ця проблема вирішується за допомогою методу обліку пасажиропотоку який дозволяє коригувати дані для використання у моделі розрахунку витрати пального.

Отже на основі вище викладеного матеріалу ми можемо описати проблему:

**Проблема** – чи є можливість отримувати постійне та повне відслідковування даних у режимі реального часу про завантаженість автобуса на ділянках маршруту з метою своєчасного коригування вихідних параметрів математичної моделі для розрахунку норми витрати палива.

### **ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Метою дослідження є визначення можливості та доцільності використання експлуатаційних даних пневматичної підвіски для контролю за завантаженістю автобуса під час його роботи.

Завданням є порівняння усталеного класичного методу обліку пасажиропотоку із запропонованим методом використання пневматичної підвіски з метою отримання даних про робоче навантаження автобуса.

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Облік пасажиропотоку - це процес збирання, аналізу та оцінки даних про кількість пасажирів, які користуються транспортним засобом (наприклад, автобусом, трамваєм, метро тощо) протягом певного періоду часу на певному маршруті або в певній географічній області. Цей процес може включати вимірювання пасажиропотоку за допомогою різних методів, таких як підрахунок пасажирів на зупинках, використання електронних систем обліку, опитування або спостереження. Облік пасажиропотоку є важливою складовою для планування та оптимізації маршрутів та розкладів громадського транспорту, а також для визначення рівня обслуговування пасажирів та встановлення тарифів. Додатково цей процес надає відомості про завантаженість ТЗ, що в подальшому можна визначити як параметр ваги, що перевозиться.[9]

За розповсюдженим сценарієм люди виступають у ролі обсерваторів для збору даних про пасажиропотік. Цей підхід полягає в тому, що спеціально навчені обсерватори перебувають на транспортному засобі (наприклад, автобусі, трамваї або метро) протягом певного часу та реєструють кількість пасажирів, їх рух та інші відомості, якщо такі передбачені завданням.

З наукової точки зору, цей метод дозволяє отримати детальні дані про пасажиропотік, враховуючи такі параметри, як час доби, місце та напрямок подорожі, а також загальну завантаженість ТЗ. Це може забезпечити більш високу точність та достовірність отриманих даних, оскільки можна виявити специфічні особливості обстановки та умов проїзду, які можуть впливати на пасажиропотік.

Цей метод також дозволяє врахувати різноманітні сценарії подорожей та взаємодії пасажирів з ТЗ, що може бути корисним для планування та оптимізації маршрутів та розкладів громадського транспорту. Такий підхід може бути особливо ефективним у випадках, коли електронні системи або інші автоматизовані методи збору даних недостатньо ефективні або не можуть бути застосовані з різних причин, таких як обмежена доступність технічних засобів або складні умови дослідження.

Попри це, облік пасажиропотоку не є методом, що може застосовуватись регулярно у коротких термінах через потребу у залученні значної кількості обліковців. Тому, якщо, стоїть завдання отримувати лише дані про завантаженість ТЗ для математичної моделі, з'являється питання доцільності застосовувати такий обширний інструмент як обстеження пасажиропотоку.

Виходячи із цього, автор розглядає наступне питання: чи можна використати пневматичну підвіску для збору даних про завантаженість?

Пневматична підвіска - це система підвіски транспортного засобу, у якій накачуваний повітрям пневмобалон із прогумованого матеріалу виконує функцію пружних елементів [1]. Основним складовим елементом такої підвіски є пневмосистема, що включає компресор, резервуари, клапани, датчики рівня та трубопроводи для подачі повітря до кожного демпфера. Ця система може працювати як самостійна система амортизації або співпрацювати з традиційними системами (ресорною, пружинною, торсійною) на транспортних засобах. Схематично пневматичну підвіску показано на рисунку 2

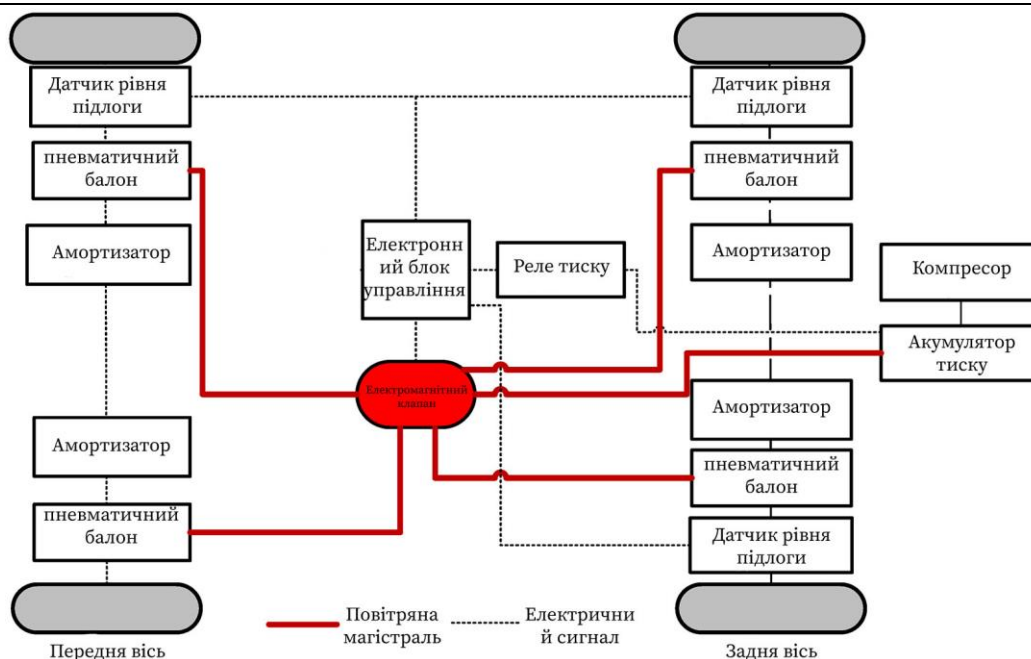


Рисунок 2 – Схема пневматичної підвіски

Теоретично це має сенс, до того ж нам уже відомі випадки де на практиці подібні системи мають використання. Одна із сфер для такого застосування – вантажні перевезення.[1;10] На ринку є в доступі системи, що працюють разом із пневматичною підвіскою вантажівок. Такі системи можна знайти за запитом «Бортові системи зважування».

Бортова система зважування – це спеціалізоване обладнання, встановлене на вантажних автомобілях, яке призначене для вимірювання навантаження на кожну вісь, причіп, а також загальної ваги автомобіля. [1;10]

Принцип дії бортової системи зважування полягає в тому, що вона використовує дані від датчиків, що фіксують зміни в підвісці транспортного засобу. Ці дані калібрують систему зважування та дозволяють вимірювати навантаження на осі автомобіля. Інформація про навантаження виводиться на індикатор у кабіні водія або на мобільний пристрій через спеціальний додаток. [1;10]

Її переваги:

- 1.Точність вимірювань: система надає значення навантаження з точністю від 1 до 3% від загальної маси автомобіля;
- 2.Потік актуальних даних: система здатна працювати безперебійно протягом тривалого терміну експлуатації, що може забезпечити постійне надходження даних для коригування моделі витрат пального;
- 3.Спрощення контролю: інформація про навантаження може бути легко доступною на індикаторі або мобільному пристрої;
- 4.Ефективне управління: дані про навантаження можуть зберігатися для подальшого аналізу та обробки;
- 5.Сумісність з GPS: система може бути інтегрована з системами GPS-моніторингу для стеження за транспортними засобами та вантажами.

У використанні бортових систем зважування на пасажирських автобусах виникають ряд технічних та функціональних складнощів, які варто розглянути. Перш за все, ці системи пристосовані для стабільних умов навантаження, що відрізняється від динамічного характеру завантаження пасажирського автобуса. Особливості конструкції кузова автобуса, такі як передня та задня платформи на значній відстані від осі, а також системи підтримки кузова, ускладнюють точне вимірювання навантаження. У свою чергу, ці обмеження вимагають розробки складних алгоритмів обчислення та визначення точок маршруту, де можливе якісне вимірювання.

Важливо, щоб під час вимірювання автобус перебував на рівній площині та залишався нерухомим, або підтримував прямолінійний рух з сталою швидкістю на рівній поверхні, також процес посадки та висадки пасажирів, коли кузов автобуса змушений опускати праву сторону та піднімати ліву, теж не можна використовувати для зняття точних даних. Без відповідного врахування



цих факторів система не зможе надати достатньо точних даних про завантаження автобуса, що може негативно вплинути на точність розрахунків паливної витрати в подальшому при розрахунку математичної моделі.

У випадку, коли ці вимоги не дотримані, система не зможе із достатньою точністю надавати дані про завантаження автобуса, що в свою чергу знизить, в подальшому, точність розрахунку паливної витрати за математичною моделлю.

Найважчі і додаткові складнощі у використанні цього підходу, а саме питання про використання програмного забезпечення та датчиків. Оскільки пасажирські автобуси є продуктом комерційного ринку, вони використовують своє програмне забезпечення для роботи із внутрішньою електронікою. Подібне ПЗ не можна знайти у відкритому доступі, що може ускладнити здійснення запропонованого методу. Також не усі автобуси, які присутні на ринку перевезень, оснащені штатними датчиками тиску.

З цих причин існує розповсюджений варіант – модернізація ТЗ. Комерційні послуги по встановленню бортової системи зважування пропонують встановлювати власні датчики тиску в повітряні магістралі, та застосовують власне ПЗ яке працює з цими датчиками. У такому варіанті можливе застосування смартфона на базі ОС Android в якості бортового комп'ютера. Пропозиції, по оснащенню ТЗ, вимагають суттєвих витрат капіталу обумовлених вартістю датчиків, ПЗ та послуг із встановлення апаратури на ТЗ з подальшим її калібруванням.

### **ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Серед двох розглянутих методів, явним лідером є метод обліку пасажиропотоку. Проте варто зауважити, що цей метод складається з об'ємних модулів його реалізації, таких як планування дослідження, організація дослідження, залучення людей в оптимальній кількості, а потім аналіз отриманих даних. Для створення повної карти завантаження автобуса по його робочому маршруту також потрібно враховувати фактори, які впливають на зміну пасажиропотоку за межами факторів добового циклу, а саме: сезонні зміни пасажиропотоку, зміни внаслідок погодних умов, та зміни, пов'язані зі святами. Це змушує планувати цикл дослідження, яке здатне охопити експлуатаційний рік, та мати змогу оперативно реагувати на зміну погодних умов для охоплення змін пасажиропотоку.

У випадку проведення такого широкомасштабного дослідження є змога отримати повні карти робочого навантаження автобуса за ділянками усталених маршрутів залежно від експлуатаційних умов, що може позитивно відобразитись на результаті обрахунку паливної витрати. З іншого боку, використання методу отримання експлуатаційних даних з пневматичної підвіски автобуса може забезпечити постійний моніторинг змін у навантаженні. Це також є реалізацією задуму про постійний моніторинг змін, що дозволяє оперативно коригувати модель розрахунку витрати пального та своєчасно відслідковувати зміни у технічному стані автобуса з метою підтримки автобуса у справному стані. Ще однією перевагою цього методу є можливість ввести в розрахунок додатковий параметр - коефіцієнт нерівності дорожнього покриття, що як додаткова змінна під час розрахунку може підвищити точність моделі. [11]

З наукової точки зору, достоїнством такого методу є перспектива розраховувати навантаження на осі і на основі цього проводити дослідницьку діяльність над задачами зміни площі контакту шини з дорожнім покриттям в різних варіантах завантаження автобуса. Таким чином відкривається змога працювати з шинами з метою підбору оптимальних їх варіантів за експлуатаційними показниками в залежності від типового характеру завантаження автобуса по осях.

### **ВИСНОВКИ**

Встановлення системи зважування на автобусі, яка ґрунтується на пневматичній підвісці, можливе. Якщо вирішити технічні питання, викладені у статті, ця система забезпечить регулярний, стабільний та дистанційний потік даних про завантаження транспортного засобу, які можна використовувати для розрахунків паливної витрати за математичною моделлю. При цьому не буде потрібно залучати людські ресурси для обліку пасажиропотоку. Однак, вартість розробки, або придбання такої системи породжує сумніви щодо її економічної вигоди порівняно з методом обліку пасажиропотоку, який є вже звичним і ефективним.

Класичний метод обліку пасажиропотоку є досить надійним і ефективним з значно меншими витратами капіталу, який дозволяє отримувати достатньо повну інформацію. Враховуючи швидкий розвиток систем обліку пасажиропотоку на основі медіаданих від камер в салоні, доцільність впровадження бортової системи зважування за допомогою пневматичної підвіски залишається під питанням. Таким чином, на цей час класичний метод обліку пасажиропотоку залишається провідним у забезпеченні даних про завантаженість автобуса. Однак з точки зору дослідницької діяльності



використання пневматичної підвіски з метою обліку завантаженості автобусу виглядає цікавим та перспективним.

### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бортова система зважування автомобіля - Купити бортові ваги на вантажівку - vis.ua. Ваговимірювальні системи – ваги від виробника, м. Дніпро. URL: <https://vis.ua/product/sistemy-bortovogo-vzveshivaniya-avtomobilya/> (дата звернення: 01.05.2024).
2. Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті. – 3-я ред., доп. та переробл. / Нормативний документ, затверджений Міністерством інфраструктури України 07.10.2011. – Київ: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2012. – 120 с.
3. Савостін-Косяк Д. О. Оцінка технічного стану міських автобусів за показником витрати палива. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту». – Національний транспортний університет, Київ, 2019.
4. Mohd Khairi, D., Abas, M. A., Muhamad Said, M. F., & Wan Saiful-Islam Wan Salim. (2021). Fuel consumption mathematical models for road vehicle – A review. Progress in Energy and Environment, 16, 59–71. Retrieved from <https://www.akademiabaru.com/submit/index.php/progee/article/view/3392>
5. Колодницька, Р. В. (2023). Моделювання витрати палива альтернативних дизельних палив для автомобільного транспорту . Технічна інженерія, (1(91), 3–9. [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-3-9](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-3-9)
6. Ісак О. С., Ларін О. О. Визначення характеристик жорсткості пневматичних шин методами комп'ютерного тривимірного моделювання. Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування : збірник наукових праць. 2015. №3 (75) С. 95–103. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/17258>
7. Файчук Микола Іванович. Стійкість сидельних автопоїздів з урахуванням кутів встановлення осей напівпричепа. – дис...канд. техн. наук : 05.22.02. Київ, 2013. – 200 с.
8. Про затвердження Порядку затвердження конструкції транспортних засобів, їх частин та обладнання та Порядку ведення реєстру сертифікатів типу транспортних засобів та обладнання і виданих виробниками сертифікатів відповідності транспортних засобів або обладнання : Наказ М-ва інфраструктури України від 17.08.2012 р. № 521 : станом на 8 верес. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1586-12#Text> (дата звернення: 20.04.2024).
9. Організація автомобільних перевезень: навчальний посібник / Кашканов В.А., Кашканов А. А., Варчук В. В. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 139 с.
10. RappTrans (2013) Study on heavy vehicle on-board weighing, Final report, Basel, December 2013. <http://www.transportenvironment.org/publications/weight-sensors-lorries-effective-affordable-reliable>
11. Слатов І. Підвищення точності визначення норми витрати палива пасажирським автобусом шляхом впровадження вагового контролю на маршруті. Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту : Матеріали XVI-ої Міжнар. науково-практ. конф., м. Вінниця, 23 жовт. 2023 р. Вінниця, 2023. С. 325–328.

### REFERENCES

1. Bortova systema zvažuvannia avtomobilia - Kupyty bortovi vahy na vantazhivku - vis.ua. (undated). Vahovymiriuvalni systemy – vahy vid vyrobnyka, m. Dnipro. <https://vis.ua/product/sistemy-bortovogo-vzveshivaniya-avtomobilya/>
2. Normy vytrat palyva i mastylnykh materialiv na avtomobilnomu transporti. (2012). Kyiv: DP «DerzhavtotransNDIproekt».
3. Savostin-Kosiak, D. O. (2019). Otsinka tekhnichnoho stanu miskykh avtobusiv za pokaznykom vytraty palyva. Kvalifikatsiina naukova pratsia na pravakh rukopysu. Dysertatsiia na zdobuttia naukovooho stupenia kandydata tekhnichnykh nauk za spetsialnistiu 05.22.20 «Ekspluatatsiia ta remont zasobiv transportu». Natsionalnyi transportnyi universytet, Kyiv.
4. Mohd Khairi, D., Abas, M. A., Muhamad Said, M. F., & Wan Saiful-Islam Wan Salim. (2021). Fuel consumption mathematical models for road vehicle – A review. Progress in Energy and Environment, 16, 59–71. Retrieved from <https://www.akademiabaru.com/submit/index.php/progee/article/view/3392>
5. Kolodnytska, R. V. (2023). Modeliuvannia vytraty palyva alternatyvnykh dyzelynykh palyv dlia avtomobilnoho transportu . Tekhnichna inzheneriia, (1(91), 3–9. [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-3-9](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-3-9)

6. Isak, O. S., & Larin, O. O. (2015). Vyznachennia kharakterystyk zhorstkosti pnevmatychnykh shyn metodamy kompiuternoho tryvymirnogo modeliuvannia. Visnyk NTUU «KPI». Mashynobuduvannia : zbirnyk naukovykh prats., 3(75), 95–103. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/17258>

7. Faichuk, M. I. (2013). Stiikist sidelnykh avtopoizdiv z urakhuvanniam kutiv vstanovlennia osei napivprychepa (Publikatsiia № PA402484) [Dys. kand. tekhn. nauk, Natsionalnyi transportnyi universytet]. Natsionalna biblioteka Ukrainy imeni V. I. Vernadskoho.

8. Pro zatverdzhennia Poriadku zatverdzhennia konstruksii transportnykh zasobiv, yikh chastyn ta obladnannia ta Poriadku vedennia reiestru sertyfikatyv typu transportnykh zasobiv ta obladnannia i vydanykh vyrobnykamy sertyfikatyv vidpovidnosti transportnykh zasobiv abo obladnannia, Nakaz Ministerstva infrastruktury Ukrainy № 521 (2023) (Ukraina). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1586-12#Text>

9. Kashkanov, V. A., Kashkanov, A. A., & Varchuk, V. V. (2017). Orhanizatsiia avtomobilnykh perevezhen: navchalnyi posibnyk. Vinnytsia: VNTU.

10. RappTrans (2013) Study on heavy vehicle on-board weighing, Final report, Basel, December 2013. <http://www.transportenvironment.org/publications/weight-sensors-lorries-effective-affordable-reliable>

11. Slatov, I. (2023). Pidvyshchennia tochnosti vyznachennia normy vytraty palyva pasazhyrskym avtobusom shliakhom vprovadzhennia vahovoho kontroliu na marshruti. U Suchasni tekhnolohii ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu (s. 325–328). VNTU.

### **Slatov I.M., Fuel efficiency optimization of category M3 passenger buses using pneumatic suspension**

The article examines the important role of M3 category passenger buses in modern public transport and the challenges associated with their efficient management and operation. In the context of increasing importance of fuel cost optimization and bus load monitoring, it is crucial to consider the prospects of using operational data from pneumatic suspension to calculate the working load on the route in urban agglomerations. This allows obtaining accurate and reliable real-time data for the mathematical model calculating fuel consumption rates.

The research includes a description and comparison of the conventional passenger flow calculation method with a novel approach utilizing pneumatic suspension data. Employing pneumatic suspension to acquire comprehensive and reliable bus load data can enhance the accuracy of fuel consumption calculations through mathematical modeling.

One of the key aspects is the necessity to determine the working load of the vehicle, as it directly and significantly influences its efficiency and fuel consumption. The article also outlines the implementation aspects of the load calculation method using pneumatic suspension of the bus, along with additional advantages of this method applicable in mathematical modeling to improve the accuracy of fuel consumption rate calculations.

**Keywords:** Fuel efficiency, mathematical modeling, cost optimization, fuel consumption rates, passenger transportation, M3 category vehicles, pneumatic suspension, passenger flow analysis, vehicle operation.

*СЛАТОВ Іван Миколайович*, аспірант II року навчання, Луцький Національний Технічний Університет, Факультет Транспорту та Механічної Інженерії, e-mail: [ivan.slatov97@gmail.com](mailto:ivan.slatov97@gmail.com). <https://orcid.org/0009-0008-0821-5774>

*Ivan SLATOV*, PhD student (second year), Lutsk National Technical University, Faculty of Transport and Mechanical Engineering, e-mail: [ivan.slatov97@gmail.com](mailto:ivan.slatov97@gmail.com). <https://orcid.org/0009-0008-0821-5774>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1373

Стельмах О.У.,<sup>1,2</sup> Костюнік Р.Є.,<sup>1</sup> Шимчук С.П.,<sup>3</sup> Кущев О.В.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup> Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна  
<sup>2</sup> Пекінський технологічний інститут, м. Пекін, Китай  
<sup>3</sup> Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

## РЕНОВАЦІЯ ВІБРОХАРАКТЕРИСТИК МІНІАТЮРНИХ ШАРИКОПІДШИПНИКІВ ПРЕЦИЗІЙНИХ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ АВІАКОСМІЧНОЇ І ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ

В статті наведено детальний аналіз існуючих діагностичних систем та визначені шляхи покращення якості оцінки віброакустичних характеристик при реновації мініатюрних та прецизійних підшипників кочення механічних систем авіакосмічної і військової техніки.

Оскільки сучасні авіакосмічні прецизійні механічні системи чи високоточні пристрої оборонного призначення, що містять рухомі та обертові частини, неможливо уявити без підшипників, які реалізують просторову фіксацію обертових роторів та сприймають основну частину статичних і динамічних зусиль, то підвищення ефективності, надійності і ресурсу, а також забезпечення безвідмовної та безпечної експлуатації цих механізмів тісно пов'язане з необхідністю якісної оцінки їх технічного стану при вхідному та міжремонтному контролі.

Дана робота базується на нових явищах і закономірностях, виявлених авторами, що попередньо експериментально доведено та теоретично обґрунтовано на розробленому та створеному на сучасному рівні обладнанні: трибокавітація, утримання мікро- та наночастинок феромагнітної та іншої природи забруднення магнітними полями, що притаманні деталям шарикопідшипника та ін.

**Ключові слова:** мініатюрні та прецизійні шарикопідшипники, віброакустичні характеристики, трибосистема, момент тертя, час вибігу, мікро- та наночастинок забруднення

### ВСТУП

Особливістю авіаційних шарикопідшипників є їх надзвичайно висока вартість, яка у десятки разів більша за аналогічних за типорозмірами підшипників загального машинобудування. При цьому їх ресурс значно перевищує міжремонтний ресурс авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД), агрегатів та прецизійних механічних систем, до складу котрих вони входять. Тому повна заміна всіх шарикопідшипників, що бракуються за критерієм «сторонні шуми» у ході технічного обслуговування та ремонту – одна з найбільш вагомих статей витрат, що несуть ремонтні та експлуатаційні підприємства та авіакомпанії-перевізники. Збитки, від не оправдано частотої та передчасної заміни авіаційних шарикопідшипників в ході планових ремонтних робіт, оцінюються від 10 до 25% вартості капітального ремонту.

Від таких важливих параметрів, як швидкодія, точність управління і позиціонування, похибка виявлення літальних апаратів та інших об'єктів у просторі, щодо протиповітряної (ППО), комплексів протиракетної (ПРО) оборони, розвідувальних БПЛА та ін., залежить стан обороноздатності держави і запобігання помилок при попередженні диверсій, що приводить до серйозних людських втрат та інфраструктурних збитків. На сьогодні найбільш ефективними є методи неруйнівного контролю, зокрема – акустична та вібро- діагностика.

Високий процент відбракування спеціальних та мініатюрних підшипників визначив пошук причин підвищеного рівня шумів і вібрації зі сторони ремонтних підприємств, а споживачі змушені закупати їх за кордоном – в Японії, Німеччині та ін. Проблему підвищеної вібрації не тільки мініатюрних, але й авіаційних шарикопідшипників намагались вирішити декілька наукових лабораторій та інститутів, у том числі й наша науково-дослідна лабораторія.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Дослідження шляхів покращення якості очищення мініатюрних та прецизійних підшипників від забруднень різного характеру та розміру з метою визначення віброакустичних характеристик прецизійних трибосистем кочення встановили надгостру потребу у якісній оцінці їх поточних експлуатаційних параметрів. На сьогодні відомо багато методів та засобів очищення деталей, вузлів, агрегатів та механічних систем у зборі, які використовуються в тому числі і для забезпечення промислової чистоти підшипників кочення [1...3].

Серед традиційних методів очищення є очищення лужними водними розчинниками [4], різноманітними розчинами та композиціями, котрі дозволяють без розбирання механізму робити очищення деталей та шарикопідшипників в процесі технічного обслуговування [5]. Також відомі методи, що базуються на технології очищення робочих поверхонь вузлів та агрегатів на механічному та гідравлічному впливі на забруднення.

Найбільш поширені та ефективні на сьогодні методи базуються на використанні ультразвукових хвиль [6], котрі в рідині викликають явище кавітації. Але навіть такі високоефективні методи в певних випадках стикаються з труднощами недостатньої якості видалення мікро- та субмікро- забруднень, особливо з тракту кочення мініатюрних шарикопідшипників. Причиною цього є одновекторний характер дії активуючих і руйнуючих забруднення полів і сил, статичність об'єкту очищення та його конструктивні особливості, що сприяє утворенню певних зон затінення робочих поверхонь елементами конструкції. Це призводить до того, що ефективно очистити шарикопідшипники без детального розбирання складно, а при використанні нерозбірних і не можливо.

Існують способи та методи [7...8], що реалізують примусове взаємне переміщення елементів конструкції підшипника при створенні в сталому потоці миючої рідині ультразвукових коливань. Примусове контактне обертання чи переміщення знижує час дії рідини на робочі поверхні, а складний механічний привод може стати джерелом надходження додаткового забруднення. Все це призводить до незначної ефективності таких пристроїв через малий переріз щілин між елементами конструкції майже всіх типів мініатюрних і прецизійних шарикопідшипників та складний профіль порожнин і взаємне перекриття робочих поверхонь через особливості їх конструкції.

Безпосередню невідмінною частинною реновації будь яких підшипників кочення є система ефективного контролю якості, та їх поточного стану, для визначення можливості їх подальшої експлуатації.

Наразі на сьогодні розроблено та створено достатньо багато різноманітних методів та засобів для оцінки технічного стану підшипників кочення та ковзання. Як правило, всі вони базуються на визначенні дефектів і несправностей, що зароджуються в процесі експлуатації, з метою проведення моніторингу їх розвитку та прогнозування планування проведення ремонтних робіт [9]. Безумовним лідером у сфері моніторингу та вібродіагностики шарикопідшипників є компанія SKF Group, Schaeffler Group, ДІАМЕХ-УКРАЇНА, ДПП ТОВ ДІАМЕХ-2000, MOS Group та компанія National Instruments. Випробувально-вимірювальна апаратура вібромоніторингу цих виробників відрізняється між собою за методиками та інформативністю, але має спільний недолік - електромеханічний привод примусового обертання вільного кільця дослідного підшипника, що є додатковим джерелом вібрацій та безпосередньо впливає на достовірність результатів вимірювань параметрів. Особливо при дослідженні мініатюрних і прецизійних шарикопідшипників саме ця похибка вносить значний вклад на коректність визначення їх віброакустичних характеристик. Зокрема, в роботах С. Jackson [10], Т. Yoshioka [11], R.L. Eshleman [12], Е. Yhland [13] та ін., [14], де основний критерій якості шарикопідшипників базується на параметрах віброшвидкості та віброприскорення, виникнення котрих пов'язують з відхиленнями макро- і мікрогеометрії поверхонь кочення, а наявність мікро-, субмікро- і наночастинок феромагнітної та іншої природи, як на поверхнях, так і на змащувальних шарах не враховується.

Використання різноманітних малошумних та гідродинамічних приводів, що входять до складу сучасних приладів віброакустичного маніторингу Anderon Meter (SUGAWARA Laboratories Inc.) і Noise and vibration tester MVH 90 E/EL (SKF Group), та зменшення фонового шуму шляхом фільтрації цифрового сигналу спеціалізованим програмним забезпеченням не дозволяють зробити однозначний висновок про ступінь забрудненості мініатюрного шарикопідшипника. Дані способи призначені для вихідного контролю готових виробів шляхом аналізу вібраційних характеристик та відбракування за показниками крутильного моменту кожного підшипника на сталій швидкості 1800 об/хв.

Проблему усунення зовнішніх механічних перешкод намагаються вирішувати застосуванням вібро- і шумопоглинаючих матеріалів з винесенням назовні головного привода [15], корпусуванням вимірювального вузла та датчиків [16], використанням магнітної підвіски та волоконно-оптичних датчиків [17]. Тому, проблема визначення критерію чистоти змащувальних шарів та поверхонь елементів і деталей мініатюрних шарикопідшипників, що входять до складу відповідальних агрегатів і прецизійних механічних систем в авіаційному та військово-промисловому будівництві, внаслідок своєї складності є та залишається актуальною.

### **ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Метою дослідження є розробка нових високоефективних методів та засобів реновації, як мініатюрних так і прецизійних нерозбірних шарикопідшипників, що дозволить суттєво зменшити експлуатаційні витрати на ремонт авіаційної та військової техніки.

Для реалізації мети необхідно враховувати, що, прецизійні підшипники значно більше за звичайні чутливі до несприятливих умов, таких як: перепади температур, неточності установки та наявність сторонніх мікро- і наночастинок забруднень на робочих поверхнях деталей та доріжках кочення.

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Одним з методів та способів, що дозволяє суттєво підвищити ефективність видалення забруднень з підшипників є запропонований колективом авторів даної статті метод вилучення мікро- та субмікро-



ферромагнітних частинок із контактуючих поверхонь вузлів тертя, в основу якого покладено ідеї збудження та видалення цих частинок з поверхонь шляхом дії на них імпульсних електромагнітних полів в гідродинамічному потоці миючої рідини при забезпеченні примусового безконтактного обертання підшипника кочення [18].

Крім того, практично всі відомі способи очищення засновані на роботі по регламенту. Тобто, процес очищення проводиться певний встановлений виробником час, котрий в кращому випадку враховує типорозмір підшипника. При цьому не враховується ні ступінь забрудненості, ні характер та природа частинок забруднення. В деяких випадках, для контролю, високовартісні підшипники проходять окрему процедуру діагностики, часто в окремих спеціалізованих відділах і лабораторіях, щодо збільшення ресурсу та повернення агрегатів в стрій. На даний момент не відомі сучасні спеціальні системи, стенди або прилади, котрі спроможні проводити діагностику поточного стану підшипника під час його очищення та сигналізувати про завершення процесу видалення забруднень за поточними характеристиками об'єкту очищення, такі критерії та параметри фактично відсутні.

Як правило основними споживчими характеристиками, що характеризують стан підшипників кочення являються:

- шуми;
- вібрація (віброшвидкість та віброприскорення);
- момент тертя;
- час вибігу.

При цьому під час визначення віброакустичних параметрів на сучасних системах «КОМПАКС-РПП», «СП-180», «СКВ-А», «ПРОТОН-СПП», «SKF-04» використовується контактний спосіб механічного приводу обертання внутрішнього кільця дослідного шарикопідшипника, що вносить суттєву похибку в одержувані результати.

Варто відмітити, що значна кількість відомих діагностичних систем не розраховані на випробування підшипників із зовнішнім діаметром менше 100 мм і, як показав літературний та патентний пошук, практично відсутні пристрої, здатні проводити аналіз поточного стану мініатюрних і прецизійних підшипників кочення, з зовнішнім діаметром менше за 30 мм.

#### **ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ**

За результатами детального аналізу відомих методів та діагностичних пристроїв можна зробити висновок, що практично всі вони є порівняльними. Тобто, визначення параметрів досліджуваного підшипника проводиться шляхом порівняння їх з характеристиками такого ж нового, а певні характеризуючі параметри фактично відсутні. Основним напрямком діагностики фактично є виявлення ступеня та характеру пошкодження підшипників і їх механічних дефектів, тоді як наявність забруднення жодна з відомих діагностичних систем не здатна ефективно діагностувати.

Нормативна документація [19] також фактично не регламентує жоден із необхідних параметрів, лише відбувається посилання на технічні умови, що визначає виробник, вказуючи лише діапазони частот та навантаження, на яких потрібно проводити вимірювання. Основними параметрами, які вимірюються виступають вібрація, момент тертя та (в найбільш сучасних системах) – спектри шумів. Кожна система зазвичай вимірює один або максимум декілька параметри.

При цьому практично не приділяється увага такому важливому параметру як час вільного вибігу, коли вимірюється час до повної зупинки підшипника, розігнаного до певної частоти обертання під дією зовнішнього навантаження. Аналіз віброакустичних характеристик при цьому може надати важливу інформацію стосовно стану об'єкту дослідження, особливо, щодо присутності і кількості мікро- та субмікро- забруднень.

У попередніх науково-дослідних роботах розроблено та створено дослідний зразок системи контролю, що одночасно дозволяє вимірювати окрім віброакустичних параметрів такі як момент тертя та час вільного вибігу підшипників кочення, розмір яких суттєво перевищує 30 мм. Нова концепція проведення вібродіагностування саме мініатюрних шарикопідшипників, шляхом їх безконтактного обертання за допомогою рухомого імпульсного магнітного поля, потребувала більш глибокого та всебічного дослідження процесів, що відбуваються в поверхневих шарах прецизійних деталей вузлів тертя високоточних механічних систем. Основна особливість полягає: у ефективному і якісному визначенні наявності сторонніх абразивних мікро- і субмікро- частинок ферромагнітної та іншої природи в трактах кочення від дуже малих шарикопідшипників (з внутрішнім діаметром від 1мм), до типорозмірів з зовнішнім діаметром менше 30 мм, та визначенні впливу кількості цих забруднень на експлуатаційні акустичні та вібраційні характеристики досліджуваних підшипників.

Основна ідея ґрунтується на виявлених авторами раніше невідомих явищах та закономірностях у трибосистемах кочення і нових знаннях про механізм утримання поверхнями деталей підшипників мікро- субмікро- та наночастинок забруднень, а також їх вплив на віброхарактеристики трибосистем кочення у сукупності з новими відомостями про трибокавітацію і контактну траєкторію руху тіл кочення за певними



«максимальними» діаметрами. Окрім цього, вперше запропонований безконтактний привод вільного кільця мініатюрних та прецизійних шарикопідшипників, при їх акустичному та вібродіагностуванні. Експериментально встановлено, що при сталих частотах обертання шариків фактичний контакт реалізується на ділянках поверхонь, що в сукупності утворюють поверхню максимального діаметру. На основі чого висунута гіпотеза, що віброхарактеристики дослідного шарикопідшипника, на певних стандартизованих частотах обертання вільного кільця, відображають лише часткову контактну взаємодію поверхонь кільця та шариків, коли останні котяться лише ділянками, що утворюють максимальний діаметр. Зважаючи на це для аналізу акустичних та вібраційних параметрів мініатюрних підшипників кочення реалізовано кочення таким чином, щоб шарики прокочувались за максимальною кількістю можливих контактних ділянок їх усієї поверхні.

На сьогодні як ніколи стоїть питання підвищення надійності, збільшення ресурсу, відновлення працездатності та функціональної якості високовідповідальних вузлів тертя прецизійних механічних систем спецтехніки авіакосмічного цивільного і оборонного призначення.

Використання нового методу та технології дасть змогу проводити якісну оцінку поточного стану мініатюрних шарикопідшипників і, шляхом реновації їх експлуатаційних характеристик, робити рекомендації щодо ресурсу прецизійних трибовузлів кочення механічних систем в авіаремонтній, військовій, приладобудівній та підшипниковій галузях машинобудування. Це дозволить зменшити витрати і скоротити час відновлення працездатності та підвищить якість передексплуатаційної і міжремонтної підготовки авіаційної та наземної техніки, що сприяє підвищенню надійності та боездатності, з огляду на безпеку держави в даний складний військовий час.

### ВИСНОВКИ

1. Створення нових технологій відновлення та ремонту є актуальним напрямком розвитку та підвищення надійності і ресурсу, забезпечення безвідмовної та безпечної експлуатації сучасної авіаційної та військової техніки.

2. Детальний аналіз існуючих способів і спеціальних пристроїв діагностування наявності мікро- та нанозабруднень мініатюрних шарикопідшипників визначив необхідність коректної та якісної оцінки технічного стану відповідальних і високонавантажених прецизійних трибосистем кочення при їх вхідному та міжремонтному контролі.

3. Проблема визначення критерію чистоти змащувальних шарів та поверхонь елементів і деталей мініатюрних шарикопідшипників, що входять до складу відповідальних агрегатів і прецизійних механічних систем в авіаційному та військово-промисловому будівництві, внаслідок своєї складності, є та залишається актуальною.

4. Застосування безконтактного приводу вільного кільця шарикопідшипників, для їх діагностики, з використанням джерела змінного магнітного поля в запропонованому новому методі досліджень потрібно, щоб усунути механічні перешкоди та отримувати стабільні і чисті вихідні сигнали з чутливих відповідних акустичних та датчиків вібрації під час вибігу.

5. Запропонована авторами ідея експериментально-теоретичного рішення при визначенні впливу мікро- та наночастинок забруднень певних фракцій на вібропараметри підшипників за результатами патентно-літературного пошуку не має аналогів.

### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Лосев А.В. Сравнительный анализ существующих методов и выбор очистки поверхностей деталей авиационных агрегатов/А.В. Лосев, А.А. Жданов, Е.Н. Сломинская // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – Х., ХАІ. – 2003. – Вип. 1. – С. 108–116.

2. Colin H. Simmons, Dennis E. Maguire and Neil Phelps. *Manuals of Engineering Drawing*. British and international Standards//Book. Fifth Edition – 2020.

3. Довідник SKF з технічного обслуговування підшипників, PUB SR/P7 10001/1 RU, Січень 2018., ISBN 978-91-978966-4-1.

4. Smith. George H. Escape to aqueous cleaning. (Cleaning with alkaline aqueous solutions) // *Metall Finish*. – 1991, № 9. – С. 9–11.

5. Bearing Flushing Compositions and Methods, Patent№US11021671B2, Eggen, Mark (Lake Worth, FL, US), Wooton, David L. (Bumpass, VA, US), Erdek, Paul J. (Lake Worth, FL, US), United states, 01.06.2021.

6. A.Sravan Kumarab Sankha Debba S.Paulab., Ultrasonic-assisted abrasive micro-deburring of micromachined metallic alloys // *Journal of Manufacturing Processes* Volume 66, June 2021, Pages 595-607.

7. Bearing cleaning machine, Application filed by Jiangsu Kunzhou Precision Electromechanical Co ltd, Patent Publication of № CN113714198A, China, 30.11.2021.

8. An ultrasonic cleaning method of bearing balls and device, Application PCT/SK1998/000002 events, InventorFrench Jozef SLOVÁK, Patent Publication of № WO1998031478A1, France, 23.07.1998.

9. Сидоров В.А., Сотніков О.Л., Сушко А.Є. (2014). Стенди для вхідного контролю підшипників кочення. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету*. Серія: Технічні науки, (23), 225–234.

10. Jackson, C., Leader, M.E. "Rotor Critical Speed and Response Studies for Equipment Selection", Vibration Institute Proceedings, April 1979, pp. 45-50. (reprinted in Hydrocarbon Processing, November, 1979, pp. 281-284).
11. T. Yoshioka, "Detection of rolling contact sub-surface fatigue cracks using acoustic emission technique". Lubrication Engineering, Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers, Vol. 4, No. 4, April 1993, pp.303-308.
12. Eshleman, R.L., "ASME Flexible Rotor-Bearing System Dynamics, Part 1 - Critical Speeds and Response of Flexible Rotor Systems", ASME H-42, 1972
13. E. Yhland, "A linear theory of vibrations caused by ball bearings with form errors operating at moderate speeds". Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, Journal of Tribology, Vol. 114, April 1992, pp. 348-359.
14. API RP684, "Rotordynamics Tutorial: Lateral Critical Speeds, Unbalance Response, Stability, Train Torsionals, and Rotor Balancing", American Petroleum Institute, August, 2005.
15. Patent № CN102507118A. (China) CPC G01M 13/00. Luoyang LYC Bearing Co Ltd/ Medium and small-sized bearing noise vibration test system/Filing or date: 29.10.2011. Issued 14.05.2014. - Application № 2011103343334A.
16. Patent № EP4186774A1. (European Patent Office) CPC G01M 13/045. Tóth, Péter 4002 Debrecen (HU) Wireless bearing monitoring system with mobile measuring device for vehicles, agricultural and industrial machinery/Filing or date: 24.11.2021. Issued-31.05.2023. - Application № 21000338.0.
17. Patent № CN108444717A. (China) CPC G01M 13/04. Suzhou Xinting Electrical And Mechanical Technology Co Ltd., A kind of magnetic suspension bearing dynamic measurement device/ Filing or date: 15.06.2018. Issued - 24.08.2018. - Application № 201810619490.1A.
18. О.У. Стельмах, Р.Є. Костюнік, О.В. Куцев, С.П. Шимчук. Аналіз шляхів підвищення якості очищення мініатюрних підшипників кочення для прецизійних механічних та авіакосмічних систем на ремонтному виробництві // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки» – Випуск № 77. – Луцьк, 2024 – С. 62-66.
19. ДСТУ ГОСТ 520:2014 Підшипники кочення. Загальні технічні умови (ГОСТ 520-2011, IDT; ISO 492:2002, NEQ; ISO 199:2005, NEQ).

#### REFERENCES

1. Losev A.V. Sravnitel'nyi analiz sushchestvuiushchikh metodov i vubor ochystky poverkhnostei detalei avyatsionnykh ahrehatov / A.V. Losev, A.A. Zhdanov, E.N. Slomynskaia // Aviatsiino-kosmichna tekhnika i tekhnolohiia. – Kh., KhAI. – 2003. – Vyp.. 1. – S. 108–116.
2. Colin H. Simmons, Dennis E. Maguire and Neil Phelps. Manuals of Engineering Drawing . British and international Standards//Book. Fifth Edition – 2020.
3. Dovidnyk SKF z tekhnichnoho obsluhovuvannia pidshypnykiv, PUB SR/P7 10001/1 RU, Sichen 2018., ISBN 978-91-978966-4-1.
4. Smith. George H. Escape to aqueous cleaning. (Cleaning with alkaline aqueous solutions) // Metall Finish. – 1991, № 9. – С. 9–11.
5. Bearing Flushing Compositions and Methods, Patent№US11021671B2, Eggen, Mark (Lake Worth, FL, US), Wooton, David L. (Bumpass, VA, US), Erdek, Paul J. (Lake Worth, FL, US), United states, 01.06.2021.
6. A.Sravan Kumarab Sankha Debba S.Paulab., Ultrasonic-assisted abrasive micro-deburring of micromachined metallic alloys // Journal of Manufacturing Processes Volume 66, June 2021, Pages 595-607.
7. Bearing cleaning machine, Application filed by Jiangsu Kunzhou Precision Electromechanical Co ltd, Patent Publication of № CN113714198A, China, 30.11.2021.
8. An ultrasonic cleaning method of bearing balls and device, Application PCT/SK1998/000002 events, Inventor French Jozef SLOVÁK, Patent Publication of № WO1998031478A1, France, 23.07.1998.
9. Sydorov V.A., Sotnikov O.L., Sushko A.Ie. (2014). Steny dlia vkhidnoho kontroliu pidshypnykiv kochennia. Visnyk Pryazovskoho Derzhavnogo Tekhnichnoho Universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky, (23), 225–234.
10. Jackson, C., Leader, M.E. "Rotor Critical Speed and Response Studies for Equipment Selection", Vibration Institute Proceedings, April 1979, pp. 45-50. (reprinted in Hydrocarbon Processing, November, 1979, pp. 281-284).
11. T. Yoshioka, "Detection of rolling contact sub-surface fatigue cracks using acoustic emission technique". Lubrication Engineering, Journal of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers, Vol. 4, No. 4, April 1993, pp.303-308.
12. Eshleman, R.L., "ASME Flexible Rotor-Bearing System Dynamics, Part 1 - Critical Speeds and Response of Flexible Rotor Systems", ASME H-42, 1972
13. E. Yhland, "A linear theory of vibrations caused by ball bearings with form errors operating at moderate speeds". Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, Journal of Tribology, Vol. 114, April 1992, pp. 348-359.
14. API RP684, "Rotordynamics Tutorial: Lateral Critical Speeds, Unbalance Response, Stability, Train Torsionals, and Rotor Balancing", American Petroleum Institute, August, 2005.
15. Patent № CN102507118A. (China) CPC G01M 13/00. Luoyang LYC Bearing Co Ltd/ Medium and small-sized bearing noise vibration test system/Filing or date: 29.10.2011. Issued 14.05.2014. - Application № 2011103343334A.

16. Patent № EP4186774A1. (European Patent Office) CPC G01M 13/045. Tóth, Péter 4002 Debrecen (HU) Wireless bearing monitoring system with mobile measuring device for vehicles, agricultural and industrial machinery/Filing or date: 24.11.2021. Issued-31.05.2023. - Application № 21000338.0.

17. Patent № CN108444717A. (China) CPC G01M 13/04. Suzhou Xinting Electrical And Mechanical Technology Co Ltd., A kind of magnetic suspension bearing dynamic measurement device/ Filing or date: 15.06.2018. Issued - 24.08.2018. - Application № 201810619490.1A.

18. O.U. Stelmakh, R.Є. Kostyunik, O.V. Kushchev, S.P. Shymchuk. Analiz shliakhiv pidvyshchennia yakosti ochyshchennia miniatiurnykh pidshypnykiv kochennia dlia pretsyziinykh mekhanichnykh ta aviakosmichnykh system na remontnomu vyrobnytstvi // Mizhvuzivskyi zbir-nyk «Naukovi notatky» – Vypusk № 77. – Lutsk, 2024 – S. 62-66.

19. DSTU HOST 520:2014 Pidshypnyky kochennia. Zahalni tekhnichni umovy (HOST 520-2011, IDT; ISO 492:2002, NEQ; ISO 199:2005, NEQ).

**Stelmakh O.U., Kostyunik R.E., Shymchuk S.P., Kushchev O.V. Renovation of vibration characteristics of miniature ball bearings of precision mechanical systems of aerospace and military equipment.**

The article provides a detailed analysis of existing diagnostic systems and identified ways to improve the quality of assessment of vibroacoustic characteristics during the renovation of miniature and precision rolling bearings of mechanical systems of aerospace and military equipment.

Since modern aerospace precision mechanical systems or high-precision defense devices, containing moving and rotating parts, cannot be imagined without bearings that realize spatial fixation of rotating rotors and perceive the main part of static and dynamic forces, then increasing efficiency, reliability and resource, as well as providing trouble-free and safe operation of these mechanisms is closely related to the need for qualitative assessment of their technical condition during initial and inter-repair control.

This work is based on new phenomena and regularities discovered by the authors, which were previously experimentally proven and theoretically based on the equipment developed and created at the modern level: tribocavitation, retention of micro- and nano-particles of ferromagnetic and other nature of contamination by magnetic fields inherent in ball bearing parts, etc.

**Key words:** miniature and precision ball bearings, vibroacoustic characteristics, tribosystem, friction moment, run-out time, micro- and nanoparticle pollution.

*СТЕЛЬМАХ Олександр Устимович*, старший науковий співробітник лабораторії Нанотриботехнологій Національного авіаційного університету, запрошений професор Пекінського технологічного інституту, e-mail: [stelmah@nau.edu.ua](mailto:stelmah@nau.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0002-9132-6334>

*КОСТЮНІК Руслан Євгенович*, старший науковий співробітник лабораторії Нанотриботехнологій Національного авіаційного університету, e-mail: [kostyunik\\_rus@ukr.net](mailto:kostyunik_rus@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-0232-9208>

*ШИМЧУК Сергій Петрович*, доцент кафедри галузевого машинобудування Луцького національного технічного університету, e-mail: [s.shimchuk@lntu.edu.ua](mailto:s.shimchuk@lntu.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0002-1293-560X>

*КУЩЕВ Олексій Вікторович*, науковий співробітник лабораторії Нанотриботехнологій Національного авіаційного університету, e-mail: [stelmah@nau.edu.ua](mailto:stelmah@nau.edu.ua)

*Oleksandr STELMAKH*, senior researcher of the Laboratory of Nanotribotechnologies of the National Aviation University, visiting professor of the Beijing Institute of Technology, e-mail: [stelmah@nau.edu.ua](mailto:stelmah@nau.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0002-9132-6334>

*Ruslan KOSTYUNIK*, senior researcher of the Laboratory of Nanotribotechnologies of the National Aviation University, e-mail: [kostyunik\\_rus@ukr.net](mailto:kostyunik_rus@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0003-0232-9208>

*Serhii SHYMCHUK*, associate professor of the Department of Industrial Mechanical Engineering of the Lutsk National Technical University, e-mail: [s.shimchuk@lntu.edu.ua](mailto:s.shimchuk@lntu.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0002-1293-560X>

*Oleksiy KUSCHEV*, researcher of the Laboratory of Nanotribotechnologies of the National Aviation University, e-mail: [stelmah@nau.edu.ua](mailto:stelmah@nau.edu.ua)

DOI 10.36910/automash.v1i22.1374

УДК 656.078  
UDC 656.078

Фалович В.А.<sup>2</sup>, Шевчук О.С.<sup>1</sup>, Фалович Н.М.<sup>1</sup>, Навольська Н.В.<sup>3</sup>, Захарчук В.Б.<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна.

<sup>2</sup>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, Україна.

<sup>3</sup>Вища школа бізнесу, Університет Меріто, Вроцлав, Польща.

## ПЛАНУВАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ МІСТ З УРАХУВАННЯМ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ ТА ДЕМОГРАФІЧНИХ ІНДИКАТОРІВ РОЗСЕЛЕННЯ

В Тернопільській міській територіальній громаді стан транспортної сфери свідчить про те, що основу пасажирських перевезень становлять перевезення електричним та автомобільним транспортом. Після проведення досліджень і врахування змін у потребах пасажирів була запропонована і впроваджена нова мережа маршрутів громадського транспорту. Ця мережа була розроблена на основі обстежень з максимальним врахуванням потреб місцевих мешканців. Крім того, також було забезпечено транспортне сполучення міста з усіма селами громади.

Проте, транспортне сполучення з приєднаними сільськими населеними пунктами громади вимагає додаткових досліджень з розробки нових транспортних маршрутів та закупівлю додаткового транспорту.

Досвід пасажирських перевезень підтверджує, що транспортна поведінка жителів міст, насамперед, залежить від розташування їхнього місця проживання до об'єктів тяжіння. Тому, для удосконалення маршрутної мережі міста необхідним є проведення спостереження щодо закономірностей розселення мешканців по вже сформованих транспортних районах міста.

Основним напрямком транспортної політики Тернопільської міської територіальної громади є формування високоякісних та зручних перевезень, особливо з використанням екологічно чистого електричного транспорту.

Ще одним пріоритетом транспортної політики громади має бути зростання його соціальної ефективності через підвищення безпеки перевезень та якості послуг, що ґрунтується на чіткій координації різних видів транспорту.

Варто також звернути увагу на стратегічну важливість покрокової реалізації пріоритетності електротранспорту та створення єдиної транспортної компанії в Тернопільській міській територіальній громаді. Цей процес спрямований на забезпечення комфорту, екологічної безпеки та транспортної безпеки для мешканців.

**Ключові слова:** пасажирські перевезення, пасажиропотоки, транспортна сфера, транспортні райони, сталий розвиток, маршрут.

### ВСТУП

За даними [1], населення Тернопільської міської територіальної громади станом на 2020 рік складало 226900 осіб. Мешканці міста в основному використовують громадський транспорт для своїх щоденних переміщень, але через недостатню забезпеченість громадським транспортом віддалених сіл громади, деякі жителі вимушені користуватися власними автомобілями. Керівництво громади отримує багато пропозицій від мешканців щодо створення нових маршрутів та модифікації існуючих для полегшення доступу до транспорту у нових місцях. Проведення аналізу можливих пасажиропотоків та економічне обґрунтування можливостей розвитку мережі тролейбусного транспорту є ключовою задачею для подальшого удосконалення громадського транспорту у громаді.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

З 10 функціонуючих на сьогоднішній день у Тернопільській міській територіальній громаді автоперевізників, 2 є у власності комунальних підприємств, а 1 СПД ФО. Щодо електричних перевезень тролейбусами, то його здійснює підприємство «Тернопільелектротранс», що є у комунальній власності.

КП «Тернопільелектротранс» налічує 60 тролейбусів (в т.ч. 1 спеціальний). За останні 5 років 15 тролейбусів оновлено, через те що їх середній вік становить 26 років, з них 5 тролейбусів – від 10-15 років, 56 - більше 15 років, тому рухомий склад наразі вимагає повного оновлення.

Як видно з діючої маршрутної мережі на автобусних маршрутах функціонує 172 автобуси, з яких 131 знаходяться у приватній власності та 41 - в комунальній.

Щодо оновлення з автобусного парку, то можемо спостерігати значно кращу картину, так як за 5 останніх років було придбано 20 автобусів МАЗ 2019р/в, 21 автобус МАН 2009 р/в. Також в комунальній власності є 3 автобуси ЛАЗ 2004 р/в. Навіть при наявності електричного транспорту потреба у вдосконаленні автобусного парку залишається актуальною, особливо щодо транспортних засобів, призначених для перевезення осіб з обмеженими фізичними можливостями. Забезпечення доступності та комфорту для всіх категорій пасажирів є важливою складовою розвитку громадського



транспорту. Оновлення парку автобусів, враховуючи потреби людей з обмеженими можливостями, відіграє ключову роль у створенні більш інклюзивного та дружнього до середовища транспортного середовища.

### ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Станом на сьогоднішній день розподіл транспортних районів Тернопільської міської територіальної громади має такий вигляд (рисунком 1).

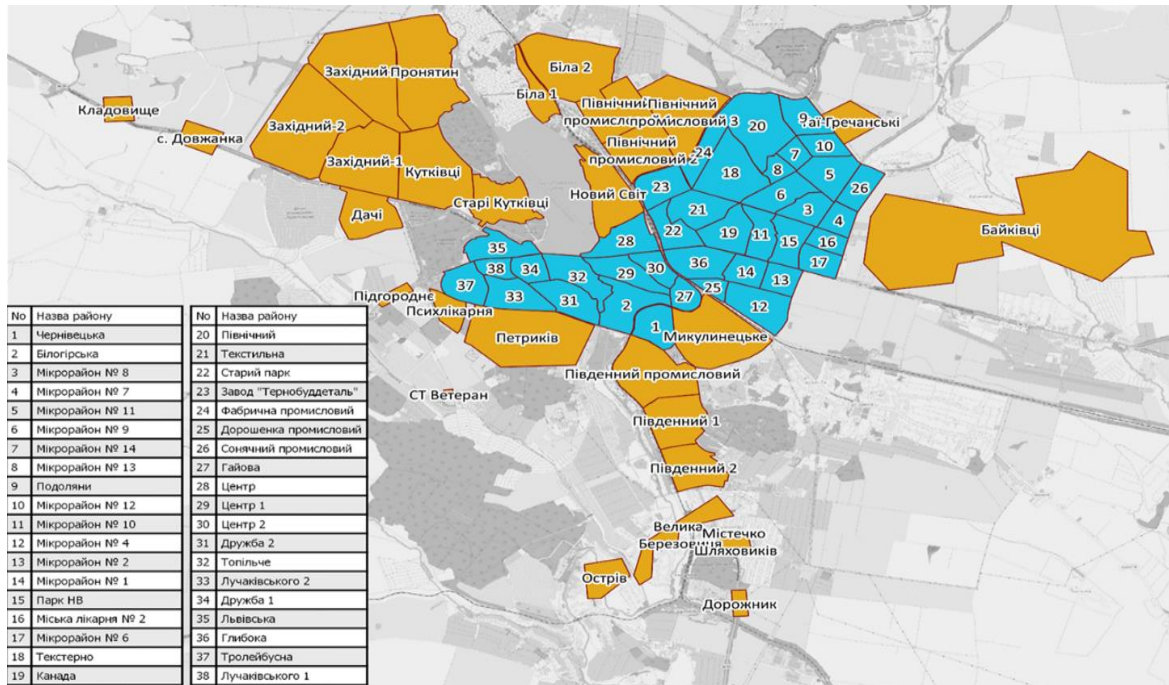


Рисунок 1. Карта транспортних районів Тернопільської міської територіальної громади

Згідно з даними [1] станом на 2020 рік в Тернопільській міській територіальній громаді проживає 226900 осіб. У результаті проведеного дослідження розселення населення громади встановлено що найбільш заселеними транспортними районами є «Мікрорайон №9» та «Мікрорайон №11»<sup>3</sup>. Це, в свою чергу, свідчить що вищевказані транспортні райони є потужними об'єктами генерації пасажирських кореспонденцій. Також слід відмітити що у транспортних районах «Новий Світ», «Мікрорайон №4», «Дружба-2», «Текстильна» також спостерігається високий рівень концентрації населення. У кожному з вищевказаних районів зосереджено близько 11 тис. жителів. У зв'язку з планами розвитку рекреаційних зон, реконструкції кварталів садибної забудови та перспективного багатоквартирного будівництва у місті в західному і північно-західному напрямках, обсяги і структура транспортного попиту існуючих районів можуть зазнати деяких змін. Слід відмітити що, в першу чергу, передбачено заселення житлових районів «Західний-1», «Західний-2», «Західний-3». У зв'язку з розташуванням у центральній частині міста обласних і міських органів управління, основних споруд, пам'яток культурної спадщини та освітніх закладів, кількість населення в транспортних районах «Центр», «Центр-1», «Старий парк», «Канада», «Мікрорайон №1» не перевищує 6,3 тис. осіб по кожному.

На основі проведених розрахунків за транспортними районами міста Тернополя розподілено близько 109 тис. осіб зайнятих у всіх видах економічної діяльності. Аналіз розподілу працездатного населення за транспортними районами свідчить, що найвища концентрація вказаної групи мешканців спостерігається у східній частині міста (рис. 2). Загалом планувальна структура східної частини міста представлені мікрорайонами нової багатоквартирної забудови останніх 20-ти років. Найбільше мешканців працездатного віку зосереджується в транспортних районах «мікрорайон №9» та «Мікрорайон №11».



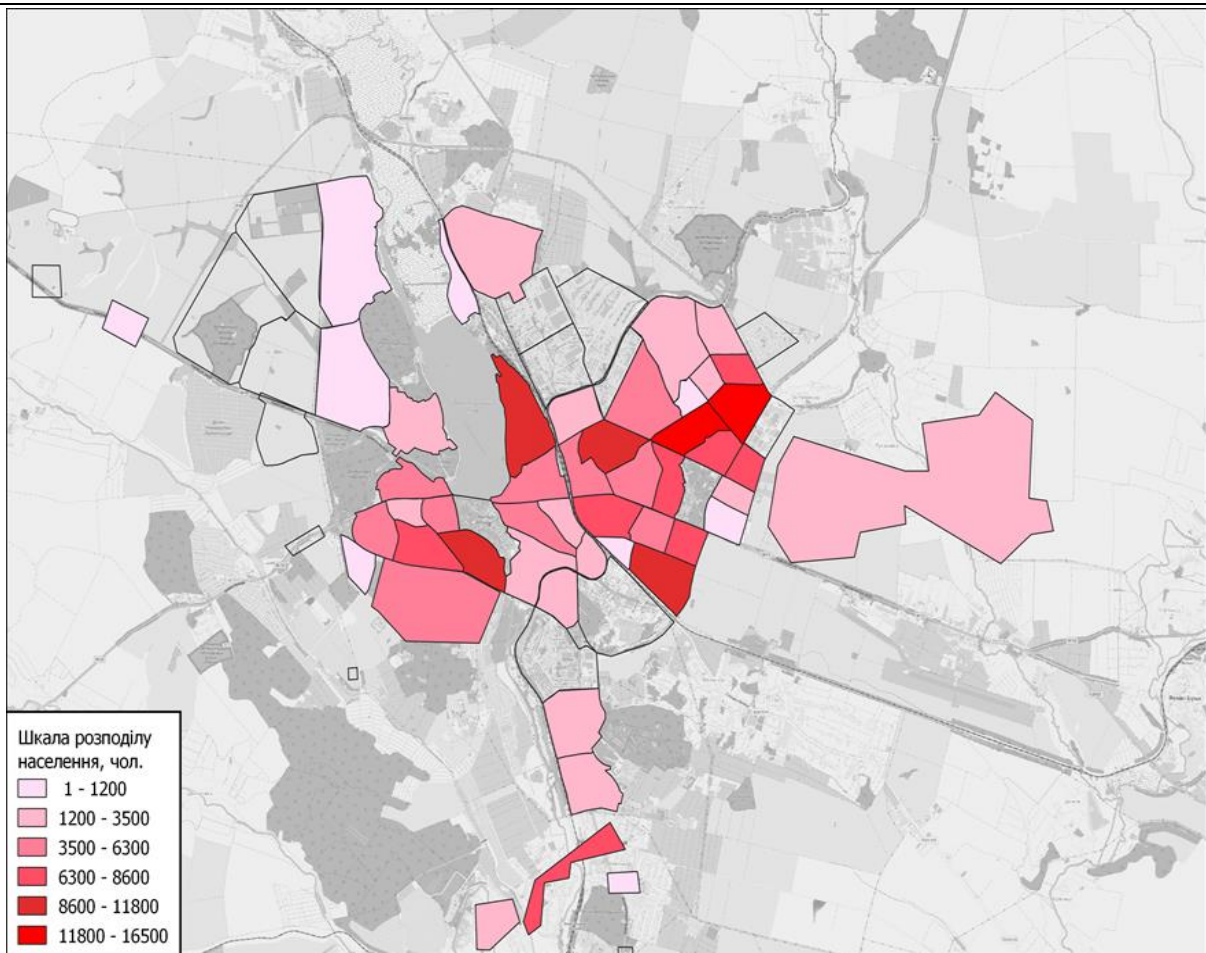


Рисунок 2. Розподіл працездатного населення за транспортними районами громади.

У центральному районі міста житлова забудова поєднується із системою паркових зон, пам'ятників архітектури, адміністративної забудови. Це, своєю чергою, обумовлює наявність меншої кількості працездатних осіб, які проживають в межах цих транспортних районів. У західному районі міста присутня багатоквартирна житлова забудова, зокрема в транспортному районі «Дружба-2», зосереджено до 7 тис. мешканців, «Лучаківського-2» відповідно до 5 тис. мешканців цієї вікової категорії. У колишніх сільських поселеннях «Пронятин», «Кутківці та «Старі Кутківці» в кварталах садибної забудови мешкає приблизно 3 тис. осіб працездатного віку. У сільській місцевості Тернопільської міської територіальної громади мешкає 1,6 тис. працездатних осіб.

Господарський комплекс Тернопільської міської територіальної громади характеризується незначною диференціацією, що характеризується потужним промисловим комплексом міста Тернопіль та здебільшого сільськогосподарського комплексу сільської місцевості. Згідно статистичних даних, станом на 2020 рік у Тернопільській міській територіальній громаді мешкає 226900 осіб, 98,7% з них є мешканцями Тернополя. Приблизна чисельність зайнятого у всіх видах економічної діяльності населення Тернополя становить 109 тис. осіб. У структурі господарського комплексу, за чисельністю працівників, провідна роль належить невиробничому сектору. Своєю чергою, чисельність зайнятого у всіх видах економічної діяльності населення сіл громади становить 1,6 тис. осіб (рис. 3).

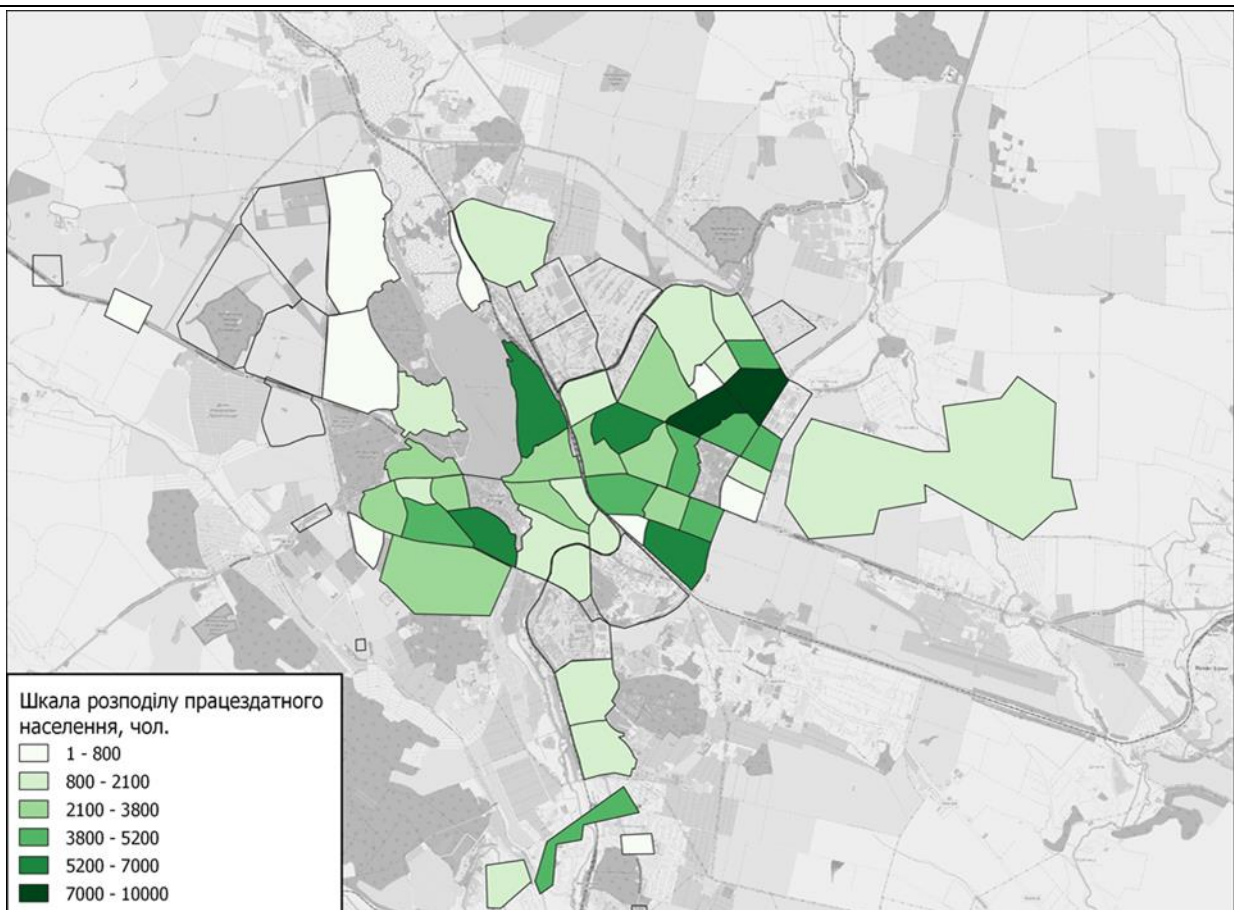


Рисунок 3. Розподіл місць прикладання праці за транспортними районами міста.

При проведенні аналізу розподілу робочих місць встановлено, що об'єктами тяжіння трудових кореспонденцій є транспортні райони «Центр» та «Сонячний промисловий» в яких зосереджено близько 10 тис. Працівників. У транспортних районах «Центр-1» та «Текстильна» також знаходиться близько 7 тис. працівників. У транспортних районах «Північний промисловий-1», «Північний промисловий-2», «Фабрична промисловий» розташовано комбайновий завод, підприємства легкої та харчової промисловості. У кожному з цих транспортних районів зосереджено приблизно 3,5 тис. працівників.

Місця прикладання праці, що знаходяться в транспортних районах «Глибока» та «Чернівецька» також є значущими об'єктами тяжіння трудових кореспонденцій, оскільки в них зосереджено близько 2 тис. працівників. У транспортному районі «Південний промисловий» розташовані ВАТ «Ватра», міські очисні споруди та інші міські комунальні підприємства, що забезпечують робочими місцями до 1 тис. працівників. АТП, склади та бази, що знаходяться в транспортному районі «Микулинецька» притягують 1 тис. працівників.

Відповідно до нормативів планування і забудови населених пунктів (ДБН Б.2.2-12-2018) місця розміщення, кількість та місткість дитячих дошкільних закладів у містах визначаються з урахуванням демографічної структури. Цим, відповідно, пояснюється нерівномірний розподіл близько 11 тис. дітей по 40 дитячих дошкільних установах м. Тернополя. Інформація щодо закладів дошкільної освіти у сільській місцевості Тернопільської громади відсутня.

Охоплення дошкільними навчальними закладами дітей складає 92% (станом на 01.01.2018 р.). Ємність дошкільних закладів міста становить 6291 місць, а це означає що фактичне відвідування дошкільних навчальних закладів становить на 69% більше (рис. 4).



Рисунок 4. Розподіл дитячих дошкільних установ за транспортними районами громади.

Характер розподілу дошкільних навчальних закладів по транспортних районах міста Тернополя впливає на формування кореспонденції більшої частини мешканців міста вікової групи 20-39 та 40-64 роки. Результатами соціологічного опитування підтверджено, що респонденти вищевказаних вікових груп здійснювали переміщення з метою відвести або забрати дітей з дошкільного закладу.

В цілому, дитячі дошкільні навчальні заклади розташовані у всіх густонаселених житлових районах міста, обумовлюючи формування внутрішньорайонних кореспонденцій. Зокрема, найбільше вихованців ДНЗ зосереджено в транспортному районі «Мікрорайон №11» (1,3 тис. дітей).

Суттєвим фактором, що формує міжрайонні кореспонденції транспортних районів «Львівська», «Тролейбусна», «Текстильна», «Мікрорайон №6» є відсутність в них дошкільних навчальних закладів.

На початок 2020/2021 навчального року загальна кількість учнів у 44 денних загальноосвітніх закладах міста Тернополя та 4 закладах загальної середньої освіти сільської місцевості Тернопільської міської територіальної громади становила близько 27 тис. осіб.

Практика організації пасажирських перевезень у містах свідчить, що більшість кореспонденцій, котрі генеруються учнями загальноосвітніх шкіл, відносяться до групи внутрішньорайонних (рис. 5). Результатами соціологічного опитування підтверджено, що основними способами здійснення переміщень респондентів шкільного віку є піші пересування – 43,8%. Громадським транспортом користується 44,4% респондентів шкільного віку, близько 11,8 респондентів використовують індивідуальний транспорт, що пояснюється відсутністю навчальних закладів поблизу місця проживання.



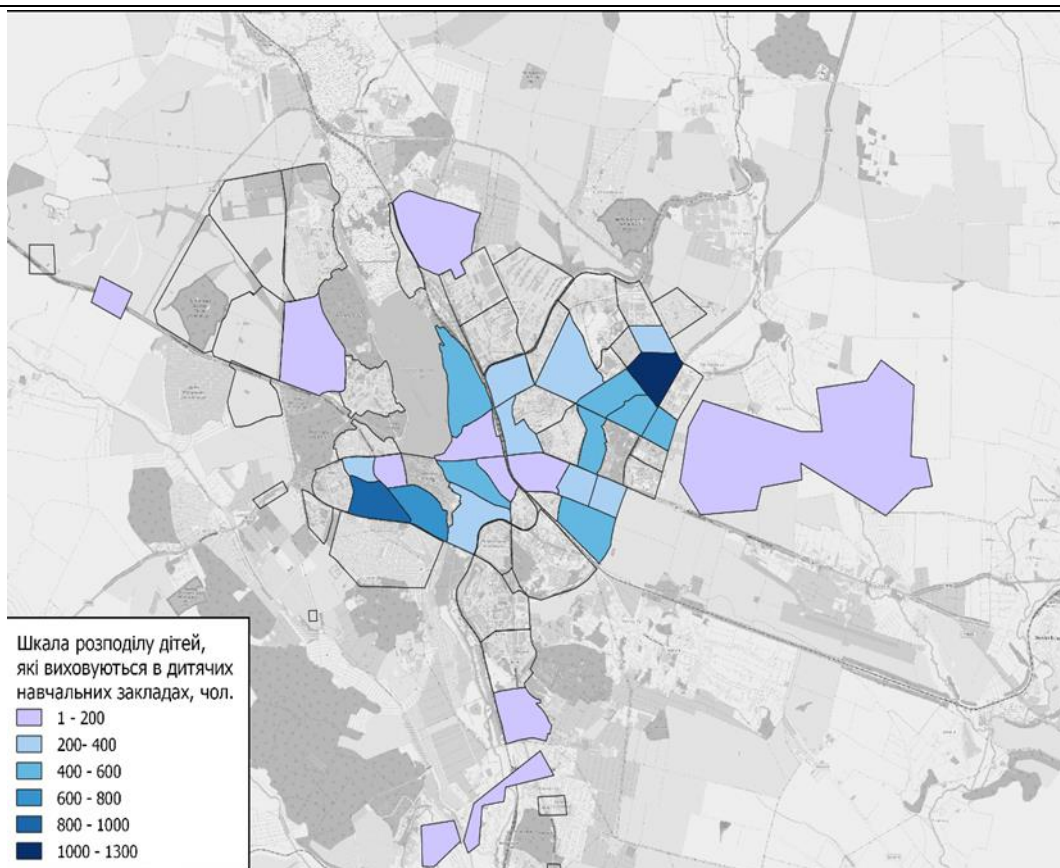


Рисунок 5. Розподіл загальноосвітніх навчальних закладів за транспортними районами громади.

Транспортні райони «Центр» та «Мікрорайон №2» є об'єктами тяжіння для майже 6 тис. учнів. Отож, можемо зробити висновок про те, що для даної групи населення переважають міжрайонні кореспонденції.

Варто також зазначити, що мешканці міста шкільного віку, що проживають в транспортних районах «Текстильна», «Старий парк», «Канада», «Львівська», «Тролейбусна», «Дружба-1» також здійснюють міжрайонні переміщення, що зумовлено відсутністю у них загальноосвітніх навчальних закладів.

Відповідно до реєстру суб'єктів освітньої діяльності в м. Тернопіль в 4-х державних вищих навчальних закладах, що мають IV рівень акредитації навчається близько 30 тис. здобувачів, а в 12 закладах вищої освіти I-III рівнів акредитації відповідно 12 тис. здобувачів (рис. 6-7).

Транспортні райони «Центр», «Центр-2», та «Новий світ» є потужними об'єктами тяжіння для близько 11 тис. здобувачів, що здійснюють переміщення з різних точок міста. У транспортному районі «Південний промисловий» розташовані навчальні корпуси ЗУНУ №5 та ТНТУ №7, в яких навчається понад 2 тис. студентів. У кожному з транспортних районів «Львівська», «Лучаківського-2» навчаються близько 6 тис. студентів. У транспортних районах «Старий парк» та «Глибока-2» розташовані навчальні корпуси ТДМУ, де зосереджено близько 1,5 тис. студентів.

Найвища концентрація студентів коледжів, технікумів та професійно-технічних училищ припадає на транспортний район «Центр», де чисельність здобувачів сягає 2 тис. осіб. (рис. 8)



Рисунок 6. Розподіл вищих навчальних закладів за транспортними районами громад

Проведені обстеження показали стійкі транспортні зв'язки між районами концентрації закладів вищої освіти та професійно-технічної освіти та районами з найбільшою кількістю мешканців, а саме, «Мікрорайон №4», «Мікрорайон №9», «Мікрорайон №11», «Дружба-2», «Текстильна».

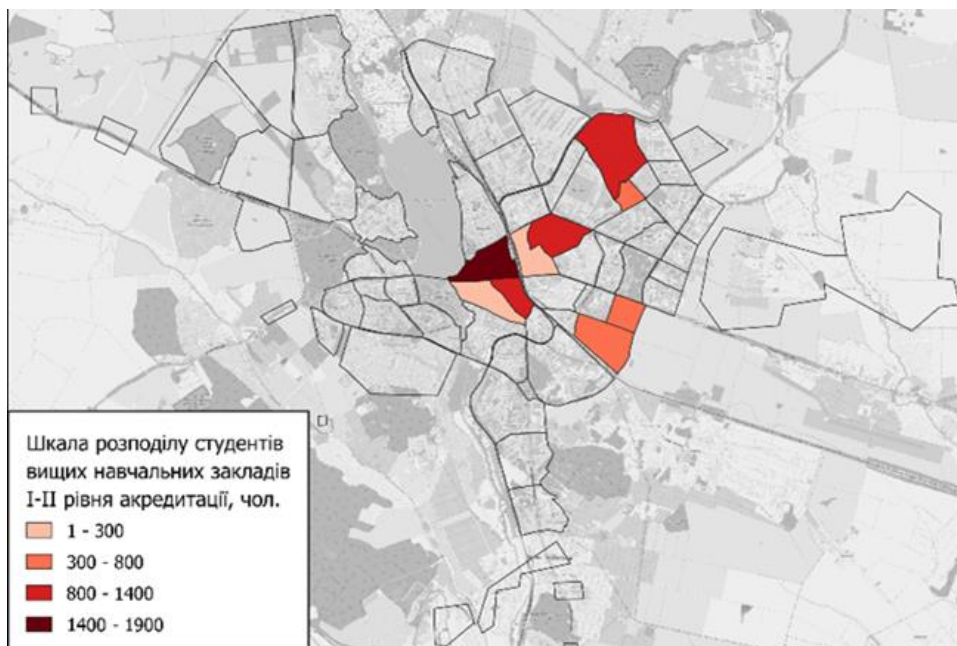


Рисунок 7. Розподіл студентів вищих навчальних закладів I-II рівня акредитації за транспортними районами громади.



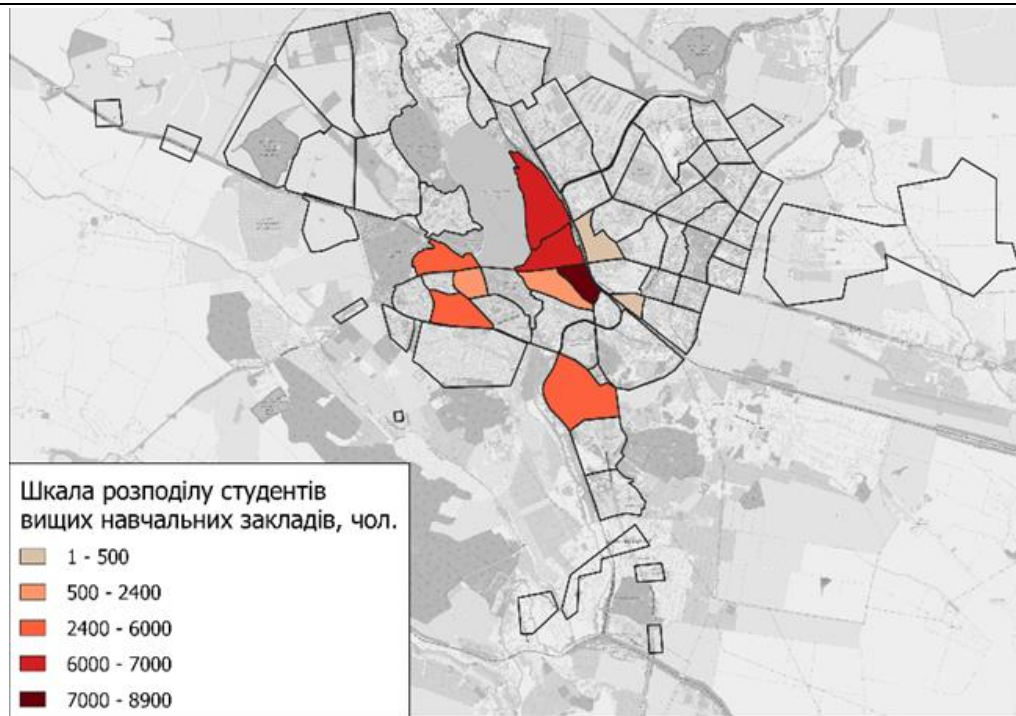


Рисунок 8. Розподіл студентів вищих навчальних закладів за транспортними районами громади.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У сучасних умовах з відчутним посиленням урбанізаційних тенденцій у планувальників виникає все більше питань пов'язаних з майбутнім розвитком муніципалітетів. Особливо важливе значення при плануванні має забезпечення сталого розвитку – розвитку, який задовольняє потреби сучасних поколінь, не обмежуючи можливості майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби. Концепція сталого розвитку ґрунтується на збалансованому поєднанні економічних, соціальних та екологічних аспектів, що обов'язково мають бути враховані при розробці перспективних планів. Поняття сталої мобільності було виокремлене як одна зі складових сталого розвитку міст. Це поняття інтерпретують як організацію пересування людей та вантажів у такий спосіб, що забезпечує високу доступність для всіх, безпеку, енергоефективність та мінімальний вплив на довкілля.

Процес урбанізації сприяє збільшенню щільності заселення територій, що має значні наслідки для формування середовища життєдіяльності мешканців міст та прилеглих населених пунктів, і є важливим чинником соціально-економічного розвитку суспільства. Водночас зростання концентрації населення у містах призводить до стрімкого зростання потреб у пересуваннях та збільшення кількості транспортних засобів. Постаючи перед вибором стратегічних напрямків розвитку населених пунктів, які б дозволили подолати існуючі виклики транспортного забезпечення, планувальники та виконавчі органи влади шукають відповіді на актуальні питання:

- забезпечення комфортного, швидкого та екологічного пересування містом для всіх;
- мінімізація заторів у середмісті та ефективно використовувати міський простір;
- організація привабливого для людей міського простору.

З міжнародного досвіду було визначено, що вирішення типових для більшості міст проблем, пов'язаних з мобільністю, досягається шляхом застосування комплексного підходу до планування. На мобільність мешканців впливає не лише наявність відповідної транспортної пропозиції та організація дорожнього руху, а й низка інших аспектів, пов'язаних із використанням міського простору.

## ВИСНОВКИ

Проведене дослідження дало підстави до виділення наступних питань, що потребують вирішення:

1. Необхідно розвивати ринок пасажирських перевезень, уникати дублювання маршрутів різними видами транспорту та розробляти оптимальні графіки руху транспортних засобів.
2. Важливо впроваджувати виробництво сучасних технологій, конструкцій і спеціальних частин контактної мережі, що мають підвищену надійність.

3. Необхідно відновлювати технічний ресурс, модернізувати та технічно переоснащувати рухомий склад через капітально-відновлювальний ремонт.
4. Варто розвивати мережу тролейбусних ліній, включаючи будівництво тролейбусних ліній до віддалених мікрорайонів громади.
5. Необхідно оновлювати рухомий склад автобусного та тролейбусного парків.
6. Розглянути можливість розвитку пасажирського водного транспорту, особливо з урахуванням наявності великої водойми в центрі міста, такої як Тернопільський став. КП «Тернопільелектротранс» може надавати послуги прогулянкових поїздок двома теплоходами: «Герой Тенцоров» та «Капітан Т.Парій» (на даний час є 5 причалів: «Готель Галичина», «Тимчасовий», «Ресторан Хутір», «Центральний», «Дальній пляж»).

#### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Держкомстат України. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>
2. [www.ukravtodor.gov.ua](http://www.ukravtodor.gov.ua)
3. Міністерство інфраструктури України. URL: <http://www.mintrans.gov.ua>
4. Тернопільська обласна державна адміністрація. URL: <http://sed.te.gov.ua/main/ua/304.htm>
5. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій. URL: [https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212\\_planuvannya.pdf](https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212_planuvannya.pdf)
6. [http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ\\_new1/2019/zb\\_chnn2019.pdf](http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ_new1/2019/zb_chnn2019.pdf)
7. [https://businessforsmartcities.com/load/118/presentation/7\\_sergiy\\_nadal\\_6\\_852c9.pdf](https://businessforsmartcities.com/load/118/presentation/7_sergiy_nadal_6_852c9.pdf)
8. <https://www.eway.in.ua/ua/cities/ternopil>
9. <http://bus.ck.ua/avtobus.html>
10. Фалович Н. Впровадження принципів сталої міської мобільності в територіальних громадах: управлінський, логістичний та економічний аспекти. Сучасний маркетинг: візія, технології, інновації / В.А. Фалович [ та ін.]; за ред. д.е.н., проф. В.А. Фаловича. Тернопіль: ФО-П Шпак В.Б., 2023. –с. 359-396 (497с.)

#### REFERENCES

1. Derzhkomstat Ukrainy. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua>
2. [www.ukravtodor.gov.ua](http://www.ukravtodor.gov.ua)
3. Ministerstvo infrastruktury Ukrainy. URL: <http://www.mintrans.gov.ua>
4. Ternopil'ska oblasna derzhavna administratsiia. URL: <http://sed.te.gov.ua/main/ua/304.htm>
5. DBN B.2.2-12:2019 Planuvannia ta zabudova terytorii. URL: [https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212\\_planuvannya.pdf](https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212_planuvannya.pdf)
6. [http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ\\_new1/2019/zb\\_chnn2019.pdf](http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ_new1/2019/zb_chnn2019.pdf)
7. [https://businessforsmartcities.com/load/118/presentation/7\\_sergiy\\_nadal\\_6\\_852c9.pdf](https://businessforsmartcities.com/load/118/presentation/7_sergiy_nadal_6_852c9.pdf)
8. <https://www.eway.in.ua/ua/cities/ternopil>
9. <http://bus.ck.ua/avtobus.html>
10. Falovych N. Vprovadzhenia pryntsyviv staloi miskoi mobilnosti v terytorialnykh hromadakh: upravlinskyi, lohystychnyi ta ekonomichnyi aspekty. Suchasnyi marketynh: viziia, tekhnolohii, innovatsii / V.A. Falovych [ ta in.]; za red. d.e.n., prof. V.A. Falovycha. Ternopil: FO-P Shpak V.B., 2023. –s. 359-396 (497s.)

#### ***N. Falovych, O. Shevchuk, V. Falovych, N. Navolska, V. Zakharchuk. Planning Of City Transport Infrastructure Taking Into Account Socio-Economic And Demographic Settlement Indicators***

The general state of the transport sector in the Ternopil urban territorial community shows that the basis of passenger transportation is electric and road transport. In accordance with the changing needs of passenger traffic over time, based on the results of the conducted research, a new network of public transport routes was approved and implemented, developed on the basis of the conducted surveys, taking into account the needs of the community residents as much as possible. All villages of the community are also provided with transport connections. However, the addition of other settlements requires additional development of new routes and additional transport units.

The practice of organizing passenger transport shows that the transport behavior of city dwellers primarily depends on the ratio of the location of their housing to the objects of attraction. In this regard,

when improving the functioning of the city's route network, a necessary condition is the study of patterns of population settlement in the formed transport areas.

The priority of the transport policy of the community is the development of high-quality and comfortable transportation of passengers, primarily environmentally friendly electric transport.

An indicator of the social efficiency of the functioning of urban passenger transport should be the safety of transportation and the quality of services based on the clear interaction of different types of transport.

It is necessary to note the planned prioritization of electric transport means and the gradual transition to the creation of a single transport company that will ensure the comfort, environmental and transport safety of the residents of the Ternopil urban territorial community.

**Keywords:** passenger transportation, passenger flows, transport spheres, transport areas, sustainable development, route.

*ФАЛОВИЧ Володимир Андрійович*, доктор економічних наук, професор, професор кафедри промислового маркетингу, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, Україна, e-mail: [falovych@gmail.com](mailto:falovych@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5784-0233>

*ШЕВЧУК Оксана Степанівна*, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: [oksana\\_shevchuk84@ukr.net](mailto:oksana_shevchuk84@ukr.net) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8283-4620>

*ФАЛОВИЧ Наталя Миколаївна*, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: [n.falovych@gmail.com](mailto:n.falovych@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1651-3022>

*НАВОЛЬСЬКА Наталя Володимирівна*, кандидат економічних наук, доцент, ВШБ Університет Меріто, Вроцлав, Польща, e-mail: [navol.natalya@gmail.com](mailto:navol.natalya@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1375-599>

*ЗАХАРЧУК Василь Борисович*, аспірант кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: [zakharchuk100182@gmail.com](mailto:zakharchuk100182@gmail.com)

*Volodymyr FALOVYCH*, Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of Industrial Marketing, Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyu, e-mail: [falovych@gmail.com](mailto:falovych@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5784-0233>

*Oksana SHEVCHUK*, PhD of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Transport and Logistics, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: [oksana\\_shevchuk84@ukr.net](mailto:oksana_shevchuk84@ukr.net) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8283-4620>

*Nataliia FALOVYCH*, PhD in Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Logistics, Western Ukrainian National University e-mail: [n.falovych@gmail.com](mailto:n.falovych@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5784-0233>

*Nataliya NAVOLSKA*, PhD of Economics, Associate Professor, Merito University, Wroclaw, Poland, e-mail: [navol.natalya@gmail.com](mailto:navol.natalya@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1375-599>

*Vasyl ZAKHARCHUK*, graduate student of the Department of Transport and Logistics, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: [zakharchuk100182@gmail.com](mailto:zakharchuk100182@gmail.com)

DOI 10.36910/automash.v1i22.1375

Хітров І.О.

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

**ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

Електричні вантажні автомобілі – це транспортні засоби, які працюють на електричній енергії. Вони зазвичай оснащені електричними двигунами, що отримують енергію від акумуляторів або інших енергетичних джерел і мають схожу будову з класичними вантажівками.

Ці автомобілі найчастіше використовуються для перевезення вантажів на короткі та середні відстані в міських умовах або для інших комерційних цілей. Міжміські перевезення – найскладніший сегмент автомобільного транспорту.

Електричні транспортні засоби мають багато переваг, таких як менше забруднення довкілля через відсутність викидів вихлопних газів силової установки, менші енергетичні витрати порівняно з класичними автомобілями (двигуни внутрішнього згорання), менші витрати на обслуговування та можливість використання різних джерел відновлюваної енергії для їх зарядки.

Однак, у них також є обмеження. Зокрема недостатня дальність поїздки на одному заряді, більша тривалість часу зарядки (заправки) та обмежена потужність для перевезення важких вантажів на великі відстані. Хоча технології постійно розвиваються, а інновації в батарейних технологіях та зарядних станціях можуть в подальшому вирішити деякі з цих обмежень.

Наразі не потрібно встановлювати повну заборону для виготовлення класичних комерційних вантажних транспортних засобів, а реалізувати поступове скорочення шкідливих викидів всіма доступними шляхами. Крім того, встановлені проміжні цілі мають бути переглянуті, щоб оцінити, які ще технології можуть бути використані для виготовлення сучасного електричного вантажного транспортного засобу.

Метою цього дослідження є виявлення всіх ризиків та викликів пов'язаних з електромобільністю, що в подальшому дозволить оцінити ефективність вантажних перевезень електричними транспортними засобами та побудувати стратегію розвитку перевізником.

**Ключові слова:** вантажний електричний транспортний засіб, конструкція транспортного засобу, вантажні перевезення, зарядна інфраструктура

**ВСТУП**

Ціни на нафту та збільшення викидів вуглекислого газу є двома ключовими проблемами, що впливають на основний транспорт у всьому світі. Тому електромобілі стають все більш популярними, оскільки вони не залежать від нафти, а викиди парникових газів не впливають на довкілля, а їхня інтеграція з розумними мережами робить їх ще більш привабливими [1].

Автомобільний електричний транспорт має довгу історію та значний прогрес, але йому ще належить пройти довгий шлях, перш ніж він буде повністю прийнятий як основний вид транспорту.

Вантажні перевезення стоять на порозі великих змін з безліччю варіантів, які позитивно вплинуть на скорочення споживання енергетичних ресурсів та зменшенні забруднення довкілля і неодмінно приведуть до майбутнього транспорту з нульовим рівнем викидів. Хоча певні рішення і технології можуть бути і суперечливим, однак допоможуть виробникам і транспортним підприємствам обрати найкращий сценарій розвитку та розробити механізм практичної реалізації для поетапного переходу на електромобільність.

**АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Актуальність окресленої тематики підтверджується безліччю наукових праць, які дають оцінку застосуванню електричного автомобільного транспорту з різних точок зору, таких як ефективність, вплив на довкілля, економічність тощо.

Ось деякі наукові статті, які можуть бути корисними для оцінки застосування електричного автомобільного транспорту: в [2] наведено порівняльну екологічну оцінку життєвого циклу звичайних та електричних транспортних засобів; в [3] досліджується вплив електричних автомобілів на розподільчі мережі електроенергії та наводяться можливі технологічні рішення для управління ними; в [4] розглядаються політичні аспекти впровадження електромобілів та вплив різних політичних заходів на ринок та інфраструктуру; в [5] порівнюються економічні та екологічні аспекти різних типів автомобілів, включаючи електричні, гібридні та автомобілі на водневих паливних елементах, а в [6] обговорюються виклики, пов'язані з впровадженням електромобільності у розумних містах та пропонуються шляхи вирішення цих проблем.



Таким чином, важливо комплексно розглянути всі ризики та виклики, реалізовані рішення та надані практичні рекомендації застосування електричних вантажних транспортних засобів, які слугуватимуть відправною точкою для проведення досліджень щодо ефективності вантажних перевезень.

### ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Використання електричних транспортних засобів для вантажних перевезень – це сучасний та екологічно чистий підхід до перевезень вантажів. Вони також можуть бути більш ефективними у використанні енергії, забезпечуючи менші витрати на експлуатацію у порівнянні з традиційними транспортними засобами. Крім того, розвиток зарядної інфраструктури для електричних вантажних засобів стає все більш доступним, що сприяє зростанню популярності цього типу транспорту в галузі вантажних перевезень.

Однією з початкових задач дослідження застосування електричних транспортних засобів для вантажних перевезень полягає у з'ясуванні переваг та обмежень у їх використанні, а також у виборі подальших досліджень направлених на підвищення ефективності транспортної системи.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Повністю електричні вантажні транспортні засоби, які часто називають комерційними електричними вантажівками з акумуляторною батареєю (надалі в тексті ЕВТЗ), з кожним роком набувають все більшого поширення. Стрімкий розвиток акумуляторів і силової електроніки для електричних легкових автомобілів в значній мірі реалізується і для вантажних (від пілотного тестування до їх регулярного використання в повсякденній роботі). Такі транспортні засоби матимуть багато переваг порівняно з двигунами внутрішнього згоряння (більше відновлюваної енергії, простішу конструкцію, менші експлуатаційні витрати тощо), але й викликів (потреба в новій інфраструктурі, державної політики, значних інвестиції в розвиток тощо).

Ефективне впровадження всіх видів електричного транспорту обумовлено ринковими, політичними, соціально-економічними та іншими факторами (рис. 1).



Рисунок 2 – Фактори, які сприяють впровадженню електричного транспорту [7]

ЕВТЗ – це транспортні засоби, що працюють на електричній енергії. Вони зазвичай оснащені електричними двигунами, які отримують енергію від акумуляторів або інших джерел.

За типом використання силової установки електричні транспортні засоби поділяються на [5, 8]:

1. Гібриди – це перші кроки у створенні електромобіля (у ньому двигун внутрішнього згоряння або ДВЗ) виступав основним агрегатом, а електродвигун відігравав другорядну роль і заряджався



основного). Відповідно, запас ходу такого електродвигуна був дуже малий. Хоча на більш пізніх моделях гібридів встановлювали батареї більшої ємності.

2. Гібриди з підзарядкою від мережі також мають як ДВЗ, так і електродвигун, але в них реалізована можливість заряджати батарею від звичайної побутової розетки. Завдяки збільшеній потужності батареї запас ходу плагін-гібрида на електродвигуні може досягати 100 км і більше.

3. Електромобіль з розширеним діапазоном ходу – електромобіль, який також використовує два двигуни, але електрична установка є основним, а ДВЗ – допоміжним. У таких системах ДВЗ використовується лише для вироблення енергії для електродвигуна. Така конструкція, з одного боку, дозволяє економити паливо при використанні електродвигуна, а з іншого – легко вирішує проблему обмеженого пробігу, оскільки заправки можна знайти практично скрізь.

4. Класичний електромобіль – це транспортний засіб, який рухається виключно за рахунок енергії від батареї. Екологічно чистий (або майже екологічно чистий) транспорт, який наразі набуває все більшої популярності. Зарядка електродвигуна можлива на спеціалізованих електрозаправках, від побутової розетки або мобільних станцій.

5. Електромобіль на паливних елементах. Як випливає з назви, джерелом енергії для електродвигуна є не акумулятор, а паливний елемент (наприклад, стиснений водень).

ЕВТЗ мають схожу будову з традиційними вантажними транспортними засобами, але оснащені «електричною технологією» (рис. 2). Кожен виробник може мати свою унікальну конструкцію, але ці елементи зазвичай є базовими для більшості вантажних транспортних засобів:

1. Кузов (головна частина транспортного засобу, призначена для перевезення вантажів, може мати різні конфігурації залежності від типу вантажу та завдань перевезення).

2. Батарея (живить електричний двигун). Це один з основних джерел живлення, яке забезпечує енергію для руху транспорту. Зниження вартості та збільшення ємності батареї (подовження терміну служби) відкриває більше можливостей для перевезень на далекі відстані.

3. Електричний двигун (він відповідає за приведення в рух автомобіля). Електричний двигун замінює традиційний двигун з внутрішнього згоряння.

4. Управління та керування (системи, що включають у себе електроніку для управління енергією, керуванням системами безпеки, системами регенерації енергії під час гальмування тощо). Контролер силової електроніки керує потоком електричної енергії між батареєю, електродвигуном та іншими системами (включає такі компоненти, як інвертори, перетворювачі та програмне забезпечення).

5. Зарядна система (для заряджання батареї необхідна відповідна система, яка може бути підключена до електричної мережі). Акумуляторна батарея заряджається від зовнішнього джерела живлення, наприклад, від зарядної станції, розетки або спеціального зарядного пристрою.

6. Підвіска та колеса (забезпечує комфортну поїздку для водія та збереженість вантажу рухаючись автомобільними шляхами).

7. Кабіна водія (робоче місце, оснащене інструментами керування, інформаційними панелями, сидінням та іншими конструктивними елементами).

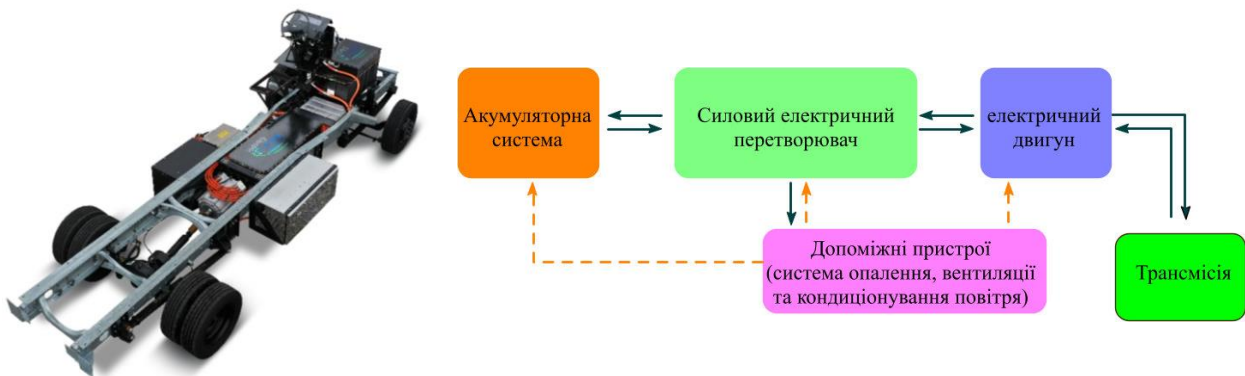


Рисунок 2 – Шасі електричного вантажного транспортного засобу Ford F-59 [9] та його принципова схема

Способи заряджання електричного транспорту поділяються на три рівні залежно від кількості енергії, яку вони передають акумулятору за одиницю часу:

Рівень (найпростіший і найпоширеніший спосіб зарядки). Передбачає підключення електромобіля до звичайної побутової розетки, що робить його зручним варіантом для нічної зарядки.

Рівень 2 (передбачає встановлення спеціальної зарядної станції). Станції працюють від електромережі 220 В і забезпечують значно швидшу зарядку порівняно із зарядними пристроями рівня 1. Цей тип зарядки може повністю зарядити батарею електромобіля за декілька годин, що робить його придатним для підприємств з невеликим автопарком.

Рівень 3 (швидка зарядка постійним струмом). Забезпечує набагато вищу вихідну потужність, що дозволяє значно скоротити час заряджання. Цей метод зазвичай використовується на підприємствах і громадських зарядних станціях і може забезпечити 80% заряджання всього за 20-30 хвилин. Однак такі пристрої потребують спеціалізованого обладнання [10].

Хоча впровадження ЕВТЗ стає все більш поширеним, необхідно вирішити три групи проблем. Ці виклики пов'язані з впровадженням технологій електромобілів, інтеграцією електромобілів і «розумних» електромереж, а також ланцюгом постачання сировини для виготовлення силових енергетичних джерел [3, 11].

Хоча електромобілі вважаються транспортними засобами з нульовим рівнем викидів, їх використання може бути пов'язане з непрямым забрудненням навколишнього середовища, спричиненими джерелами, що використовуються для виробництва електричної енергії, а також іншими джерелами забруднення, такими як переробка [12].

Одним з найбільших викликів ЕВТЗ (але це лише питання часу) є нижчий запас ходу порівняно з дизельними аналогами. За даними Європейської статистичної системи Eurostat станом на жовтень 2023 року середня відстань в загальному обсязі вантажних автомобільних перевезень в ЄС, становила 141,3 км, тоді як у національних автомобільних перевезеннях – 95,4 км; у міжнародних перевезеннях – 611,6 км [13].

Як повідомляє Інститут досліджень авторинку станом на сьогодні в Україні більшість вантажівок купують вживаними (якщо в ЄС ухвалить повний перехід на виготовлення ЕВТЗ, глобального впливу на український ринок це не матиме). Продажі нових комерційних транспортних засобів знаходиться на низькому рівні, в першу чергу – через низьку купівельну спроможність та складний стан української економіки. Загалом продажі нових вантажних автомобілів та автобусів склали лише 6,4% від загальної кількості угод купівлі-продажу транспортних засобів цієї категорії. Загалом в Україні сьогодні зареєстровано лише 42 вантажних транспортних засоби масою понад 3,5 тони з електричним двигуном, та 4 електроавтобуси [14].

Директор з випробувань Volvo Trucks Тобіас Бергман зазначає, що повна маса ЕВТЗ може становити 44 тони, а загальний запас ходу на одній зарядці – 345 кілометрів (протягом звичайного робочого дня можна проїхати до 500 км з короткою зупинкою для зарядки) [15].

Такі дані можна прийняти відправною точкою для вибору ЕВТЗ залежно від дальності поїздки. Зокрема у дослідженні Європейської федерації транспорту і навколишнього середовища (Т&Е) авторами зазначено, що «наразі запас ходу ЕВТЗ в основному орієнтований на доставку вантажу до 100 км і, як правило, здійснюються для міських перевезень та часто мають меншу корисну вантажопідйомність» [16].

Для розробників MAN з самого початку було зрозуміло, що повсюдний перехід на електромобільність може бути успішним лише в тому випадку, якщо новий еTruck нічим не поступатиметься дизельній вантажівці на практиці – особливо з точки зору можливості комбінування з найрізноманітнішими кузовними рішеннями [17].

Створення та розгортання ефективного плану електрифікації автомобільного парку вимагає врахування багатьох змінних (хоча кожен проєкт потребує індивідуального підходу). Керівники транспортних підприємств (логістичних операторів) повинні усвідомлювати виклики, пов'язані з економічно і технічно обґрунтованою доцільністю оновлення рухомого складу, необхідності створення зарядних станцій, змін в організації технічного сервісу, навчання обслуговуючого персоналу, оптимізацію загальних витрат, залучення інвестицій.

Для транспортних компаній найбільше значення має дальність пробігу відповідно до конфігурації батареї та швидка зарядка, оскільки інфраструктура зарядних станцій все ще не розвинена, і тому «заправку» потрібно планувати заздалегідь.

Існує ряд факторів, які впливають на успішне встановлення інфраструктури для зарядки ЕВТЗ, яка принципово відрізняється від заправки паливом і вимагає розуміння фізичної зарядної

інфраструктури та структури витрат на електроенергію, а також того, як вони взаємодіють між собою:

1. ЕВТЗ та зарядні пристрої повинні працювати як єдина злагоджена система (зарядна інфраструктура – це лише компонент системи, що враховує зарядні потреби транспортного засобу, структуру тарифів на електроенергію тощо. Необхідно обирати окремі компоненти тільки після проектування всієї системи, не тільки для початкового впровадження, але й для потенційних майбутніх потреб (не всі зарядні пристрої добре працюють з усіма ЕВТЗ). Будьте готові до того, що цей процес буде циклічним.

2. Транспортне підприємство є ключовим енергетичним партнером. ЕВТЗ споживають багато енергії, можливо, більше, ніж маємо в своєму розпорядженні. Енергоспоживання зростатиме зі збільшенням кількості електротранспорту. Необхідно визначити, скільки енергії необхідно в короткостроковій і довгостроковій перспективі для повної реалізації планів. Варто проаналізувати, наявну потужність для зарядки вантажівок, і скільки ще знадобиться, щоб вийти за межі пілотного проекту. Рекомендується координувати власні дії з енергетичною компанією та змінювати графік впровадження, щоб забезпечити електроенергією в будь-який час.

3. Умови використання та конструкція зарядного пристрою суттєво впливають на вартість заряджання. Зарядні пристрої змінного та постійного струму доступні в широкому діапазоні потужностей та технологій, які підходять для будь-якого транспорту. Загалом, розподілення заряджання на більш тривалий час і використання меншої потужності зарядки зменшує витрати на зарядне обладнання та електроенергію, а також збільшує термін служби акумулятора. Розробіть стратегію заряджання так, щоб найкращим чином використовувати заплановані просторі ЕВТЗ. Програмне забезпечення для керування зарядкою може окупити себе, гарантуючи, що транспортні засоби будуть готові до роботи, коли це буде потрібно, з найменшими витратами.

### **ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Не існує чітко визначеного часу, коли загальна вартість експлуатації ЕВТЗ буде нижчою, ніж у паливних з ДВЗ, це рухома шкала. Нижчі ціни на акумулятори, електроенергію, розвинута інфраструктура зарядних станцій працюють на користь електрифікації, тоді як висока ціна на пальне працює проти неї. Більше того, більший законодавчий та суспільний поштовх до екологічно чистого транспорту може означати, що зміни відбудуться швидше, ніж ми думаємо.

Це лише початкові уявлення про акумулятори для ЕВТЗ та «зелені» переваги електротранспорту. Оскільки електромілізація невпинно продовжує набирати обертів, ці дебати, ймовірно, триватимуть, створюючи нові пункти для суперечок і дискусій. Однак сьогодні можна сказати, що ЕВТЗ залишаться, і в поєднанні з більш широким впровадженням відновлюваних джерел енергії та декарбонізацією електромережі будуть пропонувати альтернативний шлях до економічного і суспільного зростання, турботи про довкілля, підвищення ефективності вантажних автомобільних перевезень.

### **ВИСНОВКИ**

Таким чином, ЕВТЗ, як найсучасніший сегмент транспорту, демонструють значний прогрес у впровадженні інноваційних рішень і технологій сьогодення. Це прагнення зменшити свій вплив на довкілля призвело до позитивних змін у галузі і є яскравим прикладом для інших секторів економіки.

Однак, стверджувати про швидкий перехід на електричний вантажний транспорт зарано, а у довгостроковій перспективі поступова відмова від паливних двигунів внутрішнього згоряння буде відігравати важливу роль у скороченні шкідливих викидів.

### **ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Potdar V., Batool S., Krishna A. Risks and Challenges of Adopting Electric Vehicles in Smart Cities. *Smart Cities. Computer Communications and Networks*. Springer, Cham. 2018. pp 207–240. Режим доступу : [https://doi.org/10.1007/978-3-319-76669-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-76669-0_9).
2. Hawkins T. R., Singh B., Majeau-Bettez G., Strømman A. H. Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*. 2012. Vol. 17 (1), 53-64. Режим доступу : <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x>.
3. Putrus G. A., Suwanapingkarl P., Johnston D., Bentley E. C., Narayana M. Impact of Electric Vehicles on Power Distribution Networks. 5th *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, University of Michigan, Dearborn, USA. 2009. Режим доступу : [https://www.researchgate.net/publication/224605362\\_Impact\\_of\\_electric\\_vehicles\\_on\\_power\\_distribution\\_networks](https://www.researchgate.net/publication/224605362_Impact_of_electric_vehicles_on_power_distribution_networks).

4. Steinhilber S., Wells P., Thankappan S. Socio-technical inertia: Understanding the barriers to electric vehicles. *Energy Policy*. Vol. 60, September 2013, Pages 531-539. Режим доступу : <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.04.076>.
5. Granovskii M., Dincer I., Rosen M. A. Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles. *Journal of Power Sources*. 2006. Vol. 159. 1186–1193. Режим доступу : <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2005.11.086>.
6. Apata O., Bokoro P. N., Sharma G. The Risks and Challenges of Electric Vehicle Integration into Smart Citie. *Energies*. 2023, 16, 5274. Режим доступу : <https://doi.org/10.3390/en16145274>.
7. Going electric. A pathway to zero-emission buses. Policy paper. European Bank for Reconstruction and Development. London. 2021. P. 78. Режим доступу : <https://www.ebrd.com/infrastructure/going-electric.pdf>.
8. Electric motor - classification and operating principle of an electric vehicle engine. *Toka* : веб-сайт. Режим доступу : <https://toka.energy/en/blog/electric-motor/>.
9. First 100% Electric Ford F-59 in Production for SEA Electric. *Sea-electric* : веб-сайт. Режим доступу : <https://www.sea-electric.com/first-100-electric-ford-f-59-in-production-for-sea-electric/>.
10. Electric Vehicle Working Principle Explained. *Intellipaat* : веб-сайт. Режим доступу : <https://intellipaat.com/blog/electric-vehicle-working-principle/>.
11. Potdar V., Batool S., Krishna A. Risks and Challenges of Adopting Electric Vehicles in Smart Cities. *Smart Cities*. 2018. pp.207-240. Режим доступу : [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-76669-0\\_9](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-76669-0_9).
12. Varga B.O., Mariasiu F. Indirect environment-related effects of electric car vehicles use. *Environmental Engineering and Management Journal*. 2018, Vol. 17, No. 7, 1591-1597. Режим доступу : <https://doi.org/10.30638/eemj.2018.158>.
13. Road freight transport by journey characteristics. Європейська статистична система *Eurostat* : веб-сайт. Режим доступу : <https://cutt.ly/lwGF1byw>.
14. Чи є сенс замінювати усі вантажівки на електричні? Автомобільна галузь проти. ГС «Інститут досліджень авторинку» : веб-сайт. Режим доступу : <https://eauto.org.ua/news/270-chi-ye-sens-zaminyuvati-usi-vantazhivki-na-elektrichni-avtomobilna-galuz-proti>.
15. Road freight transport's electric truck challenge. *Girteka Logistics* : веб-сайт. Режим доступу : <https://www.girteka.eu/road-freight-transport-electric-truck-challenge/>.
16. Earl T., Mathieu L., Cornelis S., Kenny S., Ambel C. C, Nix J. Analysis of long haul battery electric trucks in EU. Marketplace and technology, economic, environmental, and policy perspectives. 2018. Режим доступу : <https://cutt.ly/7wGF0Lzm>.
17. Man eTruck impresses body manufacturers and customers. *MAN Truck & Bus* : веб-сайт. Режим доступу : <https://www.man.eu/corporate/en/experience/man-e-truck-impresses-body-manufacturers-and-customers-136128.html>.

## REFERENCES

1. Potdar, V., Batool, S. & Krishna, A. (2018). Risks and Challenges of Adopting Electric Vehicles in Smart Cities. In: Mahmood, Z. (eds) *Smart Cities. Computer Communications and Networks*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-76669-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-76669-0_9)
2. Hawkins, T. R., Singh, B., Majeau-Bettez, G. & Strømman, A. H. (2012). Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*. Vol. 17 (1), 53-64. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x>.
3. Putrus, G. A., Suwanapingkarl, P., Johnston, D., Bentley, E. C. & Narayana, M. (2009). Impact of Electric Vehicles on Power Distribution Networks. 5th *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, University of Michigan, Dearborn, USA. [https://www.researchgate.net/publication/224605362\\_Impact\\_of\\_electric\\_vehicles\\_on\\_power\\_distribution\\_networks](https://www.researchgate.net/publication/224605362_Impact_of_electric_vehicles_on_power_distribution_networks).
4. Steinhilber, S., Wells, P. & Thankappan, S. (2013). Socio-technical inertia: Understanding the barriers to electric vehicles. *Energy Policy*. Vol. 60, 531-539. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.04.076>.
5. Granovskii, M., Dincer, I. & Rosen, M. A. (2006). Economic and environmental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles. *Journal of Power Sources*. Vol. 159. 1186–1193. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2005.11.086>.
6. Apata, O., Bokoro, P. N. & Sharma, G. (2023). The Risks and Challenges of Electric Vehicle Integration into Smart Citie. *Energies*. 16, 5274. <https://doi.org/10.3390/en16145274>.



7. Going electric. A pathway to zero-emission buses. Policy paper, [online]. Available at : <https://www.ebrd.com/infrastructure/going-electric.pdf>.
8. Electric motor - classification and operating principle of an electric vehicle engine. Available at : <https://toka.energy/en/blog/electric-motor/>.
9. First 100% Electric Ford F-59 in Production for SEA Electric, [online]. Available at : <https://www.sea-electric.com/first-100-electric-ford-f-59-in-production-for-sea-electric/>.
10. Electric Vehicle Working Principle Explained, [online]. Available at : <https://intellipaat.com/blog/electric-vehicle-working-principle/>.
11. Potdar, V., Batool, S. & Krishna, A. (2018). Risks and Challenges of Adopting Electric Vehicles in Smart Cities. *Smart Cities*. 207-240. [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-76669-0\\_9](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-76669-0_9).
12. Varga, B.O. & Mariasiu, F. (2018). Indirect environment-related effects of electric car vehicles use. *Environmental Engineering and Management Journal*. Vol. 17, 7. 1591-1597. <https://doi.org/10.30638/eemj.2018.158>.
13. Road freight transport by journey characteristics, [online]. Available at : <https://cutt.ly/1wGF1byw>.
14. Does it make sense to replace all trucks with electric ones? Automotive industry vs, [online]. Available at : <https://eauto.org.ua/en/news/270-does-it-make-sense-to-replace-all-trucks-with-electric-ones-automotive-industry-vs> (in Ukrainian).
15. Road freight transport's electric truck challenge, [online]. Available at : <https://www.girteka.eu/road-freight-transport-electric-truck-challenge/>.
16. Earl, T., Mathieu, L., Cornelis, S., Kenny, S., Ambel, C. C. & Nix, J. (2018). Analysis of long haul battery electric trucks in EU. Marketplace and technology, economic, environmental, and policy perspectives. <https://cutt.ly/7wGFOLzm>.
17. Man eTruck impresses body manufacturers and customers, [online]. Available at : <https://www.man.eu/corporate/en/experience/man-e-truck-impresses-body-manufacturers-and-customers-136128.html>.

### **I. Khitrov. Application of electric vehicles for freight transportation**

Electric freight vehicle are transport vehicles that operate on electrical energy. They typically feature electric motors powered by batteries or other electrical sources. These vehicles can be used for transporting freight over short to medium distances in urban settings or for commercial purposes.

Electric freight vehicles have several advantages, such as reduced environmental pollution due to no exhaust emissions, lower energy costs compared to fuel-based vehicles, reduced maintenance expenses (especially regarding engine servicing), and the ability to utilize various renewable energy sources for charging.

However, they also have limitations, including limited range on a single charge, charging time duration, and limited power for transporting heavy loads over long distances. Although technology is constantly evolving, innovations in battery technologies and charging stations may address some of these limitations in the future.

For the time being, it is not necessary to establish a complete ban on the production of classic commercial truck vehicles, but to implement a gradual reduction of emissions by all available means. In addition, the interim targets set should be revised to assess what other technologies can be used to produce, a modern electric freight vehicle.

The purpose of this study is to identify all the risks and challenges associated with electro mobility, which will further allow to assess the efficiency of electric freight transportation and build a development strategy for the carrier.

**Key words:** electric freight vehicle, vehicle structure, freight transportation, charging infrastructure.

*ХИТРОВ Ігор Олександрович*, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: [i.o.khitrov@nuwm.edu.ua](mailto:i.o.khitrov@nuwm.edu.ua); <https://orcid.org/0000-0003-2310-1472>.

*Ihor KHITROV*, PhD, Associate Professor of the Transport Technology and Technical Service Department, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: [i.o.khitrov@nuwm.edu.ua](mailto:i.o.khitrov@nuwm.edu.ua); <https://orcid.org/0000-0003-2310-1472>.

DOI 10.36910/automash.v1i22.1376



**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТЯГОВОГО ОПОРУ РОБОЧОГО ОРГАНУ ЗНАРЯДДЯ ДЛЯ ГЛИБОКОГО РОЗПУШЕННЯ ҐРУНТУ**

Однією із основних проблем класичної системи землеробства, яка передбачає використання лемішного плуга, є формування переуцільненого підорного шару ґрунту – так званої «плужної підшви». Тому провідні виробники ґрунтообробної техніки пропонують на ринку широку гаму машин для глибокого розпушення ґрунту.

Аналіз конструкцій робочих органів у знаряддях для глибокого розпушення ґрунту вказує, що за основним конструктивним ознаками та виконуваним функціям їх можна об'єднати у 3 групи. До першої належать лапи типу зего-міх, які не виносять на поверхню розпушений шар ґрунту і зберігають непорушеним поверхневий рослинний шар. До другої групи належать робочі органи, які у більшості виробників називаються параболічними та забезпечують винесення на поверхню дрібно структурної фракції ґрунту. Третю групу представляють робочі органами, які обладнані розпушуючою полицею тієї чи іншої форми.

У той же час відсутня пропозиція глибокорозпушувачів або хоча б чизельних культиваторів для мінітракторів (потужністю двигуна до 20-25 кВт). Це не дозволяє реалізувати розпушення підорних переуцільнених шарів на невеликих дачних ділянках та огородах площею до 0,5 га. Як правило, обробляються на глибину у межах 15-20 см, а нижчі шари ущільнені до 30 і більше кг/см<sup>2</sup>. Для цього може бути використаний модернізований культиватора для поверхневого обробітку ґрунту із ярусним розташуванням робочих органів. Але для зниження енергетичних затрат та якісного виконання розпушення потребує удосконалення робочий орган у вигляді стрілчатої лапи.

Тому метою дослідження є обґрунтування конструкції робочого органу знаряддя для розпушення підорного шару ґрунту та встановленні експериментальної залежності тягового опору такого робочого органу від глибини обробітку та стану ґрунту. Для вирішення поставленої мети за методикою побудови робочої поверхні корпусу плуга розроблено форму полиці для модернізації стрілчатої лапи у робочий орган для глибокого розпушення ґрунту. За отриманими у результаті побудови кривими ортогональних перерізів та розгорткою поверхні виготовлено дослідний взірєць такої полиці.

Також, на основі математичного методу планування експерименту, розроблена методика дослідження тягового опору існуючого та удосконаленого робочих органів. Дана методика дозволяє отримати залежність тягового опору робочих органів від глибини обробітку та вологості ґрунту у вигляді рівняння регресії. Дослідження були реалізовані у лабораторному ґрунтовому каналі.

Аналіз отриманих рівнянь регресії та поверхонь відгуку виявив, що вплив вологості ґрунту та глибини ходу робочих органів є значущим. При цьому за глибини ходу робочих органів  $h = 10$  см тяговий опір у обох варіантів практично однаковий і зростає за зростання вологості ґрунту. Очевидно, що таке явище має місце через те, що за вказаної глибини у модернізованій лапі додаткова полиця практично не взаємодіє із ґрунтом. Тому у випадку використання культиватора в режимі глибокого розпушення ґрунту перший ряд робочих органів не доцільно обладнувати полицями. У той же час за зростання глибини ходу робочих органів до 20 см і особливо 30 см спостерігається зростання тягового опору у модернізованого робочого органу у порівнянні із штатним у межах 10-40 Н. При цьому менший приріст відповідає глибині ходу 20 см та меншим значенням вологості. Таким чином використання модернізованого робочого органу не спричинює суттєвого зростання тягового опору у порівнянні із штатним, що створює передумови до встановлення таких робочих органів у другому та третьому ряді культиватора за його роботи в режимі глибокорозпушувача. Таке удосконалення значно покращить розпушування нижніх шарів ґрунту без їх винесення на поверхню. У той же час слід застосовувати попарне розташування лап із правосторонньою та лівосторонньою полицями.

**Ключові слова:** твердість ґрунту, глибоке розпушення, конструкція, робочий орган, тяговий опір, вологість, рівняння регресії, поверхня відгуку

**ВСТУП**

Однією із основних проблем класичної системи землеробства, яка передбачає використання лемішного плуга є формування переуцільненого підорного шару ґрунту – так званої «плужної підшви». Проте проблема деградації ґрунтів шляхом їх переуцільнення є надзвичайно актуальною для нашої країни не залежно від використовуваних систем землеробства [1]. Тому провідні виробники ґрунтообробної техніки пропонують на ринку широку гаму машин для глибокого розпушення ґрунту.

Використання знарядь для глибокого розпушення є не новим як для нашої країни так і за кордоном. Але звичайно сьогодні стало особливо актуальним. Для таких знарядь часто використовують назву чизель-культиватор або просто чизель.

До загальної характеристики цього знаряддя належить здатність глибокого розпушення ґрунту, який розташовується нижче орного шару але без перевертання шарів. Виконання вказаного

завдання виконує основний робочий орган глибокорозпушувача - лапа. Для покращення стану поверхні оброблюваного ґрунту такі знаряддя обладнують дисковими подрібнювачам та котками різних видів тощо [2].

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Форма основного робочого органу глибокорозпушувача, тобто лапи визначає результат у розпушенні ґрунту. Так фірма Grégoire Besson пропонує на ринку України глибокорозпушувач HELIOS із двома типами лап, які забезпечують кардинально різний результат у обробітку на поверхні поля [3]. У першому випадку це рихлення без порушення верхнього шару ґрунту (рис. 1, а), а у другому випадку рихлення на всю робочу глибину (рис. 1, б)



Рис. 1 - Фото результату глибокого обробітку на поверхні поля: а - без порушення верхнього шару ґрунту; б - рихлення на всю робочу глибину

Для випадку рихлення без порушення верхнього шару виробник пропонує «проміжне рихлення» на глибину від 25 до 35 см. Таке рихлення усуває плужну підшову або наслідки вирощування цукрового буряку із наступним його збиранням за несприятливих погодних умов шляхом формування тріщин в нижніх шарах ґрунту без перемішування шарів ґрунту. Завдяки цьому усі органічні речовини та рослинні рештки лишаються на поверхні і тим самим сприяють збереженню ґрунту. При цьому використовується лапа типу Michel (рис. 2, а)

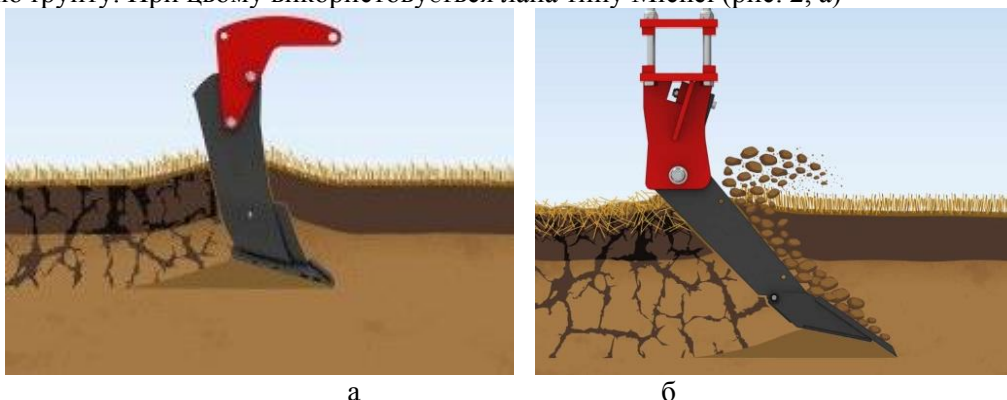


Рис. 2 - Схема роботи лапи типу Michel без винесення частинок ґрунту на поверхню (а) та із розпушенням поверхневого шару лапою типу Cracker

У випадку комплектації знаряддя Helios лапами типу Cracker забезпечується розпушення ґрунту на глибину до 60 см (рис.2, б). Завдяки цьому усувається ущільнення, що виникає через екстремальні погодні умови, випас худоби тощо. Таке розпушення забезпечує циркуляцію повітря та води у нижніх шарах ґрунту. У цьому випадку розпушення поверхні поля схоже на безполицеву оранку. Тут має місце перемішування рослинних залишків з ґрунтом і тим самим прискорюється мінералізація рослинних решток, що сприяє формуванню структури ґрунту.

Фірма Bednar також пропонує два типи робочих органів для обладнання глибокорозпушувачів [4]. У випадку використання лапи active-mix із видовженим долотом і бічними крилами (рис. 3, а) створюються умови для підрізання та розпушення ґрунту у зоні дії лапи. Така лапа, як і лапа Cracker від фірми Grégoire Besson, руйнує ущільнений підорний шар на глибину до 55-65 см і змішує ґрунт із поживними рештками. У цьому випадку суттєво зростає тяговий опір знаряддя та виникає потреба у тракторі більшої потужності. Обробітку ґрунту на глибину 55-65 см без його перемішування забезпечує лапа zero-mix із тупим кутом входження стійки у ґрунт (рис. 3, б). У цій лапі кут атаки мінімальний, але вона забезпечує активне розпушення нижніх ущільнених шарів та аерацію ґрунту.

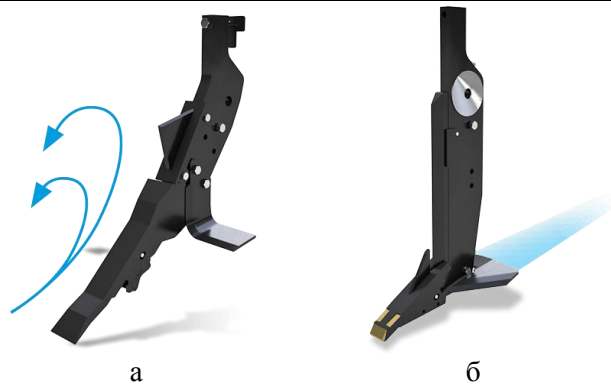


Рис. 3 - Типи лап глибокорозпушувачів фірми Vednar: а – лапа active-mix; б – лапа zero-mix

Фірма Great Plains пропонує на ринку чизельні культиватори Max-Chisel із параболічним та чизельним робочим органом (рис. 5) [5]. Згідно технічних характеристик обидва робочі органи призначені для вертикального обробки ґрунту на глибину від 20 до 32 см. При цьому кріплення лап до рами забезпечує обмеження глибини ходу величиною опору ґрунту, що розпушується. Це здійснюється завдяки встановленню пружинного механізму. Максимальне зусилля за якого спрацьовує запобіжний пристрій та починає виглиблюватись параболічна лапа складає 1111 кГс, а для чизельної – 408 кГс.

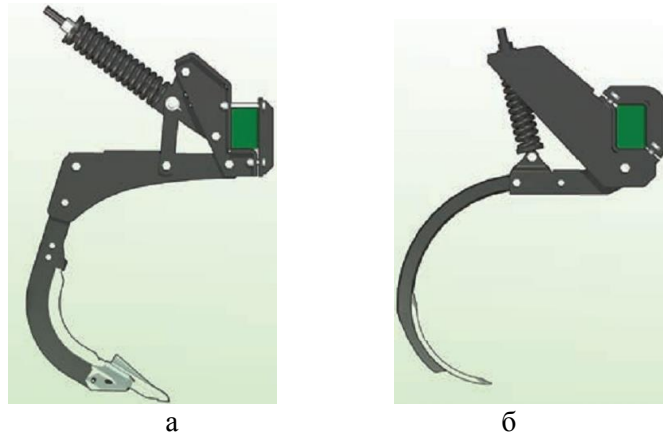


Рис. 4 - Робочі органи чизельного культиватора Max-Chisel фірми GreatPlains: а – параболічний; б – чизельний

З метою обробки переущільнених шарів ґрунту на глибині до 41 см лінійка ґрунтообробної техніки фірми GreatPlains включає глибокорозпушувач VT1500 [5]. Для такого типу машин фірма пропонує робочі органи із шириною стійки 32 мм (рис.5, а) або робочі органи нульового циклу з шириною стійки 19 мм (рис.5, б). Робочий орган нульового циклу менш жорсткий, як стійка з прямими лапами. Тому його рекомендують використовувати там, де бажано менше деформувати ґрунт. У стандартній комплектації усіх видів робочих органів передбачено змінні накладки, котрі швидко зношуються.

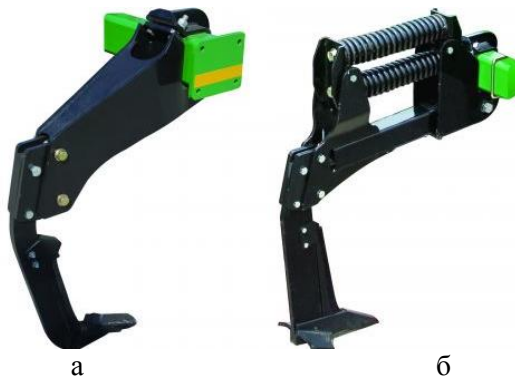


Рис. 5 - Робочі органи глибокорозпушувача VT1500: а – з прямою лапою; б – нульового циклу



Виробник пропонує для робочого органу з шириною стійки 32 лапи шириною 51 або 178 мм (рис. 6, а). Лапи можуть бути з плавником або без нього (плавник мінімізує зрушення поверхневого шару ґрунту).



Рис. 6 - Варіанти лап робочих органів глибокорозпушувача VT1500: а - ширина стійки 32 мм; б - стійка нульового циклу шириною 19 мм

Стійка робочих органів нульового циклу комплектується 254-міліметровими лапами для відстані між робочими органами 76 см і більше, або із 102 – міліметровими лапами для відстані між робочими органами 61 см (рис. 6, б). Робочий орган нульового циклу мінімізують розпушення поверхні ґрунту але максимально подрібнюють структуру ґрунту під поверхнею.

Аналогічний підхід до комплектування робочими органами глибокорозпушувачів має фірма Wil-Rich, яка входить до групи компаній Väderstad [6]. Вирбником передбачено параболічний робочий орган (рис. 7, а), який максимально розпушує поверхневий шар та робочий орган для мінімального зміщення ґрунту (рис. 7, б).



Рис. 7 - Робочі органи глибокорозпушувачів фірми Wil-Rich: а – параболічний, б – мінімальне зміщення ґрунту

Три основних типи робочих органів пропонує фірма Јупра у складі своїх глибокорозпушувачів. Для перших проходів на полях із переущільненим шаром ґрунту пропонується машини модельного ряду RIGEL із долотоподібними робочими органами (рис.8, а) [7]. Долотоподібні параболічні лапи обладнані крилами встановлені на глибокорозпушувачах модельного ряду SIRIUS (рис. 8, б). Такі лапи, за інформацією виробника, забезпечують покращене подрібнення ґрунту.



Рис. 8 - Глибокорозпушувачі фірми Јупра модельного ряду: а - RIGEL; б - SIRIUS

Для використання у системі органічного землеробства фірма Јумра пропонує модельний ряд глибокорозпушувачів МІНТАКА із робочими органами у вигляді полиць (рис. 9, а) [7]. Таке знаряддя здійснює глибоке розпушення ґрунту (45-55 см) у тому числі і в підорних зонах, що сприяє покращенню фільтрації води та розвитку кореневої системи. Окрім цього знаряддя практично не зміщує верхні шари ґрунту. Для покращення розпушення ґрунту в якості опції до таких машин пропонується криловидний леміш (рис. 9, б)

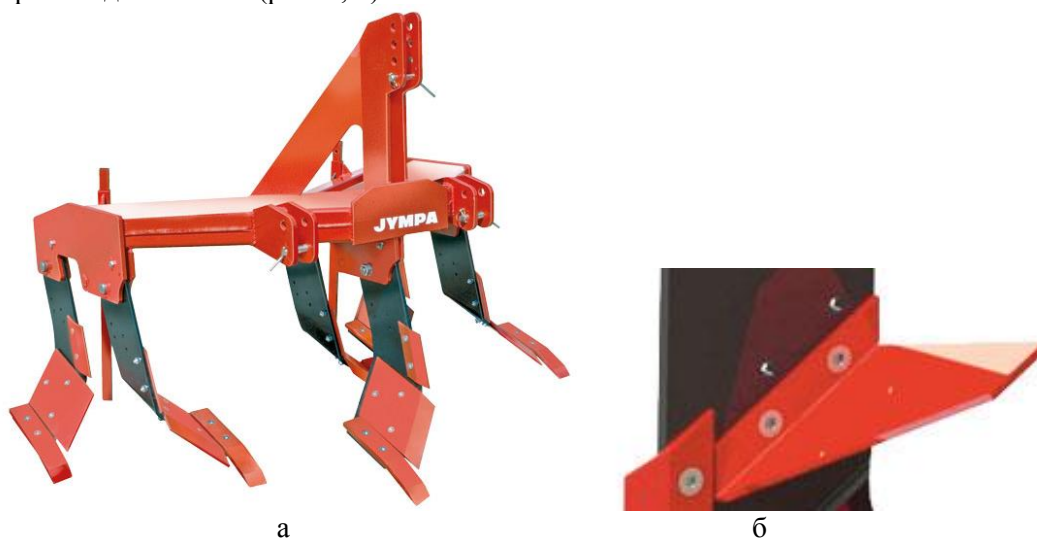


Рис. 9 - Плуг глибокорозпушувач МІНТАКА

Наведений аналіз конструкцій робочих органів у знаряддях для глибокого розпушення ґрунту вказує, що за основним конструктивним ознаками та виконуваним функціям їх можна об'єднати у 3 групи. До першої можна віднести лапи типу zero-till, яка не виносить на поверхню розпушений шар ґрунту і зберігає непорушеним поверхневий рослинний шар. До другої групи належать робочі органи, які у більшості виробників називаються параболічними та забезпечують винесення на поверхню дрібно структурної фракції ґрунту. Третю групу представляють робочі органи, які обладнані розпушуючою полицею тієї чи іншої форми. У цьому випадку винесення розпушеного ґрунту на поверхню не відбувається. Також варто звернути увагу на спосіб кріплення до рами через пружинний запобіжний пристрій у чизельних культиваторах Max-Chisel фірми GreatPlains. Такі запобіжні пристрої створюють передумови для заглиблення робочих органів у автоматичному режимі на глибину залягання саме ущільненого шару.

Аналіз технічних характеристик розглянутих глибокорозпушувачів вказує, що для їх використання потрібні трактори із потужністю двигуна від 40 кВт (найменший показник у ANTARES-1 фірми Јумра) [7]. Пропозиція глибокорозпушувачів або хоча б чизельних культиваторів для мінітракторів (потужністю двигуна 20-25 кВт) відсутня. Це не дозволяє реалізувати розпушення підорних переущільнених шарів на невеликих дачних ділянках та огородах площею до 0,5 га. Загальновідомим є те, що такі ділянки обробляються на глибину у межах 15-20 см, а нижчі шари ущільнені до 30 і більше кг/см<sup>2</sup>.

На основі досліджень впливу на твердість ґрунту способів обробітку нами запропоновано схему модернізації культиватора для поверхневого обробітку ґрунту у чизельний культиватор для розпушення шарів ґрунту на глибину до 30 см [8]. У той же час в складі знаряддя передбачається використанні стандартного робочого органу культиватора у вигляді стрілкової лапи, яка не може якісно виконувати розпушення шару ґрунту на глибині понад 15 см.

Таким чином слід зазначити, що потребує вирішення проблема розпушення підорного шару ґрунту на невеликих дачних ділянках та огородах площею до 0,5 га у межах глибин 20-50 см. Для цього може бути використаний модернізований культиватора для поверхневого обробітку ґрунту із ярусним розташуванням робочих органів [8]. Але для зниження енергетичних затрат та якісного виконання розпушення оптребує модернізації робочий орган у вигляді стрілкової лапи.

#### **ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Метою роботи є обґрунтування конструкції робочого органу знаряддя для розпушення підорного шару ґрунту та встановленні експериментальної залежності тягового опору такого робочого органу від глибини обробітку та стану ґрунту.



## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Обґрунтування конструкції робочого органу знаряддя.** Проведений аналіз літературних джерел виявив потребу у розробці робочого органу для модернізованого культиватора [8]. Оскільки існуючий начіпний культиватор, який взято за основу при модернізації, комплектується стрілочними лапами із стандартною стійкою. У випадку його використання у першому ряду лап, згідно схеми розташування, він буде цілком задовільно розпушувати поверхневий шар ґрунту та зменшуватиме опір для наступних ряду. Проте уже для другого ряду лап, який працює на глибині 20 см з'явиться негативний вплив від лобового опору стійки, яка має ширину у фронтальній площині 16 мм. Те ж стосується, але ще більшою мірою, лап третього ряду. Адже їх глибина ходу складає 30 см. Тому для зменшення лобового опору стійки доцільно обладнати її ріжучим ножем за аналогією із плавником лапи робочого глибокорозпушувача VT1500 фірми GreatPlains (див. рис. 5). Також, для створення передумов до використання знаряддя для основного обробітку ґрунту, доцільно використати підхід фірми Лумра, який реалізований у плугах розпушувачах MINTAKA. Тобто обладнати робочий орган полицею для покращення розпушування підорного шару без винесення частинок ґрунту на поверхню.

У такому випадку лапи першого ряду розпушуватимуть поверхневий шар та зменшуватимуть опір руйнування шару ґрунту для лап другого та третього ряду. Лапи другого ряду розпушуватимуть шар ґрунту у межах глибин 10-20 см, створюючи умови для росту та розвитку кореневої системи сільськогосподарських культур, інтенсивно перемішуючи шари ґрунту без їх винесення на поверхню. Аналогічно буде дія і третього ряду лап, які окрім наведеного будуть руйнувати підорну підшву. Поєднання конструкції циліндроїдальної полиці із ріжучим плавником забезпечить збереження тягового опору знаряддя у допустимих межах. У пропонованому варіанті комплектації культиватора його ширина захвату складатиме 1200 мм, що узгоджується із шириною колі тракторів із потужністю двигуна до 25 кВт.

Для розробки форми робочої поверхні полиці було застосовано методику побудови робочої поверхні корпусу плуга. У результаті було отримано розгортку (заготовку металу) та криві ортогональних перерізів (шаблонні криві) (рис. 10) за якими і було виготовлено дослідний взірець полиці (рис. 11, а)

Для встановлення залежності тягового опору досліджуваних робочих органів від глибини обробітку та вологості ґрунту у вигляді рівняння регресії було застосовано математичний метод планування експерименту. Рівні варіювання досліджуваних факторів наведено у таблиці 1.

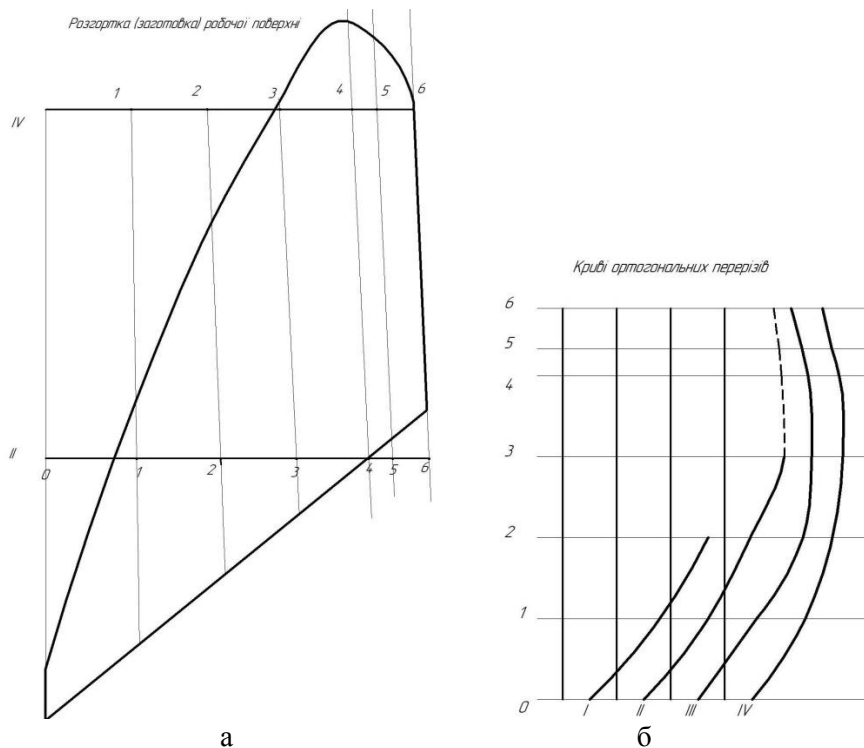


Рис. 10 - Розгортка (заготовку металу) (а) та криві ортогональних перерізів (шаблонні криві) (б) для виготовлення дослідного взірця полиці

Таблиця 1 - Фактори і рівні їх варіювання

Рівні варіювання	Фактори	
	Глибина обробітку (руху робочого органу) $h$ , см	Вологість ґрунту у ґрунтовому каналі $W$ , %
	$x_1$	$x_2$
Верхній (+1)	30	15
Основний (0)	20	10
Нижній (-1)	10	5
Інтервал варіювання, $\epsilon$	10	5

Для проведення досліду було виготовлено кріплення для встановлення дослідно взірця полиці на культиваторну лапу із стандартною стійкою (рис. 11, б та в). Окрім цього у дослідженнях визначали тяговий опір звичайної стріччатої лапи якою обладнується машина аналог.



Рис. 11. Фото експериментального робочого органу: а – полиця із кріпленням; б – стійка з отвором під кріплення полиці; в – збірка

Дослідження тягового опору робочих органів проводили у ґрунтовому каналі, який складається безпосередньо із каналу 1 в який завантажено шар ґрунту товщиною 60 см (рис. 12). Зверху цього каналу зварена рама із швелера, які є направляючими 2 для коліс 4 рухомого візка 3. Рухомий візок 3 опирається на 4 колеса та має пристосування для кріплення робочих органів ґрунтообробних знарядь 5. Переміщення візка 3 забезпечується тросом від лебідки 6, яка у свою чергу приводиться у рух електродвигуном 7 через циліндричний редуктор 8, втулково-пальцеву муфту 9 та черв'ячний редуктор 10.

Для встановлення зусилля, яке затрачається на переміщення візка із робочим органом трос кріпиться до візка через динамометр 11. Для забезпечення максимальної глибини ходу досліджуваних робочих органів у механізм кріплення 5 встановлювали додаткове пристосування у вигляді стійки із додатковим кріпленням.

Процес вимірювання тягового опору полягав у встановленні визначеної планом експерименту глибини обробітку та вмиканні механізму приводу. Після досягнення сталих показів динамометра фіксували зусилля на початку руху візка, посередині ґрунтового каналу та за 20-30 см від завершення довжини каналу. Кожен із показів фіксувався і відповідав трикратній повторюваності експерименту (рис. 13).



Рис. 12 - Фото ґрунтового каналу та механізму переміщення робочих органів: 1- ґрунтовий канал; 2 – направляючі; 3 – візок; 4 – колеса; 5 - механізм кріплення; 6 - лебідка; 7 – електродвигун; 8 - циліндричний редуктор; 9 - муфта; 10 - черв'ячний редуктор; 11 – динамометр



а



б

Рис. 13 - Процес експерименту з визначення тягового опору: а – штатного робочого органу; б – удосконаленого робочого органу

#### Результати дослідження тягового опору.

Обробка результатів двофакторного експерименту забезпечила отримання рівняння регресії де функцією відгуку є тяговий опір робочих органів культиватора. Таким чином реалізовано мету експерименту, яка полягала у встановленні залежності тягового опору робочих органів від зміни таких факторів як вологість ґрунту та глибина ходу робочих органів.

Обробка результатів експерименту проводили на ПК у середовищі Mathcad. При цьому однорідність ряду дисперсій встановлювали за критерієм Кохрена. Оскільки, для випадку штатного робочого органу  $G^{розр.} = 0,146 < G^{табл.} (0,05; 15; 2) = 0,335$  і для удосконаленого робочого органу  $G^{розр.} = 0,156 < G^{табл.} (0,05; 15; 2) = 0,335$  то процес відтворюється для обох випадків.

На основі встановлених за критерієм Ст'юдента довірчих інтервалів провели перевірку значущості коефіцієнтів регресії. Не значущим виявився коефіцієнт парної взаємодії між факторами тобто вологістю ґрунту та глибиною ходу робочого органу для обох досліджуваних варіантів. Рівняння регресії у кодованих значеннях для варіанту штатного робочого органу набрало вигляду

$$\bar{y}_1 = 229,333 + 19,958x_1 + 67,958x_2 + 8,625x_1^2 + 24,625x_2^2. \quad (1)$$

А для випадку удосконаленого робочого органу

$$\bar{y}_2 = 238 + 21,958x_1 + 80,958x_2 + 8,542x_1^2 + 25,708x_2^2. \quad (2)$$



Перевірку адекватності отриманих рівняння регресії (1 та 2) здійснили за критерієм Фішера. Розрахункове значення даного критерію для першого рівняння при дисперсії неадекватності  $S_{неад.}^2=17,537$  і дисперсії відтворюваності дослідів  $S_y^2=1$  становило:  $F^{розп.}=17,537$ . Для другого рівняння при дисперсії неадекватності  $S_{неад.}^2=10,438$  і дисперсії відтворюваності дослідів  $S_y^2=1,444$  розрахункове значення даного критерію становило:  $F^{розп.}=7,226$ . Табличне значення критерію Фішера за прийнятого 5-% значущості, згідно [9], для обох рівнянь склало:

$$F^{табл.}(0.05; f_2; f_1)=19,33,$$

де  $f_2 = 6$  - значення числа ступенів вільності дисперсії неадекватності;

$f_1 = 2$  - значення числа ступенів вільності дисперсії відтворюваності дослідів.

Оскільки для обох рівнянь  $F^{розп.} < F^{табл.}(0.05; f_2; f_1)=19,33$ , то гіпотеза адекватності обох отриманих рівнянь регресії підтверджується.

Після переведення рівнянь регресії із форми з кодованим факторами до факторів у натуральному вигляді отримали:

- для штатного робочого органу

$$P_1 = 186,501 - 2,9084W - 3,0542h + 0,345W^2 + 0,24625h^2 \quad (3)$$

- для удосконаленого робочого органу

$$P_1 = 169,168 - 2,442W - 2,1874h + 0,34168W^2 + 0,25708h^2 \quad (4)$$

де  $W$  - вологість ґрунту у ґрунтовому каналі, %;

$h$  - глибина ходу робочого органу, см.

За отриманими рівнянням регресії (3) та (4) побудовано тривимірні поверхні відгуку (рис. 14) для аналізу впливу досліджуваних факторів на величину тягового опору обох варіантів робочих органів.

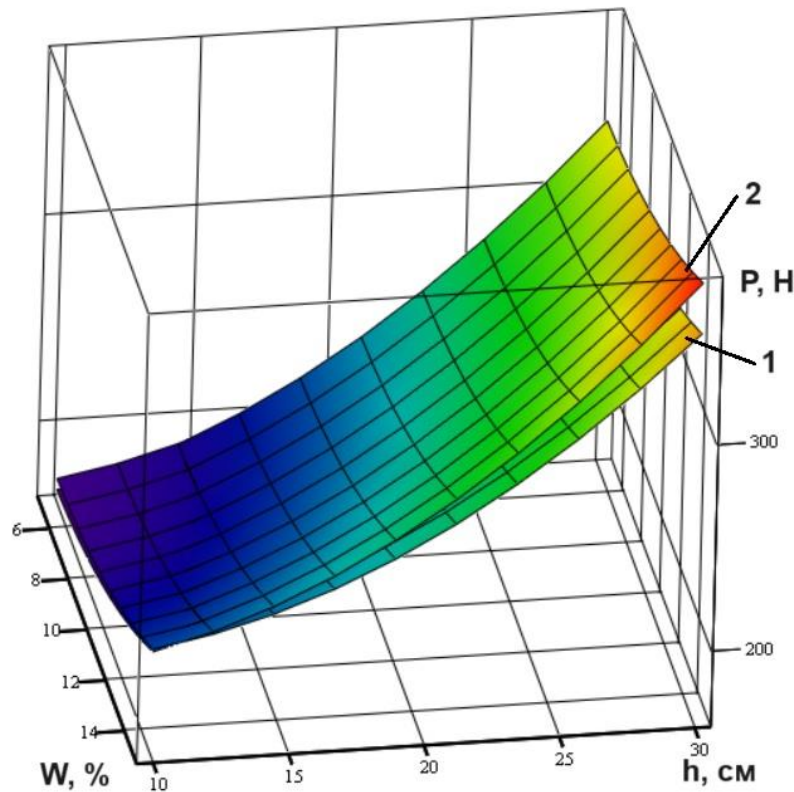


Рис. 14 - Залежність зміни тягового опору штатного (1) та удосконаленого (2) робочих органів культиватора від вологості ґрунту у ґрунтовому каналі  $W$  та глибини ходу  $h$  цих робочих органів

## ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз отриманих рівнянь регресії у кодованих факторах та поверхонь відгуку виявив, що обидва досліджувані фактори є значущими. При цьому за глибини ходу робочих органів  $h = 10$  см тяговий опір у обох варіантів практично однаковий і однаково зростає за зростання вологості ґрунту. Очевидно, що таке явище має місце через те, що за вказаної глибини у модернізованій лапі додаткова полиця практично не взаємодіє із ґрунтом. Тому у випадку використання культиватора в режимі глибокого розпушення ґрунту перший ряд робочих органів не доцільно обладнувати полицями.

У той же час за зростання глибини ходу робочих органів до 20 см і особливо 30 см спостерігається зростання тягового опору у модернізованого робочого органу у порівнянні із штатним у межах 10-40 Н. При цьому менший приріст відповідає глибині ходу 20 см та меншим значенням вологості. Таким чином використання модернізованого робочого органу не спричинює суттєвого зростання тягового опору у порівнянні із штатним, що створює передумови до встановлення таких робочих органів у другому та третьому ряді культиватора за його роботи в режимі глибокорозпушувача.

## ВИСНОВОК

Аналіз конструкції робочих органів глибокорозпушувачів виявив, що їх можна об'єднати у 3 групи. До першої належать лапи типу zero-mix, які не виносять на поверхню розпушений шар ґрунту і зберігають непорушеним поверхневий рослинний шар. До другої групи належать робочі органи, які у більшості виробників називаються параболічними та забезпечують винесення на поверхню дрібно структурної фракції ґрунту. Третю групу представляють робочі органами, які обладнані розпушуючою полицею тієї чи іншої форми. При цьому винесення розпушеного ґрунту на поверхню не відбувається.

Встановлено, що потребує вирішення проблема розпушення підорного шару ґрунту на невеликих дачних ділянках та огородах площею до 0,5 га. Для цього потрібне знаряддя здатне якісно розпушити ґрунт у шарі, що розташований на глибині 20-30 см та для його використання достатньо було б трактора із потужністю межах 20-25 кВт (тяговим зусиллям у межах 5-6 кН).

Розроблена методика експериментального дослідження тягового опору робочих органів культиватора, заснована на використанні плану реалізації експерименту другого порядку, забезпечила отримання математичної моделі даного процесу у вигляді рівняння регресії. Функцією відгуку цього рівняння є тяговий опір у першому рівнянні штатного робочого органу, а у другому - модернізованого робочого органу. Аналіз отриманих рівнянь регресії та поверхонь відгуку виявив, що вплив вологості ґрунту та глибини ходу робочих органів є значущим. При цьому за глибини ходу робочих органів  $h = 10$  см тяговий опір у обох варіантів практично однаковий і однаково зростає за зростання вологості ґрунту. Таке явище має місце через те, що за вказаної глибини додаткова полиця практично не взаємодіє із ґрунтом. Тому у випадку використання культиватора в режимі глибокого розпушення ґрунту перший ряд робочих органів не доцільно обладнувати полицями.

За зростання глибини ходу робочих органів до 20 см і особливо 30 см спостерігається зростання тягового опору у модернізованого робочого органу у порівнянні із штатним у межах 10-40 Н. Тому використання модернізованого робочого органу не спричинює суттєвого зростання тягового опору у порівнянні із штатним, що створює передумови до встановлення таких робочих органів у другому та третьому ряді культиватора за його роботи в режимі глибокорозпушувача. Таке удосконалення значно покращить розпушування нижніх шарів ґрунту без їх винесення на поверхню. У той же час слід застосовувати попарне розташування лап із правосторонньою та лівосторонньою полицями.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1.Балюк С.А., Медведєв В.В., Воротинцева Л.І., Шимель В.В. Сучасні проблеми деградації ґрунтів і заходи щодо досягнення нейтрального її рівня // Вісник аграрної науки, 2017, № 8. С. 5-11

2.Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. К.: Вища освіта, 2004. 544 с.

3.Gregoire-besson [Електронний ресурс]: офіційний сайт. Режим доступу: <https://www.gregoire-besson.com/ua/machines/helios>

4.Bednar [Електронний ресурс]: офіційний сайт. Режим доступу: <https://www.bednar.com/uk/terraland-tn/>

5.Greatplain [Електронний ресурс]: офіційний сайт. Режим доступу: <https://www.greatplainsag.com/uk/products/709/sub-soiler>.



6. Wil-rich [Електронний ресурс]: офіційний сайт. Режим доступу: <https://www.wil-rich.com/primary-tillage/rippers/357-inline-ripper/>
7. Jympa [Електронний ресурс]: офіційний сайт. Режим доступу: <https://jympa.com/en/products/agriculture/subsoilers/>
8. Цизь І.Є., Голій В.О., Хвесик В.О., Оласюк Я.В., Деміх І.В. Дослідження процесу та знаряддя для глибокого розпушення ґрунту. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті, 2023, №1(20), 290-302 с.
9. Аністратенко В.О., Федоров В.Г. Математичне планування експерименту в АПК. - К.: Вища школа, 1993. 375 с.

#### REFERENCES

1. Balyuk S.A., Medvedev V.V., Vorotyntseva L.I., Shimel V.V. Suchasni problemy degradatzii gruntiv i zahodi shodo dosiagnennya neitralnogo ii rivnia // Visnik agrarnoi nauky. - 2017, № 8. - S. 5-11
2. Silskogospodarski ta melioratyvni mashyny: Pidruchnyk / D.G. Voytyuk, V.O. Dubrovin, T.D. Ishchenko ta in.; Za red. D.G. Voytyuk. - K.: Vusha osvita, 2004. - 544 s.
3. Gregoire-besson [Elektronnyi resurs]: ofitsiyni sait. Rezhym dostupu: <https://www.gregoire-besson.com/ua/machines/helios>
4. Bednar [Elektronnyi resurs]: ofitsiyni sait. Rezhym dostupu: <https://www.bednar.com/uk/terraland-tn/>
5. Greatplain [Elektronnyi resurs]: ofitsiyni sait. Rezhym dostupu: <https://www.greatplainsag.com/uk/products/709/sub-soiler>.
6. Wil-rich [Elektronnyi resurs]: ofitsiyni sait. Rezhym dostupu: <https://www.wil-rich.com/primary-tillage/rippers/357-inline-ripper/>
7. Jympa [Elektronnyi resurs]: ofitsiyni sait. Rezhym dostupu: <https://jympa.com/en/products/agriculture/subsoilers/>
8. Tszі I.E., Holii O.V., Khvesik V.O., Olasiuk Ya.V., Demikh I.V. Doslidzhennia protsesu ta znariaddia dlia hlybokoho rozpushennia ґрунту. Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti, №1(20), 290-302 s.
9. Anistratenko V.O., Fedorov V.G. Matematychnе planuvannia eksperymentu v APK. - K.: Vyshcha shkola, 1993. 375 s.

#### ***I. Tszі, V. Holii. Justification of the design and research of the driving resistance of the working body of the tool for deep soil dissolution***

One of the main problems of the classical farming system, which involves the use of a plow, is the formation of an over-compacted subsoil layer - the so-called "plow sole". Therefore, the leading manufacturers of tillage machinery offer a wide range of machines for deep loosening of the soil on the market.

The analysis of the structures of the working bodies in the tools for deep loosening of the soil indicates that they can be grouped into three groups according to the main design features and the functions performed. The first includes zero-mix type paws, which do not bring the loosened soil layer to the surface and keep the surface plant layer intact. The second group includes working bodies, which most manufacturers call parabolic and ensure that the fine structural fraction of the soil is brought to the surface. The third group is represented by working bodies that are equipped with a loosening shelf of one form or another.

At the same time, there is no offer of deep looseners or at least chisel cultivators for minitractors (with an engine power of up to 20-25 kW). This does not allow the loosening of over-compacted sub-soil layers to be implemented on small country plots and gardens with an area of up to 0.5 ha. Which, as a rule, are processed to a depth of 15-20 cm, and the lower layers are compacted to 30 or more kg/cm<sup>2</sup>. For this, a modernized cultivator for surface cultivation of the soil with tiered arrangement of working bodies can be used. But in order to reduce energy costs and perform high-quality loosening, the working body in the form of a dart paw needs to be improved.

Therefore, the purpose of the research is to substantiate the design of the working body of the tool for loosening the subsoil layer and to establish the experimental dependence of the traction resistance of such a working body on the depth of cultivation and soil condition. In order to solve the set goal, a shelf shape was developed for the modernization of the arrow foot into a working body for deep loosening of the soil according to the method of construction of the working surface of the plow body. According to the curves of

orthogonal sections obtained as a result of the construction and the surface sweep, a test sample of such a shelf was made.

Also, on the basis of the mathematical method of planning the experiment, a method of researching the traction resistance of the existing and improved working bodies was developed. This technique allows you to obtain the dependence of the traction resistance of the working bodies on the clay of the cultivation and soil moisture in the form of a regression equation. The research was carried out in a laboratory soil channel.

The analysis of the obtained regression equations and response surfaces revealed that the influence of soil moisture and the depth of travel of the working bodies is significant. At the same time, the traction resistance of both options is almost the same for the depth of travel of the working bodies in  $h=10$  cm and increases with the increase in soil moisture. It is obvious that this phenomenon occurs due to the fact that at the specified depth in the modernized foot, the additional shelf practically does not interact with the soil. Therefore, in the case of using the cultivator in the mode of deep loosening of the soil, it is not advisable to equip the first row of working bodies with shelves. At the same time, with an increase in the depth of travel of the working bodies up to 20 cm and especially 30 cm, an increase in the traction resistance of the modernized working body in comparison with the regular one is observed in the range of 10-40 N. At the same time, a smaller increase corresponds to a depth of travel of 20 cm and lower humidity values. Thus, the use of a modernized working body does not cause a significant increase in traction resistance compared to the regular one, which creates prerequisites for the installation of such working bodies in the second and third row of the cultivator during its operation in the deep loosener mode. This improvement will significantly improve the loosening of the lower layers of the soil without bringing them to the surface. At the same time, pairwise arrangement of paws with right and left shelves should be used.

**Keywords:** soil hardness, deep loosening, construction, working body, traction resistance, moisture, regression equation, response surface.

*ЦИЗЬ Ігор Євгенович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри аграрної інженерії ім. проф. Г.А. Хайліса Луцького національного технічного університету, e-mail: [tsizigor@lutsk-ntu.com.ua](mailto:tsizigor@lutsk-ntu.com.ua), <https://orcid.org/0000-0002-9916-8174>

*ГОЛІЙ Валентин Олександрович*, аспірант кафедри аграрної інженерії ім. проф. Г.А. Хайліса Луцького національного технічного університету, e-mail: [valikgoliy@gmail.com](mailto:valikgoliy@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0007-7056-4353>

*Igor TSIZ*, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Agrarian Engineering named after Prof. G. Hylis, Lutsk National Technical University, e-mail: [tsizigor@lutsk-ntu.com.ua](mailto:tsizigor@lutsk-ntu.com.ua), <https://orcid.org/0000-0002-9916-8174>

*Valentyn HOLII*, Postgraduate of the Department of Agrarian Engineering named after Prof. G. Hylis, Lutsk National Technical University, e-mail: [valikgoliy@gmail.com](mailto:valikgoliy@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0007-7056-4353>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1377

Чернега В.Ю.

Вінницький національний технічний університет

**ДОЦІЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ПНЕВМАТИЧНИХ І БЕЗПОВІТРЯНИХ ШИН**

У наш час важливим питанням є накопичення відпрацьованих шин, пов'язано з їх зберіганням та утилізацією - це стає глобальною екологічною проблемою. Створення масштабної переробної промисловості з переробки автомобільних шин є найважливішою економічною задачею, вирішення якої призведе до розвитку економічної системи переробки, тобто поліпшення екологічної ситуації. Кількість малих та середніх підприємств, створення нових робочих місць та збереження природних енергетичних ресурсів України.

У даній роботі наведено причини необхідності переробки та утилізації пневматичних шин, їх склад та характеристики, також розглянуті приклади регулювання питань утилізації у різних країнах, розрахунок доходу від переробки однієї тонни шин, представлені методи відновлення шин та економічний ефект від використання відновлених шин, і навіть їх споживання у деяких країнах. Описано способи переробки зношених шин, наведено приклад напівавтоматичної лінії переробки пневматичних шин, а також напрями вторинного використання гумової крихти та шин, що вийшли з використання. Розглянуто конструкційні особливості непневматичних (безповітряних) шин та способи їх переробки та утилізації. Метою статті є порівняння утилізації та способів вторинного використання пневматичних та непневматичні шини.

**Ключові слова:** пневматичні шини, непневматичні (безповітряні) шини, утилізація шин, переробка шин, склад шин, податкові та утилізаційні збори використаних автомобільних покришок, відновлення шин, переробка шин.

**ВСТУП**

У світі щорічно утворюються до 10 млн. т використаних автопокришок, що відповідає майже мільярду зношених шин. У 1999 р. Європейський Союз затвердив закон, згідно з яким з 2003 р. заборонено спалювання використаних покришок, а також поховання цілих шин, а з 2006 р. було введено заборону і на поховання шин, розрізаних на шматки. Перед світовим співтовариством постало питання про способи утилізації, переробки та методи вторинного використання шин. На сьогоднішній день кількість не перероблених зношених покришок становить: у США – 2,8 млн та у Європі – 2,5 млн т.

**АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Автомобільний транспорт має найважливіше значення для функціонування суспільного виробництва та життя людей. Однак при цьому він є головним глобальним джерелом забруднення навколишнього середовища. На його частку припадає до 60-80% забруднення навколишнього середовища, а в районах найбільшого зосередження людей (густонаселених) районах, курортних містах, вздовж автомагістралей і т. д – до 90-95%. Під час експлуатації транспортних засобів утворюється велика кількість відходів, велику небезпеку серед яких несуть зношені автомобільні шини, які складно збирати та утилізувати. За статистикою Всесвітньої організації охорони здоров'я, ризик виникнення раку у робітників, зайнятих на виробництві шин, перевищує ризик онкозахворювань у пересічного мешканця сучасного міста у 8 разів. Крім викидів відпрацьованих газів, транспортний потік створює хмару пилу, що перевищує 60% з мікроскопічних та ультрамікроскопічних частинок радіусом 10,0-0,25 мкм, які утворюються в результаті стирання автомобільних шин (при контакті з дорожнім покриттям), самого дорожнього покриття та гальмівних накладок (при гальмуванні). Тому актуальним є вивчення способів поводження з ними та оцінки впливу цих відходів на довкілля та здоров'я людини.

**ЦІЛІ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Зношені шини – джерело тривалого забруднення довкілля. Доцільність утилізації та переробки шин пов'язана з низкою факторів:

1. Шини не піддаються біологічному розкладу у природних умовах. Прикладом може бути розроблений у 1972 р. проект з утилізації старих покришок шляхом створення штучного рифу (площею 150 тисяч квадратних метрів). Метою проекту було: утилізувати використані шини, розширення довкілля морських тварин, створення альтернативних місць для дайвінгу (рис. 1, а). Наслідки – руйнація природного довкілля та екосистеми загалом (рис. 1, б), руйнація природних рифів (під час штормів і ураганів шини піднімають із дна, вони налітають на коралові рифи і знищують їх), забруднення берегової смуги і т.д. Подібні проекти розроблялися і в інших країн. Щорічно волонтери в рамках програм з очищення прибережних зон прибирають із пляжів майже 12 тис. старих шин;

2. Скупчення старих покришок – це сприятливе місце для проживання гризунів і комах, що є переносниками інфекційних захворювань (рис. 1, в);
3. Звалища шин – це втрата корисних площ, шини займають великий обсяг (рис. 1, г);
4. Близько 80% шини – не відновлювані природні ресурси;
5. Шини мають високу пожежну небезпеку, при горінні виділяють отруйні речовини (рис. 1, д).

Тут представлені лише основні причини необхідності утилізації шин.[1]

Жорстка конкурентна боротьба за якість та надійність призвела до того, що склад і властивості каучуків, каркасних матеріалів, а також технологія виробництва цих виробів дуже схожі у різних виробників. В результаті сучасні шини являють собою складний композитний виріб з різномірних матеріалів, що має велику стійкість до механічних повторно-змінних навантажень і руйнівних факторів довкілля. Ці властивості шин, вкрай необхідні забезпечення безпечної експлуатації колісної техніки, стають вкрай неприємними під час вирішення проблеми їх ліквідації після завершення життєвого циклу. [2]

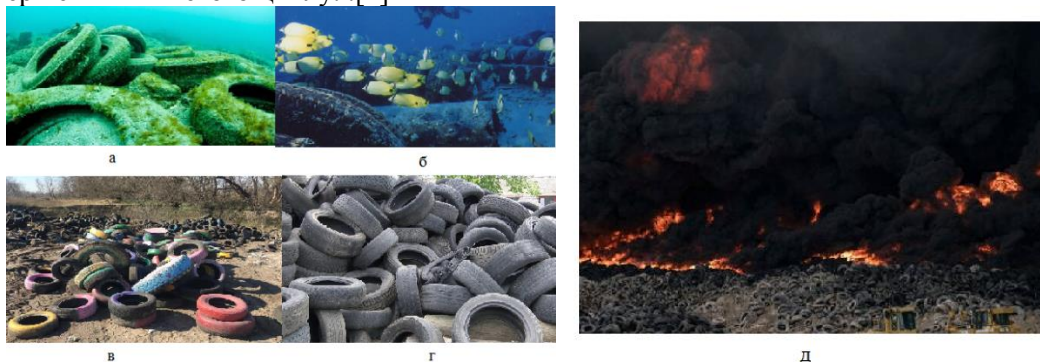


Рисунок 1 - Звалища шин:

а – шини Рифа Осборна; б - Риф Осборна після 30 років; в – скупчення старих покришок; г – звалище використаних шин; д – горіння звалища шин

У країнах ЄС поводження зі зношеними шинами контролюється наступним чином:

1. Встановлено заборону захоронення цілих шин;
2. Утилізація підлягає до 85% загального обсягу транспортного засобу, що вийшов із вживання (ТЗ);
3. Заборона спалювання шин.[3]

Також у країнах Європейського союзу на сьогоднішній день існують три системи оподаткування, організації та фінансування збору та утилізації використаних автомобільних покришок:

1. Система податкових зборів: виробники шин виплачують спеціальні податки, які надалі служать дотаціями для переробних виробництв (Данія, Словаччина, Латвія);
2. Виробники та постачальники нових шин несуть відповідальність за утилізацію. Виробники перераховують кошти (пропорційно до обсягу виручки) у спеціальний фонд, який є джерелом фінансування заводів з переробки шин, пунктів прийому шин (Швеція, Норвегія, Фінляндія, Португалія, Польща, Франція, Великобританія, Іспанія, Угорщина);
3. Кожен учасник ринку переробки шин самостійно обирає контрагента (Німеччина).

Слід зазначити, що утилізація в усіх європейських країнах є платною: той, хто здає шини, зобов'язаний сплатити так званий екологічний внесок. Залежно від типу шини екологічний внесок може сягати 110 євро. Величини екологічного внеску у відсотковому співвідношенні залежно від величини та маси шини наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 - Розмір екологічного внеску залежно від величини та маси шини в країнах Європейського союзу

Тип шин	Мотоцикли	Легкові авто	Вантажні авто	Спецтехніка	Сільсько-господарська, дорожньо-будівна техніка	Скутери, моторолери, автокамери	Комерційний авіатранспорт	Громадський авіатранспорт	Військовий авіатранспорт
Маса, кг	3-5	5-15	15-60	-	60-130 130-200 200-450 Понад 450	Менш 3	Близько 77	Близько 6	Близько 16
Вартість, %	1	1,5	0	Індивідуально	23 38 59 100	0,55	18	1,6	3,3

У США фінансування утилізаційних програм відбувається за рахунок податків та зборів, що стягуються під час продажу шин, або під час реєстрації ТЗ.

У Японії діє «Закон про переробку відходів», на підставі якого кожен громадянин зобов'язаний самостійно доставити старі шини на пункти збору та заплатити за утилізацію.

У Фінляндії у ціну шини для легкового автомобіля входить вартість утилізації та 24% ПДВ на цю суму. Такий же збір сплачується при купівлі нового автомобіля. За рахунок зростаючої виручки від продажу вторинних ресурсів, одержуваних при утилізації, знижується величина утилізаційних зборів, які сплачує покупець. [4]

Шина, яка надходить на утилізацію, складається з низки елементів (рис. 2).

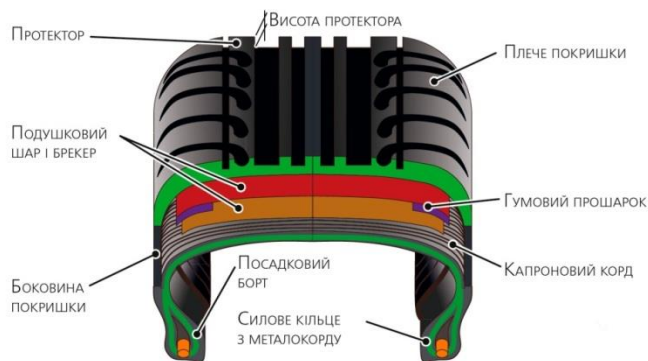


Рисунок 2 - Загальні елементи у структурі пневматичної шини

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Виходячи з наведеного опису, всі елементи у складі шини можна розділити на гумові складові, метал, текстильні нитки армування та інші складові (Наприклад, клей). Зразковий, середньостатистичний склад шини наведено на рис. 3.

З однієї тонни гуми можна отримати такі продукти: бензинова фракція – 325 кг, мазут – 175 кг, технічний вуглець – 300 кг, металокард – 200 кг. Рентабельність чинного підприємства з переробки шин становить приблизно 78%.

На сьогоднішній день можна виділити два основні способи роботи зі зношеними шинами: відновлення шин (накладення нового протектора) та переробка шин, що не підлягають використанню за прямим призначенням.[5]

Існують два способи відновлення шин: холодне відновлення та гаряче відновлення. При холодному відновленні відбувається накладення тонкої невулканізованої гуми, а зверху ще вулканізованої протекторної стрічки, далі проводиться вулканізація при температурі 100 °С. Фізичні властивості каркаса залишаються незмінними, можливо триразове відновлення. При гарячому відновленні проводиться вулканізація та формування малюнка протектора в прес-формі при температурі більше 150°С. При даному способі відновлення відбувається ослаблення зв'язків між



металокордом та гумою через вплив високих температур, ушкоджується структура каркасу шини, відновлення можливе лише один раз.[6]

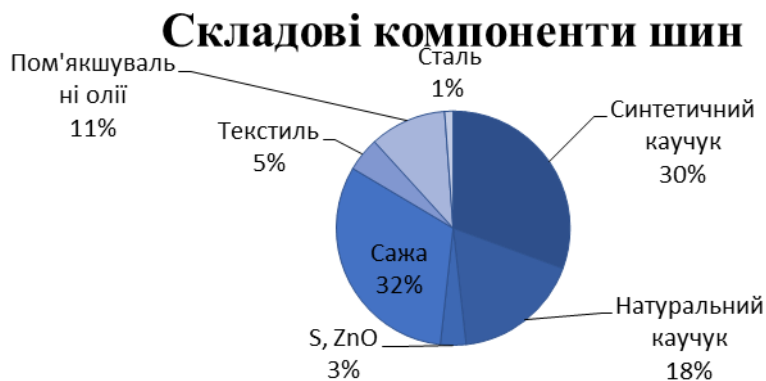


Рисунок 3 - Середньостатистичний склад шини легкового автомобіля

На рис. 4 наведено споживання відновлених шин у загальному обсязі шин у низці країн.



Рисунок 4 - Споживання відновлених шин у загальному обсязі шин, що купуються

Відомі два принципово різні види технологічних процесів переробки зношених шин: з руйнуванням і без руйнування їх гумової складової. Методи переробки зношених шин із руйнуванням гумової складової засновані на процесах спалювання, термічного та каталітичного крекінгу, піролізу, розкладання гуми під впливом озону, кисню та інших хімічних реагентів. Застосування цих методів призводить до глибокої деструктуризації полімеру, здебільшого – до розпаду молекулярного ланцюга. Одержані продукти горіння або розкладання можна розглядати як можливу сировину для органічного та нафтохімічного синтезу. Протікання таких процесів потребує великих витрат енергії та наявності досить складного обладнання. Тому для того, щоб виправдати всі витрати, цінність отриманих у результаті така переробка продуктів повинна бути дуже високою і на сьогоднішній день в основному застосовуються методи переробки гуми, які забезпечують максимальне збереження хімічної складової, з метою виробництва гумовмісних виробів з відновленої гуми.

Деякі підприємства Європи пропонують технологію розчинення автошин в органічному розчиннику. Автори проекту пропонують метод матеріального рециклінгу, в результаті якого утворюється бензинова фракція (використовується на підприємствах нафтохімії, а також НПЗ при виробництві високооктанового екологічно чистого бензину), мазут та технічний вуглець (Спрямовується на облагородження, в результаті чого виходять вуглець-вуглецеві матеріали або електропровідний техвуглець). Створена технологічна лінія розчинення автопокришок та облагородження техвуглецю є потоковою, тобто. Безпосередньо весь технологічний процес не матиме контакту з атмосферою аж до виведення готових продуктів у накопичувачі (резервуари, склади зберігання продукції) та перевантаження для подальшого транспортування до споживача.

Розчинник циркулює у замкнутій системі та не має контактів з атмосферою. Для нагрівання розчинника застосовується трубчаста піч з вогневим нагріванням. Піч типова для установок нафти та газопереробки. Нагрів електроенергією нерентабельний. Димові гази утворюються при згорянні палива печі. Як паливо використовується вуглеводневий газ (газ, що отримується в процесі переробки автошин, природний газ).

Ряд авторів пропонують технології, за яких складові витягуються з покришки без порушення фізико-хімічних властивостей, щоб була можливість їх повторного використання, наприклад, під час виробництва нових автомобільних покришок. Бортові кільця рідко отримують пошкодження через свою міцність і цілком придатні для повторного використання. Підсилювач борту також є досить міцним елементом, кількість пошкоджених під час експлуатації ниток невелика і їх також можна використовувати повторно. Брекер піддається деформації під час руху - механічні ушкодження брекера у процесі його експлуатації часто призводять до недоцільності його повторного використання. До того ж витягання ниток брекера (частки міліметра) - досить складна технічна завдання. Однак витягнутий брекер, навіть у вигляді пучка сталевих ниток, виявив застосування, наприклад, у будівництві – під час виробництва фібробетонів. Сталь, що використовується в шинах, має високу якість, тому актуальність вторинного використання сталевих елементів не викликає сумнівів. Таким чином, на першому етапі з шини видаляють бортові кільця, потім брекера, а потім відокремлюється бігова доріжка (протектор). Видалення нейлонових ниток бандажу можливе як загалом, і подрібненому вигляді.[7]

Ряд компаній – виробників пропонують технологічну схему та устаткування для переробки шин у крихту – на рис. 5 представлений один із варіантів такої лінії.

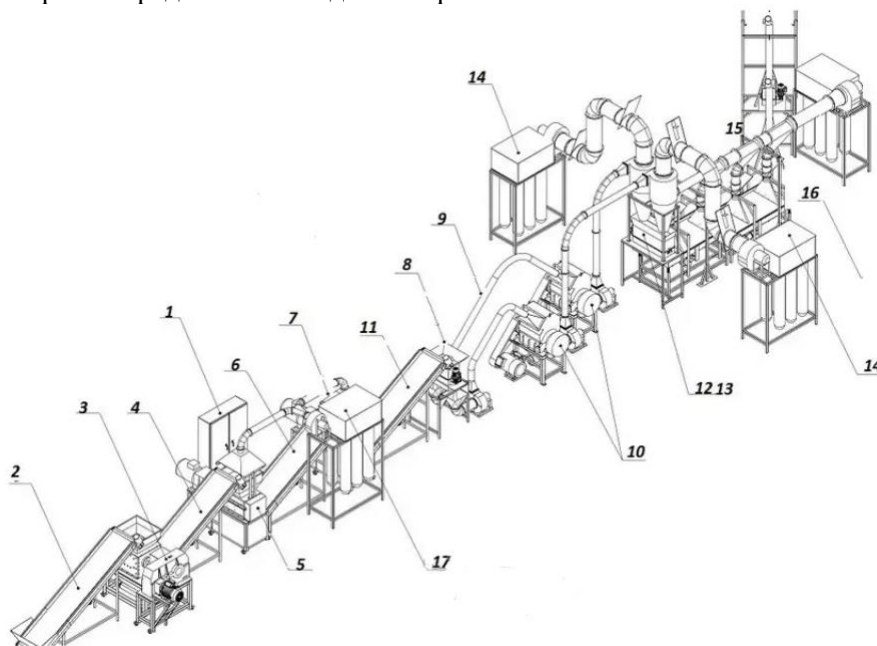


Рисунок 5 - Лінія по переробці шин:

1 - контрольний пульт управління; 2 - стрічковий конвеєр №1; 3 - шредер первинного подрібнення; 4 - стрічковий конвеєр №2; 5 - шредер вторинного подрібнення; 6 - стрічковий конвеєр №3; 7 - магнітний сепаратор; 8 - вилоканий подрібнювач; 9 - стрічковий конвеєр №4; 10 - магнітний сепаратор; 11 - поворотний транспортер; 12 - вібростіл №1; 13 - вібростіл №2; 14 - витяжні системи. 15 - транспортер з вібростолу №2; 16 – вібростол; 17 - система пиловловлювання.

Завод з переробки шин в гумову крихту, побудований на базі комплексу розташовується на території загальною площею 900 м<sup>2</sup>. Для ефективної роботи всього підприємство потрібно 8 спеціалістів. Максимальна продуктивність комплексу – 29000 тонн в рік. Термін окупності підприємства – 10 місяців.[8]

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Гумова крихта використовується у багатьох областях. З неї виготовляють нові автомобільні покришки, техпластини, водовідштовхувальні покриття, для дахів, залізничні шпали та підрейкові прокладки, килимки для підлоги та підшви для взуття, колеса для інвалідних візків та ліжок. Також цей матеріал використовують для покриття доріг, футбольних полів, тенісних кортів та дитячих

майданчиків. З гумової крихти виготовляють плитки і додають її в бетон для будівництва. Переваги застосування гумової крихти: довговічність: термін служби виготовленого за всіма правилами продукту може змінюватись від 20 до 40 років та основні показники, якими володіє гумова крихта, багато в чому перевершують аналогічні показники керамічної плитки, асфальту, бетону, піщаної бруківки, лінолеуму та інших; гумові покриття можуть поглинати рівень шуму до 28 децибелів; гумове покриття є відмінним матеріалом, що амортизує, а також відмінним протиковзним засобом; не затримує на собі сніг, льоду та інші опади; високий рівень зносостійкості дозволяє гумовим покриттям перешкоджати шкідливим впливам довкілля. На рис. 6 представлені деякі напрямки вторинного використання шин та гумової крихти, отриманої від переробки пневматичних шин.



Рисунок 6 – Вторинне використання пневматичних шин та гумової крихти

У 2004 році компанія Michelin продемонструвала світовому ринку шини без повітря з пружними спицями, що деформуються, з поліуретану Tweel (рис. 7, а). Конструктивно Tweel є системою цілих внутрішніх маточок, прикріплених до півосі. Навколо них розташовані поліуретанові спиці, з'єднані у певній послідовності. Через спиці проходить розтяжний хомут, формуючи зовнішній край шини. Компанія Bridgestone представила конструкцію непневматичної шини AirFree – колесо складається з металевого диска та шини, яка являє собою два кільця, з'єднані пружними елементами (рис. 7, б). Безповітряні покришки Air Free мають три основні конкурентні переваги: покращені їздові характеристики, підвищену вантажопідйомність та безперечну екологічність. Матеріали, що застосовуються в нових шинах, що підлягають утилізації та повторній переробці. За рахунок цього досягається додаткова економія на ресурсах (і зниження вартості для покупців). Компанія Polaris продемонстрували своє бачення безповітряних шин, замінивши систему спиць на систему сотів. Компанія Hankook (рис. 7, в) створила шини, в якій власне шина та обід - одне ціле.[9]



Рисунок 7 – Непневматичні (безповітряні) шини:

а – шини Michelin Tweel; б – шини Bridgestone AirFree; в – шини Hankook iFlex

Таким чином, непневматичні шини - "спицеві" або "складові" - конструктивно функціонують як єдине ціле. Серед переваг iFlex корейці називають спрощену утилізацію завдяки особливому матеріалу, з якого вони виготовлені (синтетичний поліуретан). 95% I-Flex це перероблені матеріали.

Методи вторинної переробки продуктів з поліуретану включають процеси регенерації енергії, такі як спалювання та використання тепла, що виділяється для виробництва електроенергії. Інший спосіб полягає в механічній переробці, включаючи подрібнення та повторне використання відходів

поліуретану як наповнювача формованої продукції. Третій спосіб являє собою хімічний поділ поліуретану на його мономерні складові з подальшим повторним використанням мономерів для нової поліуретанової продукції.[10]

Таким чином, на сьогоднішній день можливі наступні варіанти переробки шин, що вийшли з вживання, класифікація яких представлена на рис. 8.

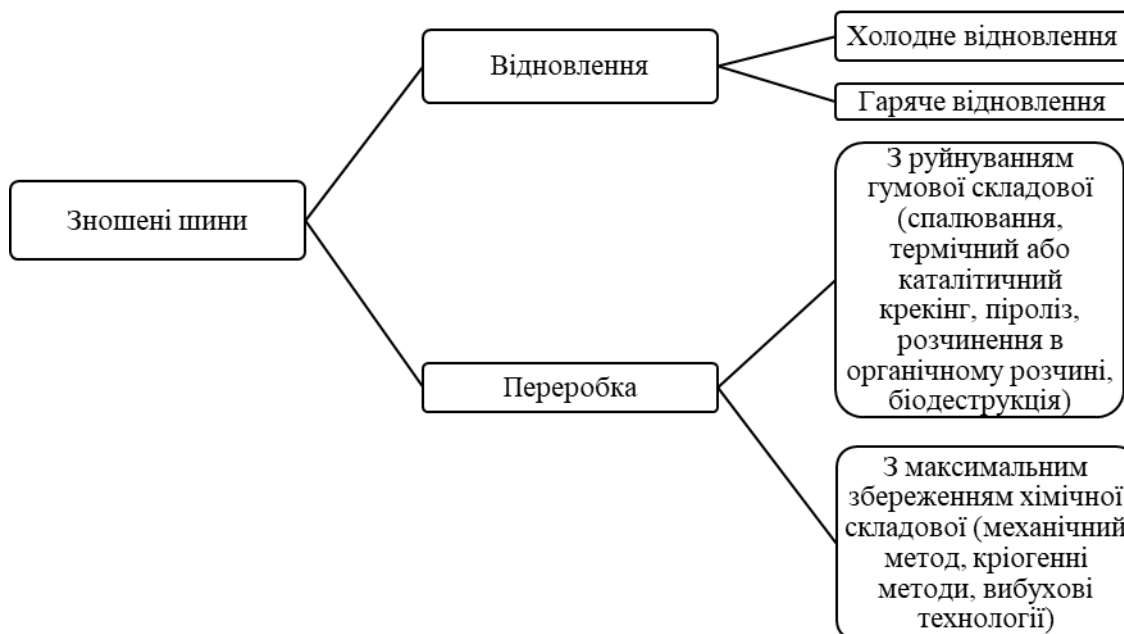


Рисунок 8 - Класифікація способів роботи з шинами, що вийшли з використання

## ВИСНОВКИ

З викладеного можна дійти невтішного висновку, що утилізація непневматичних шин значно спрощується проти переробкою пневматичних шин з допомогою зміни конструкції колеса (немає необхідності додаткового вилучення металевих та інших складових), а також матеріалу покриття.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- Schubert J.: Experimentelle und theoretische Untersuchungen zum Reifen : Doktor-ingenieurs Dissertation : Fahrbahn-Rollgeräusch / J. Schubert. –Dresden, 2003. –113
- Макаров В.А., Макарова Т. В., Чернега В. Ю.. До оцінки ефективності функціонування системи «колесо-дорога». Електронний збірник тез XV міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 24-26 жовтня, м. Житомир. 2022. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/12/93.pdf2>
- Технологія утилізації та переробки шин. – [Режим доступу: <http://ecogreenline.com.ua/ua/articles/21> ].
- Некрасов В.Г. Зношені шини як вторинний енергоресурс. Промислова енергетика. 1992.(№7). С.42–45.
- Хімія України, СНД, світу [Електронний ресурс]: виробники галузі гумових пневматичних шин, товарообіг шин, об'єми реалізації гумових пневматичних шин в Україні в 2010–2012 рр. – Режим доступу: <http://ukrchem.dp.ua/>
- Вещев А.А., Проворов А.В. Утилізація зношених покриттів пневматичних шин. Каучук і гума. 2009. (№4). С.37–40.
- Пляцук Л.Д., Гурець Л.Д., Будьонний О.П. Утилізація гумових відходів. Вісник Кременчуцького державний політехнічного університету ім. Михайла Остроградського.2007 №46). С.152–154
- Collecting used tyres in Finland [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.nokiantyres.com/utilization-of-used-tyres>
- LOCAL UTILIZATION OF SCRAP TIRES [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://kynhearth.org/tire\\_ut.html](http://kynhearth.org/tire_ut.html)
- Чернега В.Ю., Мамчур В.В., Макаров В.А. До питання поглиблення дослідження ефективності функціонування системи «Колесо-Дорога». 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

## REFERENCES

1. Schubert J.: Experimental und theoretical Untersuchungen zum Reifen : Doktor-ingenieurs Dissertation : Fahrbahn-Rollgeräusch / J. Schubert. -Dresden, 2003. -113
2. Makarov V.A., Makarova T.V., Chernega V.Yu.. To assess the effectiveness of the "wheel-road" system. Electronic collection of theses of the 15th international scientific and practical conference "Modern technologies and prospects for the development of road transport", October 24-26, Zhytomyr. 2022. URL: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/12/93.pdf2>
3. Tire recycling and recycling technology. – [Access mode: <http://ecogreenline.com.ua/ua/articles/21> ].
4. Nekrasov V.G. Worn tires as a secondary energy resource. Industrial energy. 1992. (No. 7). P.42–45.
5. Chemistry of Ukraine, the CIS, and the world [Electronic resource]: manufacturers of the industry of rubber pneumatic tires, turnover of tires, volumes of sales of rubber pneumatic tires in Ukraine in 2010–2012 – Access mode: <http://ukrchem.dp.ua/>
6. Veshev A.A., Provorov A.V. Disposal of worn tires of pneumatic tires. Rubber and rubber. 2009. (No. 4). P.37–40.
7. Plyatsuk L.D., Gurets L.D., Budyonnyi O.P. Utilization of rubber waste. Bulletin of the Kremenchug State Polytechnic University named after Mykhailo Ostrogradsky. 2007 No. 46). P.152–154
8. Collecting used tires in Finland [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.nokiantyres.com/utilization-of-used-tyres>
9. LOCAL UTILIZATION OF SCRAP TIRES [Electronic resource]. – Access mode: [http://kynhearth.org/tire\\_ut.html](http://kynhearth.org/tire_ut.html)
10. Chernega V.Yu., Mamchur V.V., Makarov V.A. To the question of deepening the study of the effectiveness of the functioning of the "Wheel-Road" system. Materials of the 11th International Scientific and Technical Internet Conference "Problems and Prospects of Road Transport Development", April 13-14, 2023: collection of scientific works / Ministry of Education and Science of Ukraine, Vinnytsia National Technical University

### **Chernega V. Appropriate use of pneumatic and airless tires**

Nowadays, an important issue is the accumulation of used tires, related to their storage and disposal - it is becoming a global environmental problem. The creation of a large-scale processing industry for the processing of automobile tires is the most important economic task, the solution of which will lead to the development of the economic system of processing, that is, the improvement of the ecological situation. The number of small and medium-sized enterprises, the creation of new jobs and the preservation of Ukraine's natural energy resources.

This paper provides the reasons for the need for recycling and recycling of pneumatic tires, their composition and characteristics, also considered examples of regulation of recycling issues in different countries, calculation of income from recycling one ton of tires, presented methods of tire recovery and the economic effect of using recovered tires, and even their consumption in some countries. Methods of recycling used tires are described, an example of a semi-automatic pneumatic tire recycling line is given, as well as directions for the secondary use of rubber crumb and tires that are no longer in use. The design features of non-pneumatic (airless) tires and methods of their processing and disposal are considered. The purpose of the article is to compare the disposal and methods of secondary use of pneumatic and non-pneumatic tires.

**Keywords:** pneumatic tires, non-pneumatic (airless) tires, tire recycling, tire recycling, tire storage, tax and disposal fees for used car tires, tire recovery, tire recycling.

*ЧЕРНЕГА Віталій Юрійович* – аспірант, аспірант кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [vitalij019283@gmail.com](mailto:vitalij019283@gmail.com)

*Vitaliy CHERNEGA*– graduate student, graduate student of the Department of Automobile and Transport Management, Vinnytsia National Technical University, e-mail: [vitalij019283@gmail.com](mailto:vitalij019283@gmail.com)

DOI 10.36910/automash.v1i22.1378



Шевчук О.С.<sup>1</sup>, Березька К.М.<sup>1</sup>, Фалович Н.М.<sup>1</sup>, Захарчук О.П.<sup>1</sup>, Фалович В. А.<sup>2</sup>, Мамрош І.М.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна

<sup>2</sup>Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, Тернопіль, Україна

## ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ ЗУПИНОК ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ НА ОСНОВІ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ

Визначення рівня завантаження громадського транспорту у містах включає в себе оцінку кількості пасажирів, які перебувають у транспортному засобі у певний момент часу в порівнянні з його максимальною потужністю або рекомендованою кількістю пасажирів. Це може вимірюватися як кількість пасажиро-місць, які зайняті або порожні, або як відсоток від загальної потужності транспортного засобу. Важливим є показник завантаження зупинок громадського транспорту пасажиром, що його очікують. Інформація про рівень завантаження допомагає пасажиром планувати свої поїздки раціональніше, а також транспортним компаніям та приватним підприємцям управляти ресурсами і забезпечувати ефективне функціонування маршрутів. Для дослідження взято середнє значення пасажиропотоку на зупинках громадського транспорту в пікові періоди. При визначенні рівня завантаження зупинок громадського транспорту використано кластерний аналіз. Кластерний аналіз дає можливість здійснити наглядну класифікацію зупинок громадського транспорту м. Тернополя за ступенем завантаженості пасажиром. Кластери формувалися з урахуванням кількості пасажирів на зупинках і маршрутних засобах в різні пори доби (ранок, обід, вечір). Кластерний аналіз здійснено методом *k*-середніх, засобами програмного продукту STATISTICA 10. За міру відстані об'єктів у кластерах вибрано Евклідову метрику. Здійснено поділ зупинок громадського транспорту м. Тернополя на 4 кластери: дуже високої завантаженості, високої завантаженості, середньої завантаженості, низької завантаженості. На основі розрахунку завантаження зупинок громадського транспорту надано рекомендації щодо оновлення мережі маршрутів громадського транспорту. Результати досліджень є корисними для планування маршрутів і частоти руху засобів транспорту та використання кількості транспортних засобів на кожному маршруті особливо у години пік.

**Ключові слова:** кластерний аналіз, метод *k*-середніх, пасажиропотік, зупинки громадського транспорту, транспортна мережа, громадський транспорт.

### ВСТУП

Щоденне використання громадського транспорту (ГТ) мешканцями міста стає все більш актуальним і важливим аспектом сучасного транспортного планування. Пересування пасажирів по місту через ГТ є не лише зручним, а й допомагає зменшити транспортні затори, забруднення повітря та підвищує загальний рівень доступності міських послуг. Проте, для досягнення максимальної ефективності та забезпечення зручності користувачів, необхідно постійно вдосконалювати маршрутну мережу та зупинки.

Формування стратегій удосконалення маршрутної мережі у містах вимагає комплексного підходу та розгляду різних аспектів. Одним з ключових напрямків є оптимізація основних маршрутів з урахуванням наявності зупинок з пересадкою, що дозволяє пасажиром зручно та швидко переміщатися між різними напрямками. Такий підхід збільшує привабливість ГТ для користувачів та сприяє збільшенню його використання, що, у свою чергу, може призвести до зменшення автотранспортного навантаження та покращення екологічної ситуації в місті.

Таким чином, дослідження рівня завантаженості зупинок пасажиром є актуальним та важливим кроком у напрямку удосконалення міського транспорту та забезпечення комфортного пересування громадян.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Дослідження транспортної мережі ГТ м. Тернополя проводилося в таких роботах [1-5]. Авторами [1] проаналізовано комфорт в ГТ, стан транспортної інфраструктури розглянуто в роботах [2-3], питанням безпеки дорожнього руху присвячені роботи [4-5]. Питання завантаженості зупинок ГТ є недостатньо висвітлені. А саме завдяки цьому аналізу можна оптимізувати маршрути ГТ, зменшуючи кількість пустих рейсів і покращуючи обслуговування пасажирів [6-8].

Поділ сукупності на однорідні класи називають класифікацією. До методів класифікації відносять кластерний і дискримінантний аналіз [9]. Кластерний аналіз – це метод класифікації, який групує схожі об'єкти разом у кластери на основі їхніх властивостей, без попередніх категорій. Цей метод допомагає виявити природні групи в даних і розкрити їхню структуру. Дискримінантний аналіз також є методом класифікації, але він визначає, які змінні найбільше впливають на розділення

об'єктів на категорії [9-11]. Цей метод допомагає відокремити групи на основі важливих характеристик.

Отже, проблемою дослідження є аналіз та планування, шляхом формування рекомендацій, завантаженості пасажиропотоків зупинок м. Тернополя.

**ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.** Розгалужена та достатньо щільна маршрутна мережа із відповідним інфраструктурним забезпеченням формує основу транспортної пропозиції для задоволення потреб у переміщеннях мешканців громади. Підвищення рівня якості послуг ГТ сприятиме підвищенню його привабливості та збільшенню кількості користувачів, що віддають перевагу масовому пасажирському транспорту на противагу індивідуальному автомобілю. Зупинковими спорудами облаштовані всі зупиночні пункти тролейбусних маршрутів, тоді як на зупинках з низьким пасажирообміном залишаються необладнаними 17%.

Для задоволення існуючих потреб пасажирів у якісному транспортному обслуговуванні необхідним є забезпечення достатньої кількості автобусів великої та середньої пасажиромісткості [12], однак, відповідно до принципів сталої міської мобільності, пріоритетом транспортної політики міста має бути екологічно чистий транспорт. Саме за допомогою кластерного аналізу зручно оцінити рівень завантаження кожної зупинки ГТ в м. Тернопіль і спланувати необхідність по кількості ТЗ на кожному маршруті у пікові періоди. Це дасть змогу раціонально залучати з наявного автобусного та тролейбусного парку саме ту кількість одиниць ТЗ, яка необхідна для комфортного перевезення пасажирів у години пік, або спланувати фінансування на придбання нових ТЗ для повного задоволення потреб ГТ.

Метою статті є класифікація зупинок громадського транспорту за завантаженістю для планування необхідної кількості ТЗ на кожному з маршрутів.

Виходячи з мети, задачами дослідження є:

1. Дослідження пасажиропотоків у м. Тернополі.
2. Розроблення алгоритму кластеризації зупинок громадського транспорту за завантаженістю.
3. Проведення моделювання в середовищі STATISTICA 10.
4. Формування рекомендацій щодо завантаженості зупинок.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Маршрутна мережа ГТ м. Тернополя є досить розвиненою та охоплює всі райони міста [13, 14]. Тролейбусні маршрути переважно зосереджені в центральній частині міста із розгалуженнями до районів Дружба, Східний масив, Сонячний, Північний, Південний, Північний промисловий та інші. Мережа автобусних маршрутів значно щільніша, ніж тролейбусна, за рахунок більшої кількості маршрутів, а відсутність необхідності у спеціальній інфраструктурі дозволяє забезпечувати приміське транспортне сполучення з прилеглими населеними пунктами, наприклад:

- Маршрут 2 – с. Біла – вул. Миру, Тернопіль;
- Маршрут 5, 5А – с. Острів – вул. Лучаківського, Тернопіль;
- Маршрут 8 – містечко Шляховиків – вул. Бродівська, Тернопіль;
- Маршрут 23 – с. Пронятин – Автовокзал, вул. Живова 7;
- Маршрут 32 – Міське кладовище – вул. Мазепи, Тернопіль.

Істотно важливими компонентами, що впливають на якість транспортних послуг ГТ є доступність транспортної інфраструктури та система оплати проїзду. На маршрутній мережі міста розташовані 218 зупиночних пунктів ГТ, для понад 96% тернополян – у межах пішоїхідної доступності 500 метрів від місць проживання. Систематично проводяться роботи з облаштування зупиночних пунктів: у 2020 році облаштовано 7 зупинок ГТ, нині виконується капітальний ремонт - схема організації дорожнього руху з облаштуванням зупинки ГТ на вул. Корольова. Проте система вуличного інформування не завжди дозволяє користувачам отримати інформацію в режимі реального часу про прибуття ТЗ та час очікування потреби для планування своїх поїздок. Тернопіль є передовим містом в Україні з впровадження автоматизованої системи оплати проїзду, що забезпечує безготівкову оплату за допомогою банківських карт, персоніфікованих чи неперсоніфікованих електронних квитків як в комунальному, так і в приватному ГТ. Органами місцевої влади забезпечуються вигідні пропозиції та умови оплати проїзду, зокрема, введення додаткової послуги зі здійснення необмеженої кількості пересадок на маршрутах ГТ протягом 30 хв. У системі існуючих способів пересування в Тернопільській МТГ ГТ відводиться особлива роль.

Дослідження пасажиропотоків проводилося у два етапи: камеральний та натурний (анкетний) – для збору та обробки даних, отриманих під час обстежень пасажиропотоку. Натурне дослідження табличним методом є найбільш трудомістким у порівнянні з існуючими методами і дає досить точні результати з мінімальною похибкою. Для аналізу пасажиропотоку досліджуються на кожному існуючому маршруті міської транспортної мережі в години пік у три періоди: ранок, обід, вечір, також важливо охопити основні пересадочні пункти міста. Відповідно до цієї методики отримали вихідні дані для подальшого кластерного аналізу (Таблиця 1).

Для проведення поділу завантаженості зупинок використовуємо кластерний аналіз.

Основні кроки алгоритму кластерного аналізу такі:

1. Підготовка даних. Першим кроком у кластерному аналізі є підготовка даних шляхом вибору відповідних характеристик, таких як кількість пасажирів на різних зупинках, типи ТЗ, час доби тощо. Дані слід очистити та нормалізувати, щоб забезпечити значущу кластеризацію.

2. Вибір алгоритму кластеризації: залежно від характеру даних і цілей аналізу можна використовувати різні алгоритми кластеризації (ієрархічна,  $k$ -середніх, DBSCAN, Mean Shift Clustering, Gaussian Mixture Models (GMM)). Кластеризація  $k$ -середніх зазвичай використовується через її простоту та ефективність у визначенні кластерів на основі центроїдів.

Таблиця 1. Середні значення пасажиропотоку на зупинках громадського транспорту м.

Тернопіль в пікові періоди

№п/п	Зупинка	ранок	обід	вечір	№п/п	Зупинка	ранок	обід	вечір
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	"Збруч"	17	34	12	82	вул. Стуса	12	5	13
2	11 школа (від центру)	23	21	29	83	вул. Тернопільська	21	6	8
3	11 школа (до центру)	18	16	14	84	вул. Тролейбусна	25	20	23
4	13 школа (від центру)	5	9	7	85	вул. Ш. Руставелі (від центру)	23	23	23
5	13 школа (до центру)	29	32	27	86	вул. Ш. Руставелі (до центру)	27	27	25
6	14 школа	17	7	9	87	вул. Шпитальна	22	28	20
7	18 школа	10	13	18	88	вул. Вільхова	30	6	12
8	6 школа	29	33	40	89	вул. Котляревського	11	6	10
9	Автовокзал	90	78	58	90	вул. Леся Курбаса	22	11	9
10	Автомийка	15	15	9	91	вул. Лучаківського	15	7	8
11	Авторинок (від центру)	10	14	8	92	вул. Хмельницького	5	3	5
12	Авторинок (до центру)	14	18	22	93	Газопровід	12	13	7
13	АТ "Ватра" (від центру)	16	17	13	94	Галицький коледж	50	44	41
14	АТ "Ватра" (до центру)	20	16	15	95	гот. Галичина	36	33	38
15	АТП-1962	18	17	12	96	Дендропарк	5	1	3
16	Бібліотека для молоді	5	4	7	97	Дитячий будинок	1	3	4
17	вул. Б. Лепкого	24	38	27	98	Духовний центр	14	16	28
18	буд. праці	12	4	2	99	Електросвіт (до цент)	11	5	11
19	бул. Куліша	15	4	8	100	За Рудкою	14	9	19
20	бул. Просвіти	22	16	11	101	Залізничний вокзал	35	32	44
21	бул. С. Петлюри	8	15	10	102	Збаразьке кільце	14	11	6
22	бул. Д. Галицького	2	2	4	103	ЗУНУ	11	20	13

23	ВАТ "Зелене господарство"	16	13	13	104	Кемпінг	64	30	24
24	вул. Будного	8	6	7	105	Кооперативний коледж	45	50	44
25	вул. Золотогірська	15	8	7	106	Кулко	11	11	8
26	вул. 15 квітня (від центру)	27	20	31	107	Кутківці	17	10	13
27	вул. 15 квітня (до центру)	20	14	9	108	Лікарня швидкої допомоги	46	54	47
28	вул. А. Шептицького	16	27	20	109	маг. "Карпати"	4	5	3
29	вул. А. Сахарова	10	8	15	110	маг. "Текстильник"	35	34	27
30	вул. Бережанська	41	36	34	111	маг. Універсам (від центру)	32	40	35
31	вул. Братів Бойчуків	30	21	29	112	маг. Універсам (до центру)	43	33	34
32	вул. Бригадна	4	2	5	113	Мебл. фабрика (Біла)	17	3	11
33	вул. Броварна	9	9	8	114	Медичний університет	30	33	42
34	вул. Бродівська (від центру)	30	24	27	115	Митниця	12	5	6
35	вул. Бродівська (до центру)	14	15	12	116	Містечко Шляховиків	17	11	4
36	Електросвіт(від центру)	7	8	9	117	Міська лікарня №2	27	16	19
37	вул. В. Великого	20	16	20	118	Міська поліклініка №1	8	22	17
38	вул. Весела	3	5	2	119	міське кладовище	35	29	25
39	вул. Винниченка	22	18	12	120	Міський стадіон	19	26	26
40	вул. Вояків Дивізії "Галичина"	14	14	5	121	Новий світ	20	10	13
41	вул. Глибока	5	1	6	122	Обл. дитяча лікарня	11	14	20
42	вул. Громницького	18	5	13	123	Обл. лікарня (від центру)	14	16	17
43	вул. Дівоча	3	1	6	124	Обл. лікарня (до центру)	34	20	19
44	вул. Довженка	11	5	14	125	Обл. психоневр. лікарня	9	16	22
45	вул. Дружби (від центру)	3	5	6	126	Орнава	21	25	12
46	вул. Дружби (до центру)	35	24	25	127	ПК "Березіль"	23	21	25
47	вул. Євгена Коновальця	4	6	7	128	парк "Здоров'я"	7	3	5
48	вул. Збаразька (від центру)	36	43	57	129	парк Н. Відродження	7	5	10
49	вул. Збаразька (до центру)	33	27	44	130	Пед. університет	25	28	25
50	вул. Злуки	31	29	11	131	Пожежна частина	8	9	11
51	вул. К. Савери	3	3	4	132	просп. С. Бандери	23	10	26
52	вул. Карпенка (від центру)	6	5	3	133	Ремзавод	1	6	12
53	вул. Карпенка	40	36	25	134	Римо-католицький	41	33	22

	(до центру)					костел			
54	вул. Київська (від центру)	22	15	19	135	с. В. Березовиця	22	11	7
55	вул. Київська (до центру)	25	14	19	136	с. Острів	24	4	20
56	вул. Корольова	11	10	18	137	Савич парк	21	22	18
57	вул. Кривоноса	43	31	16	138	СЕ Борднетце-Україна	4	2	5
58	вул. Крушельницької	8	10	9	139	Столярна фабрика	2	11	22
59	вул. Л. Українки	65	33	43	140	Текстерно	7	4	5
60	вул. Лозовецька	4	7	13	141	Тернопільгаз	18	13	18
61	вул. Лук'яновича	8	4	4	142	Тернопільелектротранс	4	6	1
62	вул. Львівська	16	15	28	143	Тернопільобленерго	31	30	50
63	вул. Мазепи (від центру)	41	33	37	144	Техн. університет	6	7	5
64	вул. Мазепи (до центру)	35	31	37	145	ТК "Молодіжний"	3	5	5
65	вул. Малишка	3	3	4	146	ТК "Площа Ринок"	23	22	18
66	вул. Миру	12	6	12	147	ТРЦ "Подільяни"	34	39	50
67	вул. Монастирського	21	28	20	148	Тубдиспансер (від центру)	15	20	12
68	вул. Морозенка	7	9	10	149	Тубдиспансер (до центру)	46	31	33
69	вул. Морозенка (на ЛК)	8	9	13	150	ТЦ "Епіцентр"	3	13	22
70	вул. Оболоня	14	13	7	151	ТЦК	7	12	13
71	вул. Олени Теліги	6	7	16	152	Філармонія	32	43	54
72	вул. Патріарха Л. Гузара	7	9	14	153	хлібзавод	8	9	9
73	вул. Перля	6	9	8	154	Центр дозв. ім. О. Довженка	12	18	10
74	вул. П. Орлика (від центру)	3	4	3	155	Центральна бібліотека	68	73	81
75	вул. П. Орлика (до центру)	15	11	14	156	Центральний ринок	54	97	71
76	вул. Поліська	3	6	6	157	церк. Йосафата	17	10	14
77	вул. Протасевича	13	12	18	158	церк. св. Іллі	2	3	4
78	вул. Симоненка	48	33	21	159	церк. св. ап. Петра	47	26	19
79	вул. Слівенська (від центру)	9	10	9	160	церк. І. Богослова	13	13	10
80	вул. Слівенська (до центру)	18	14	11	161	Цукр. завод (від центру)	17	17	11
81	вул. С. Стадникової	34	29	27	162	Цукр. завод (до центру)	32	25	14

3. Визначення оптимальних кластерів. Одним із завдань кластерного аналізу є визначення оптимальної кількості кластерів. Для пошуку кількості кластерів, які найкраще представляють базові моделі в даних, можна використовувати такі методи, як метод ліктя або аналіз силуєту.



4. Інтерпретація кластерів: після визначення кластерів їх необхідно інтерпретувати, щоб зрозуміти характеристики кожного кластера. Це може включати аналіз поведінки пасажирів у кожному кластері, визначення загальних моделей подорожей, годин пік, бажаних маршрутів тощо.

5. Застосування в транспортному плануванні: розуміння, отримане в результаті кластерного аналізу, може бути цінним у транспортному плануванні для оптимізації маршрутів, частоти розкладу, ефективного розподілу ресурсів і адаптації послуг відповідно до конкретних потреб різних сегментів пасажирів.

Використовуючи програмний засіб STATISTICA 10, проведено кластерний аналіз 162 зупинок ГТ м. Тернополя. Змінними групування було обрано середнє значення пасажиропотоку на зупинках ГТ м. Тернопіль в пікові періоди (ранок, обід, вечір).

Для визначення кількості кластерів побудовано дендрограму (рис. 1), яка графічно зображає послідовність об'єднання кластерів. Для вимірювання відстані між об'єктами у кластерах використано евклідову метрику.

Виходячи з візуального представлення, робимо припущення, що зупинки можна розділити на 4 кластери.

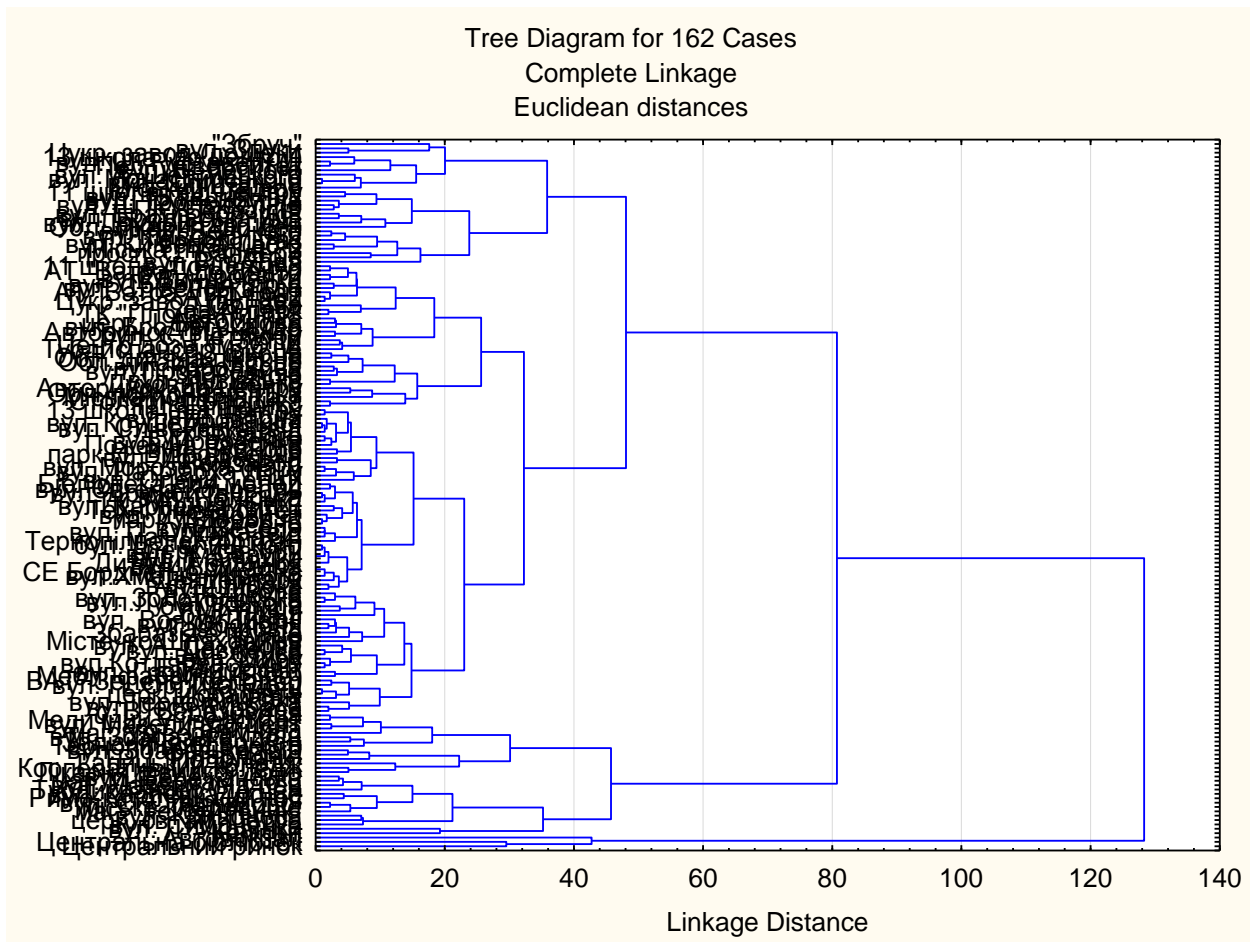


Рисунок 1. Дендрограма кількості завантаженості зупинок протягом 1 місяця

Кластеризацію було проведено методом *k*-середніх. Порівняльний аналіз між досліджуваними кластерами проводимо за допомогою аналізу дисперсій (рис. 2).

Variable	Analysis of Variance (Книга1.sta)					
	Between SS	df	Within SS	df	F	signif. p
ранок	28915,97	3	6858,223	158	222,0558	0,00
обід	29725,22	3	4727,283	158	331,1687	0,00
вечір	23879,28	3	7265,938	158	173,0873	0,00

Рисунок 2. Аналіз дисперсій

Рівень значущості  $p \in$  меншим за 0,05 за кожним періодом, за яким були розподілені зупинки, це означає, що така кількість кластерів є доцільною, відмінності між досліджуваними параметрами є достатньо великими для того, щоб говорити про те, що різна кількість пасажирів входить у досліджувані групи.

Середні значення та описові статистики, за якими здійснювався поділ кластерів представлено на рис. 3 і 4. Як бачимо, різких стрибків в середніх значеннях не спостерігалося.

Descriptive Statistics for Cluster 3 Cluster contains 59 cases				Descriptive Statistics for Cluster 2 Cluster contains 31 cases			
Variable	Mean	Standard Deviation	Variance	Variable	Mean	Standard Deviation	Variance
ранок	19,81356	5,989861	35,87843	ранок	39,19355	9,30383	86,5613
обід	17,71186	6,189677	38,31210	обід	34,61290	6,65671	44,3118
вечір	17,55932	6,077860	36,94038	вечір	35,12903	10,85892	117,9161

Descriptive Statistics for Cluster 1 Cluster contains 3 cases				Descriptive Statistics for Cluster 4 Cluster contains 69 cases			
Variable	Mean	Standard Deviation	Variance	Variable	Mean	Standard Deviation	Variance
ранок	70,66666	18,14754	329,3333	ранок	8,057971	4,730639	22,37894
обід	82,66666	12,66228	160,3333	обід	6,797101	3,546248	12,57587
вечір	70,00000	11,53256	133,0000	вечір	8,173913	4,405733	19,41049

Рисунок 3. Описові статистики змінних групування у кластерах

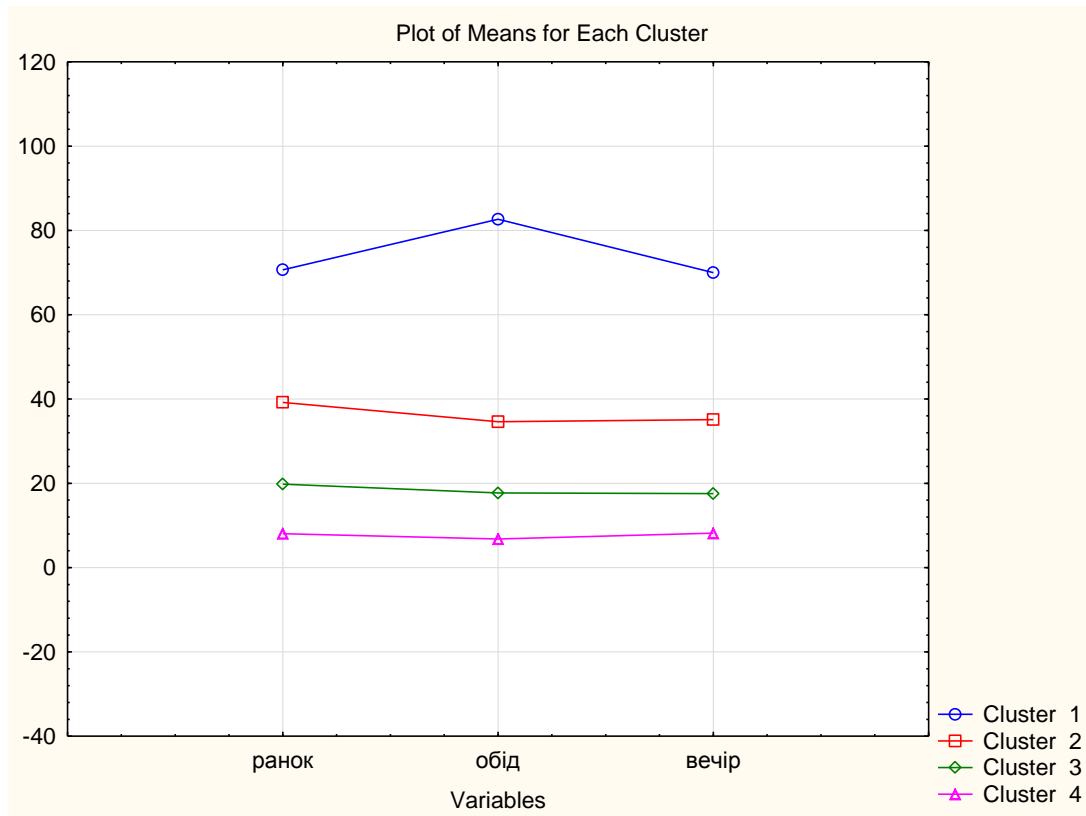


Рисунок 4. Середні значення, за якими здійснювався поділ кластерів  
В таблиці 2 приведено класифікацію зупинок за кластерами.

Таблиця 2. Класифікація зупинок за кластерами

Зупинка	Кластер	Зупинка	Кластер	Зупинка	Кластер	Зупинка	Кластер
1	2	3	4	5	6	7	8
Автовокзал	1	АТ "Ватра" (до	3	просп. С.	3	вул. Миру	4

		центру)		Бандери			
Центральна бібліотека	1	АТП-1962	3	с. В. Березовиця	3	вул. Морозенка	4
Центральний ринок	1	бул. Просвіти	3	с. Острів	3	вул. Морозенка (на ЛК)	4
13 школа (до центру)	2	ВАТ "Зелене господарство"	3	Савич парк	3	вул. Оболоня	4
6 школа	2	вул. 15 квітня (від центру)	3	Тернопільгаз	3	вул. Олени Теліги	4
вул. Б. Лепкого	2	вул. 15 квітня (до центру)	3	ТК "Площа Ринок"	3	вул. П. Орлика (від центру)	4
вул. Бережанська	2	вул. А. Шептицького	3	Тубдиспансер (від центру)	3	вул. Патріарха Л. Гузара	4
вул. Дружби (до центру)	2	вул. Братів Бойчуків	3	Центр дозв. ім. О. Довженка	3	вул. Перля	4
вул. Збаразька (від центру)	2	вул. Бродівська (від центру)	3	церк. Йосафата	3	вул. Поліська	4
вул. Збаразька (до центру)	2	вул. Бродівська (до центру)	3	Цукр. завод (від центру)	3	вул. Слівенська (від центру)	4
вул. Карпенка (до центру)	2	вул. В. Великого	3	Цукр. завод (до центру)	3	вул. Стуса	4
вул. Кривоноса	2	вул. Винниченка	3	13 школа (від центру)	4	вул. Тернопільська	4
вул. Л. Українки	2	вул. Злуки	3	14 школа	4	вул.Котляревського	4
вул. Мазепи (від центру)	2	вул. Київська (від центру)	3	Авторинок (від центру)	4	вул.Лучаківського	4
вул. Мазепи (до центру)	2	вул. Київська (до центру)	3	Бібліотека для молоді	4	вул.Хмельницького	4
вул. С. Стадникової	2	вул. Львівська	3	буд. праці	4	Газопровід	4
вул. Симоненка	2	вул. Монастирського	3	бул. Д. Галицького	4	Дендропарк	4
Галицький коледж	2	вул. П. Орлика (до центру)	3	бул. Куліша	4	Дитячий будинок	4
гот. Галичина	2	вул. Протасевича	3	бул. С. Петлюри	4	Електросвіт (до центру)	4
Залізничний вокзал	2	вул. Слівенська (до центру)	3	вул. А. Сахарова	4	Збаразьке кільце	4
Кемпінг	2	вул. Тролейбусна	3	вул. Бригадна	4	Кулко	4
Кооперативний коледж	2	вул. Ш. Руставелі (від центру)	3	вул. Броварна	4	маг. "Карпати"	4
Лікарня швидкої допомоги	2	вул. Ш. Руставелі (до центру)	3	вул. Будного	4	Мебл. фабрика (Біла)	4
маг. "Текстильник"	2	вул. Шпитальна	3	Електросвіт (від центру)	4	Митниця	4
маг. Універсам (від центру)	2	вул.Вільхова	3	вул. Весела	4	Містечко Шляховиків	4
маг. Універсам (до центру)	2	вул.Леся Курбаса	3	вул. Вояків Дивізії "Галичина"	4	парк "Здоров'я"	4
Медичний університет	2	Духовний центр	3	вул. Глибока	4	парк Н. Відродження	4

міське кладовище	2	За Рудкою	3	вул. Громницького	4	Пожежна частина	4
Римо-католицький костел	2	ЗУНУ	3	вул. Дівоча	4	Ремзавод	4
Тернопільобленерго	2	Кутківці	3	вул. Довженка	4	СЕ Борднетце-Україна	4
ТРЦ "Подoliaни"	2	Міська лікарня №2	3	вул. Дружби (від центру)	4	Столярна фабрика	4
Тубдиспансер (до центру)	2	Міська поліклініка №1	3	вул. Євгена Коновальця	4	Текстерно	4
Філармонія	2	Міський стадіон	3	вул. Золотогірська	4	Тернопільелектротранс	4
церк. св. ап. Петра	2	Новий світ	3	вул. К. Савури	4	Техн. університет	4
"Збруч"	3	Обл. дитяча лікарня	3	вул. Карпенка (від центру)	4	ТК "Молодіжний"	4
11 школа (від центру)	3	Обл. лікарня (від центру)	3	вул. Корольова	4	ТЦ "Епіцентр"	4
11 школа (до центру)	3	Обл. лікарня (до центру)	3	вул. Крушельницької	4	ТЦК	4
18 школа	3	Обл. психоневр. лікарня	3	вул. Лозовецька	4	хлібзавод	4
Автомийка	3	Орнава	3	вул. Лук'яновича	4	церк. І. Богослова	4
Авторинок (до центру)	3	Пед. університет	3	вул. Малишка	4	церк. св. Іллі	4
АТ "Ватра" (від центру)	3	ПК "Березіль"	3				

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Проаналізуємо отримані кластери завантаженості зупинок.

В перший кластер (дуже високої завантаженості) попали 3 зупинки: Автовокзал, Центральна бібліотека, Центральний ринок.

В другий (високої завантаженості) попали 31 зупинка: 13 школа (до центру), 6 школа, вул. Б. Лепкого, вул. Бережанська, вул. Дружби (до центру), вул. Збаразька (від центру), вул. Збаразька (до центру), вул. Карпенка (до центру), вул. Кривоноса, вул. Л. Українки, вул. Мазепи (від центру), вул. Мазепи (до центру), вул. С. Стаднікової, вул. Симоненка, Галицький коледж, гот. Галичина, Залізничний вокзал, Кемпінг, Кооперативний коледж, Лікарня швидкої допомоги, маг. "Текстильник", маг. Універсам (від центру), маг. Універсам (до центру), Медичний університет, міське кладовище, Римо-католицький костел, Тернопільобленерго, ТРЦ "Подoliaни", Тубдиспансер (до центру), Філармонія, Церк. св. ап. Петра.

В третій кластер (середньої завантаженості) попали 59 зупинок: "Збруч", 11 школа (від центру), 11 школа (до центру), 18 школа, Автомийка, Авторинок (до центру), АТ "Ватра" (від центру), АТ "Ватра" (до центру), АТП-1962, бул. Просвіти, ВАТ "Зелене господарство", вул. 15 квітня (від центру), вул. 15 квітня (до центру), вул. А. Шептицького, вул. Братів Бойчуків, вул. Бродівська (від центру), вул. Бродівська (до центру), вул. В. Великого, вул. Винниченка, вул. Злуки, вул. Київська (від центру), вул. Київська (до центру), вул. Львівська, вул. Монастирського, вул. П. Орлика (до центру), вул. Протасевича, вул. Слівенська (до центру), вул. Тролейбусна, вул. Ш. Руставелі (від центру), вул. Ш. Руставелі (до центру), вул. Шпитальна, вул. Вільхова, вул. Леся Курбаса, Духовний центр, За Рудкою, ЗУНУ, Кутківці, Міська лікарня №2, Міська поліклініка №1, Міський стадіон, Новий світ, Обл. дитяча лікарня, Обл. лікарня (від центру), Обл. лікарня (до центру), Обл. психоневр. лікарня, Орнава, Пед. університет, ПК "Березіль", просп. С. Бандери, с. В. Березовиця, с. Острів, Савич парк, Тернопільгаз, ТК "Площа Ринок", Тубдиспансер (від центру), Центр дозв. ім. О. Довженка, церк. Йосафата, Цукр. завод (від центру), Цукр. завод (до центру).

В четвертий кластер (низької завантаженості) попали 69 зупинок: 13 школа (від центру), 14 школа, Авторинок (від центру), Бібліотека для молоді, буд. праці, бул. Д. Галицького, бул. Куліша, бул. С. Петлюри, вул. А. Сахарова, вул. Бригадна, вул. Броварна, вул. Будного, Електросвіт (від центру), вул. Весела, вул. Вояків Дивізії "Галичина", вул. Глибока, вул. Громницького, вул. Дівоча, вул. Довженка, вул. Дружби (від центру), вул. Євгена Коновальця, вул. Золотогірська, вул. К. Савури, вул. Карпенка (від центру), вул. Корольова, вул. Крушельницької, вул. Лозовецька, вул. Лук'яновича, вул. Малишка, вул. Миру, вул. Морозенка, вул. Морозенка (на ЛК), вул. Оболоня, вул. Олени Теліги, вул. П. Орлика (від центру), вул. Патріарха Л. Гузара, вул. Перля, вул. Поліська, вул. Слівенська (від центру), вул. Стуса, вул. Тернопільська, вул. Котляревського, вул. Лучаківського, вул. Хмельницького, Газопровід, Дендропарк, Дитячий будинок, Електросвіт (до центру), Збарзьке кільце, Кулко, маг. "Карпати", Мебл. фабрика (Біла), Митниця, Містечко Шляховиків, парк "Здоров'я", парк Н. Відродження, Пожежна частина, Ремзавод, СЕ Борднетце-Україна, Столярна фабрика, Текстерно, Тернопільелектротранс, Техн. університет, ТК "Молодіжний", ТЦ "Епіцентр", ТЦК, хлібзавод, церк. І. Богослова, церк. св. Іллі.

### ВИСНОВКИ

На основі проведеного дослідження отримані такі результати:

1. На основі камерального та натурного способу зроблено дослідження пасажиропотоків у м. Тернопіль, що дало можливість сформулювати завантаженість зупинок протягом місяця.
2. Розроблено алгоритм кластерного аналізу, на основі якого проведено поділ пасажиропотоків зупинок на чотири кластери за рівне завантаженості пасажирів.
3. Проведено моделювання пасажиропотоків у середовищі STATISTICA 10 та отримано дендрограми кількості завантаженості зупинок, отримано дисперсії та середні значення, за якими здійснювався поділ кластерів.
4. Отже, застосувавши кластерний аналіз, нами було поділено зупинки ГТ м. Тернополя на 4 кластери, що дало змогу розділити їх за рівнем завантаженості на: дуже високої, високої, середньої та низької завантаженості.
5. Сформовано рекомендації щодо оновлення мережі маршрутів ГТ на основі розрахунку завантаження зупинок ГТ кластерним алгоритмом такі: модернізація транспортної мережі шляхом ліквідації близько 7-ми автобусних маршрутів, перегляд руху та проходження 9 маршруту, придбання низькопідлогових автобусів середньої та великої вмістимості для розвантаження центральної зони міста у місцях пересадки та найбільшої скупченості пасажирів, зменшення рівня дублювання маршрутів ( корегування графіком руху в пікові години і корекція заїздів ТЗ на перерву у години пік - маршрут 8, 18 у вечірній пік).

### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Попович П.В., Побережний Л.Я., Мурований І.С., Шевчук О.С., Прогній П.Б., Побережна Л.Я., Плотиця В.М. Дослідження комфорту в громадському транспорті м. Тернополя. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2020. Том 2. № 15. С. 88-98. <https://doi.org/10.36910/automash.v2i15.396>
2. Попович П.В., Маяк М.М., Розум Р.І., Буряк М.В., Березька К.М., Коваль Ю.Б., Мишко С.А. Дослідження стану транспортної інфраструктури міста Тернополя. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Вип. 7(38), Ч. II. 2023. С. 243-249. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.243-249](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.243-249).
3. Шевчук О. С. Порушення при облаштуванні паркувальних місць транспортних засобів на вулично-дорожній мережі міста. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2016. № 1. С. 167-171.
4. Попович П.В., Розум Р.І., Мурований І.С., Буряк М.В., Березька К.М., Петринюк Н.А., Лоїк І.О. Дослідження безпеки дорожнього руху у м. Тернополі. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Вип. 7(38), Ч. II. 2023. С. 250-256. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.250-256](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.250-256)
5. Шевчук О.С. Вплив показників ефективності на безпеку руху вулично-дорожніми мережами. *Вісник ХНТУСГ*. Харків, 2016. № 169. С. 205– 209.
6. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій. URL: [https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212\\_planuvannya.pdf](https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212_planuvannya.pdf)
7. Міністерство інфраструктури України. URL: <http://www.mintrans.gov.ua>



- 8.Palma, A. d., Kilani, M., & Proost, S. (2014). Discomfort in mass transit and its implication for scheduling and pricing. *Transportation Research Part B*, 1-18.
- 9.Єріна А. М. Статистичне моделювання та прогнозування: навч. посіб. К.: КНЕУ, 2001. 170 с.
- 10.Berezka K., Kovalchuk O. Modelling factors connected with the effect of international migration for security and economy. *Econometrics. Econometria. Advances in Applied Data Analysis*. 2019. Vol. 23, № 4. P. 38-50. <https://doi.org/10.15611/eada.2019.4.03>
- 11.Kovalchuk O., Berezka K. Discriminant analysis of nation brands 2022 in terms of military invasion of russian federation in Ukraine. *Journal of European Economy*. 2022. 21(3). P. 232-255. <https://doi.org/10.35774/jee2022.03.242>.
- 12.<http://bus.ck.ua/avtobus.html>
- 13.<https://www.eway.in.ua/ua/cities/ternopil>
- 14.[https://businessforsmartcities.com/load/118/presentation/7\\_sergiy\\_nadal\\_6\\_852c9.pdf](https://businessforsmartcities.com/load/118/presentation/7_sergiy_nadal_6_852c9.pdf)

## REFERENCES

- 1.Popovych, P.V., Poberezhnyi, L.Ia., Murovani, I.S., Shevchuk, O.S., Prohni, P.B., Poberezhna, L.Ia., Plotytsia, V.M. (2020). Doslidzhennia komfortu v hromadskomu transporti m. Ternopolia. Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti. 2(15). 88-98. <https://doi.org/10.36910/automash.v2i15.396>
- 2.Popovych, P.V., Maiak, M.M., Rozum, R.I., Buriak, M.V., Berezka, K.M., Koval, Yu.B., Myshko, S.A. (2023). Doslidzhennia stanu transportnoi infrastruktury mista Ternopolia. Tsentralnoukrajinskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky, 7(38), II. 243-249. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.243-249](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.243-249)
- 3.Shevchuk, O.S. (2016). Porushennya pry` oblashtuvanni parkoval`ny`x miscz` transportny`x zasobiv na vuly`chno-dorozhnij merezhi mista. Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti, 1, 167-171.
- 4.Popovych, P.V., Rozum, R.I., Murovani, I.S., Buriak, M.V., Berezka, K.M., Petryniuk, N.A., Loik, I.O. (2023). Doslidzhennia bezpeky dorozhnogo rukhu u m. Ternopoli. Tsentralnoukrajinskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky. 7(38), II. 250-256. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).2.250-256](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).2.250-256)
- 5.Shevchuk, O.S. (2016). Vplyv pokaznykiv efektyvnosti na bezpeku ruhu vulychno-dorozhnymy merezhamy. Visnyk HNTUSG, 169, 205–209.
- 6.DBN B.2.2-12:2019 Planuvannya ta zabudova tery`torij: [https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212\\_planuvannya.pdf](https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212_planuvannya.pdf)
- 7.Ministerstvo infrastruktury Ukrainy, official website, available at: [www.mintrans.gov.ua](http://www.mintrans.gov.ua)
- 8.Palma, A. d., Kilani, M., & Proost, S. (2014). Discomfort in mass transit and its implication for scheduling and pricing. *Transportation Research Part B*, 1-18.
- 9.Yerina, A. M. (2001). Statystychni modelyuvannya ta prohnozuvannya: Navch. posibnyk. K.: KNEU, 170 s.
- 10.Berezka, K., Kovalchuk, O. (2019). Modelling factors connected with the effect of international migration for security and economy. *Econometrics. Econometria. Advances in Applied Data Analysis*. 23(4). 38-50. <https://doi.org/10.15611/eada.2019.4.03>
- 11.Kovalchuk, O., Berezka, K. (2022). Discriminant analysis of nation brands 2022 in terms of military invasion of russian federation in Ukraine. *Journal of European Economy*. 21(3). 232-255. <https://doi.org/10.35774/jee2022.03.242>.
- 12.<http://bus.ck.ua/avtobus.html>
- 13.<https://www.eway.in.ua/ua/cities/ternopil>
- 14.[https://businessforsmartcities.com/load/118/presentation/7\\_sergiy\\_nadal\\_6\\_852c9.pdf](https://businessforsmartcities.com/load/118/presentation/7_sergiy_nadal_6_852c9.pdf)

### **O. Shevchuk, K. Berezka, N. Falovych, O. Zakharchuk, V. Falovych, I. Mamrosh. Klaster analysis of the level of congestion at public transport stops in ternopil city.**

The paper examines the transport network of public transport in Ternopil. The average value of passenger traffic at public transport stops during peak periods was taken for the study. When determining the loading level of public transport stops, cluster analysis was used. Cluster analysis makes it possible to visually classify public transport stops in Ternopil according to the degree of passenger occupancy. Clusters were formed taking into account the number of passengers at stops and routes at different times of the day (morning, lunch, evening). Cluster analysis was carried out by the k-means method using the STATISTICA 10 software product. The Euclidean metric was chosen to measure the distance of objects in clusters. Ternopil public transport stops were divided into 4 clusters: very busy, high busy, medium busy, low busy. Based on the calculation of the loading of public transport stops, recommendations are provided for updating

the network of public transport routes. The results of the research are useful for planning routes and frequencies of vehicles and the use of the number of vehicles on each route, especially during peak hours.

**Keywords:** cluster analysis, k-means method, passenger traffic, transfer points, transport network, public transport.

*ШЕВЧУК Оксана Степанівна*, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: oksana\_shevchuk84@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8283-4620>

*БЕРЕЗЬКА Катерина Миколаївна*, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної математики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: km.berezka@gmail.com ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9632-4004>

*ФАЛОВИЧ Наталя Миколаївна*, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: n.falovych@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1651-3022>

*ЗАХАРЧУК Олена Павлівна*, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: [olenaskyba8500@gmail.com](mailto:olenaskyba8500@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4359-5644>

*ФАЛОВИЧ Володимир Андрійович*, доктор економічних наук, професор кафедри промислового маркетингу, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, e-mail: falovych@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0002-5784-0233>

*МАМРОШ Ігор Михайлович*, аспірант кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: mamrosh96@ukr.net

*Oksana SHEVCHUK*, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Transport and Logistics, Western Ukrainian National University e-mail: oksana\_shevchuk84@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8283-4620>

*Kateryna BEREZKA*, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Applied Mathematics, West Ukrainian National University e-mail: [km.berezka@gmail.com](mailto:km.berezka@gmail.com) ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9632-4004>

*Nataliia FALOVYCH*, PhD in Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Logistics, Western Ukrainian National University e-mail: n.falovych@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5784-0233>

*Olena ZAKHARCHUK*, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Transport and Logistics, Western Ukrainian National University e-mail: olenaskyba8500@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4359-5644>

*Volodymyr FALOVYCH*, Doctor of economic science / D.Sc. (Economics), Associate Professor, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine, e-mail: falovych@gmail.com ORCID ID: <https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0002-5784-0233>

*Ihor MAMROSH*, student of the Department of Transport and Logistics, West Ukrainian National University, Ternopil, e-mail: mamrosh96@ukr.net

DOI 10.36910/automash.v1i22.1379

УДК 656.078

UDC 656.078

Шевчук О.С.<sup>1</sup>, Захарчук О.П.<sup>1</sup>, Фалович Н.М.<sup>1</sup>, Березька К.М.<sup>1</sup>, Сіран Р. В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна.

## КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ МОДЕРНИЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ СЕРЕДНІХ МІСТ В УКРАЇНІ

Процес урбанізації сприяє збільшенню щільності заселення територій, що має значні наслідки для формування середовища життєдіяльності мешканців міст та прилеглих населених пунктів і є важливим чинником соціально-економічного розвитку суспільства.

У багатьох містах світу протягом останніх десятиліть організація міських просторів була адаптована до людських потреб з урахуванням побажань самих мешканців. Це відбулося завдяки тому, що на зміну автомобілеорієнтованим модерністським практикам містопланування прийшли практики людиноорієнтованого планування міст, головними пріоритетами якого є забезпечення умов для комфортного пересування людей, а не автомобілів.

Постійне зростання населення та розвиток економіки може призводити до збільшення автомобільного та громадського транспорту в містах. Модернізація транспортної мережі допомагає забезпечити ефективний рух автомобілів та громадського транспорту, запобігаючи заторам та підвищуючи загальну мобільність. Розвиток транспортної мережі дозволяє впроваджувати нові технології та стандарти безпеки, такі як розширення доріг, встановлення додаткових сигнальних систем та пішохідних переходів, а також дозволяє впроваджувати більш екологічні технології, такі як масова електрифікація громадського транспорту та встановлення інфраструктури для велосипедистів та пішоходів. Сучасна транспортна мережа є ключовою для забезпечення конкурентоспроможності міст у глобальному економічному середовищі.

Забезпечення сталої мобільності передбачає, що в ієрархічній структурі використання для пересування міського простору на першому місці мають бути пішоходи, потім – велосипедисти, громадський транспорт, а на останньому – приватні автомобілі. У зв'язку з цим, лише застосування комплексного підходу створює передумови для планування міст та їх окремих територій з перспективи різних учасників міського життя, стимулюючи сталий розвиток населених пунктів.

**Ключові слова:** пасажирські перевезення, завантаженість, транспортна мережа, маршрут, рівень комфорту, громадський транспорт, пасажиропотік, сталий розвиток.

### ВСТУП

Щоденно для здійснення більшої половини всіх пересувань містом мешканці користуються громадським транспортом (ГТ). Проте все ще значною є частка користування приватними автомобілями, що має негативні наслідки в екологічному аспекті забезпечення мобільності. Головна ідея сталого розвитку транспортної системи полягає не в повному усуненні використання транспорту, а в збалансованому розвитку всіх способів пересування з акцентом на більш екологічно безпечні, соціально доступні та економічно доцільні види транспорту. Враховуючи різні потреби в мобільності, є частка мешканців, які вимушені часто користуватися автомобілем для поїздок містом, наприклад, у робочих справах. Однак, створюючи зручні умови поїздок для тих, хто потенційно може перейти на користування послугами ГТ, вирішується проблема заторів на дорогах для людей, що вимушені користуватися приватними автомобілями. Оскільки якісні послуги ГТ є сталою альтернативою індивідуальному автомобільному транспорту, дієвим способом стимулювання користування ними є пріоритизація руху ГТ.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Тернопільська МТГ (міська територіальна громада) із великим багатофункціональним містом Тернополем має значний потенціал розвитку. У зв'язку з цим, міське середовище як сукупність елементів життєвого простору, включаючи і дорожній рух, має забезпечувати для мешканців та гостей міста відчуття комфорту та безпеки при перебуванні в громадському просторі чи здійсненні переміщень. Основною метою розвитку пріоритету комфортного для пересування міського середовища є збалансування можливостей безпечного переміщення різними видами транспорту, задовольняючи потреби в мобільності різних груп населення.

Мешканці Тернопільської МТГ щодня здійснюють щонайменше 2 переміщення, використовуючи при цьому комбінації різних видів транспорту. Яким би не був вибір основного способу пересування – громадським транспортом, велосипедом чи автомобілем, кожен мешканець є пішоходом, що долає пішки навіть незначні відрізки своїх щоденних маршрутів, наприклад, здійснюючи підхід до зупинки громадського чи місця зберігання індивідуального транспорту. Однак, пересування пішки, велосипедом або легким персональним транспортом до кінцевого місця

призначення не є свідомим вибором мешканців як сталих видів транспорту через відсутність у місті належних умов, що забезпечують комфорт та безпеку пересування.

Згідно з ДБН-360-92 [3], місто Тернопіль розташоване на перетині між середніми (до 250 тис. чол.) і великими (понад 250 тис. чол.) населеними пунктами. Для такого міста нормативні витрати часу на пересування від місць проживання до місць праці або навчання для 90% працездатних осіб (студентів) не повинні перевищувати 30-35 хвилин. Для мешканців віддалених мікрорайонів цей час може бути збільшений не більше ніж вдвічі. Аналіз часу руху транспортних засобів по місту показав, що цей показник дотримується (час руху між найбільш віддаленими кінцевими зупинками не перевищує 35 хвилин). Для віддалених мікрорайонів таких як містечко Шляховиків, село Острів, селище В. Березовиця, час руху для найдовшого маршруту тролейбуса № 8 в довжину приблизно 11 км в одну сторону складає 50 хвилин, а для найдовшого маршруту автобуса № 18, приблизно 15 км в одну сторону - 53 хвилини, що відповідає нормативам. Нормативний показник щільності міських доріг для громадського транспорту на забудованій території міста - 1.5-2.5 км/км<sup>2</sup>, також дотримується і становить приблизно 2 км/км<sup>2</sup>. Забезпечується нормативна віддаль пішохідної доступності до зупинок громадського транспорту яка становить 250-400 м і нормативна віддаль між зупинками громадського транспорту знаходиться в межах 400-600 м.

Таблиця 1 Показники переміщення транспортної мережі міст

№	Показники переміщення транспортної мережі міст	Значення показника
1	Середній час переміщення, хв	33.0
2	Середній час очікування, хв	13.5
3	Середня відстань переміщення, км	6.0
4	Середня швидкість переміщення, км/год	4.4/3.7
5	Середня швидкість ГТ, км/год	10
6	Середня кількість пересадок	17
7	Середньодобовий обсяг перевезень, пас	Нижче 10% від обсягу переміщення
8	Середньодобовий пробіг, км	138000
9	Пасажиро-кілометри, км	37274.3
10	Пасажиро-години	507218.1

## ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Забезпечення високого рівня якості послуг пасажирського транспорту є ключовим елементом ефективного функціонування та розвитку транспортної системи міста. Сучасна динаміка соціально-економічного розвитку міст стимулює мешканців не лише задовольняти свої потреби в переміщеннях користуючись доступними послугами ГТ, а й формувати нові вимоги до рівня витрат часу на здійснення поїздок, регулярності, комфорту та безпеки, що є для них принципово важливими критеріями при виборі способу пересування. За результатами соціологічного опитування було встановлено, що близько 62% мешканців оцінили рівень якості транспортного обслуговування як прийнятний, проте, серед основних недоліків користувачі ГТ відзначили наявність випадків порушення водіями ПДР, порушень у роботі ГТ та невідповідності транспортних засобів санітарно-технічним вимогам.

Для забезпечення високоякісного транспортного обслуговування пасажирів, важливо мати достатню кількість автобусів великої та середньої пасажиромісткості. Проте, в контексті принципів сталої міської мобільності, пріоритетом є використання екологічно чистого електричного транспорту.

Мережа громадського транспорту у Тернополі складається з тролейбусних та автобусних маршрутів. У місті є 218 автобусних та 135 тролейбусних зупинок, що забезпечує високий рівень доступності транспорту для 96% мешканців у радіусі 500 метрів від їхнього місця проживання.

Всі зупинки тролейбусних маршрутів обладнані спеціальними спорудами, але 17% зупинок автобусних маршрутів, де мало пасажирів, залишаються недостатньо обладнаними. КП «Тернопільелектротранс» має 60 тролейбусів, але 56 з них старші за 15 років, і середній вік парку ТЗ складає 26 років, що вимагає його повного оновлення. Також, більшість автобусів, які обслуговують міські маршрути, знаходяться у приватній власності, що ускладнює контроль за їхнім оновленням та модернізацією з урахуванням потреб мало мобільних груп населення.





Рисунок 1. Схема автобусної маршрутної мережі громадського транспорту м. Тернопіль

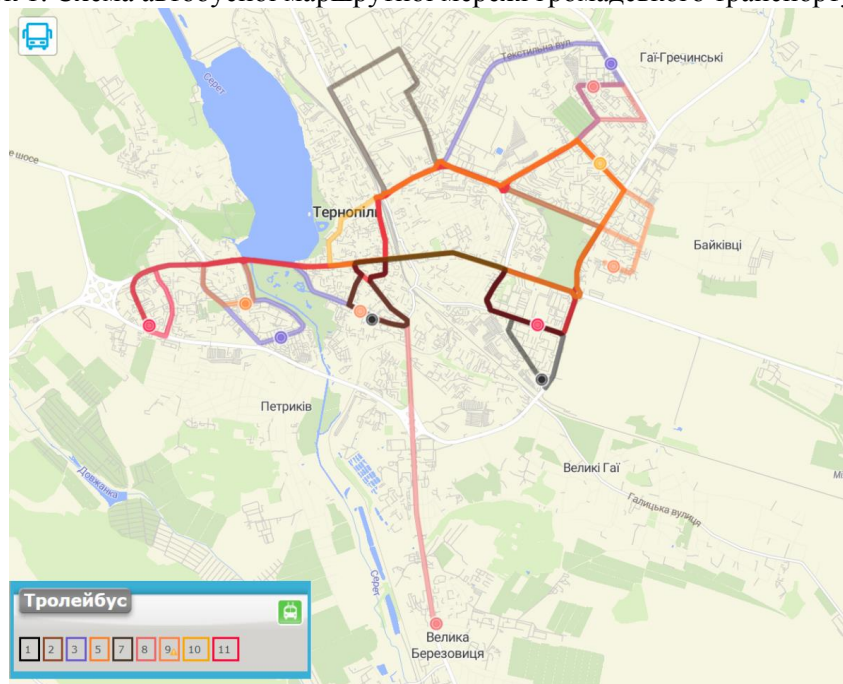


Рисунок 2. Схема троллейбусної маршрутної мережі громадського транспорту м. Тернопіль

Основні показники транспортної мережі міста на автобусних та троллейбусних маршрутах в м. Тернопіль приведені у Таблиці 2.

Таблиця 2 Показники транспортної мережі

п/п	№	Показники	Автобуси або маршрутні таксі	Тролейбуси
1		Кількість діючих маршрутів	32	9
2		Довжина маршрутної мережі	605,3	187,6
3		Щільність маршрутної мережі, км/км <sup>2</sup>	13,2	3,7
4		Кількість одиниць ТЗ на маршрутах	172	52
5		Загальна пасажиромісткість на маршрутах	8584	6650



Для збільшення попиту використання громадського транспорту необхідно забезпечити основні критерії:

1. Підвищення рівня якості обслуговування пасажирів.
2. Підвищення рівня якості транспортних послуг.
3. Підвищення інтегрованості громадського транспорту.
4. Посилення ролі громадського транспорту.

**Підвищення рівня якості обслуговування пасажирів** є однією з цілей розвитку сталої мобільності в Тернопільській МТГ обрано підвищення рівня якості транспортного обслуговування пасажирів у відповідності з критеріями:

- доступність ГТ для всіх мешканців з урахуванням потреб маломобільних груп населення, що забезпечується систематичним оновленням парку рухомого складу низькопідлоговими транспортними засобами та влаштуванням зупиночних пунктів;

- прийнятний рівень часу очікування та тривалості здійснення поїздок шляхом корегування графіків руху;

- передбачуваність та надійність роботи транспортних засобів на маршрутах ГТ;

- комфортність поїздок у транспортних засобах безпечність як під час здійснення поїздки у транспортному засобі, так і під час очікування на зупиночному пункті;

- високий рівень інформування пасажирів про функціонування системи ГТ в режимі реального часу, що дозволяє пасажирам ефективно планувати маршрут.

Підвищити рівень якості транспортного обслуговування населення можливо шляхом поступової заміни застарілого рухомого складу на маршрутах ГТ та забезпечення необхідної кількості нових сучасних низькопідлогових автобусів та тролейбусів у відповідності з існуючим транспортним попитом. Закупівля автобусів має здійснюватися з урахуванням чинних екологічних стандартів Євро-5. Для зменшення екологічного впливу рекомендується експлуатація ТЗ, обладнаних гібридними двигунами та електродвигунами або ДВЗ, що працюють на зрідженому нафтовому газі (LPG).

Крім цього, необхідним є якісне оснащення зупинок громадського транспорту із дотриманням наступних умов безпеки та комфорту користування відповідною інфраструктурою всіма категоріями населення:

- використання на посадкових майданчиках (місцях посадки пасажирів) покриття із поверхнею, яка запобігає ковзанню;

- виділення краю тротуару в зоні зупинки смугами уніфікованого тактильного та контрастного покриття;

- наявність звукового інформування про назву зупинки, номер і назву маршруту, за яким прямує ТЗ, який прибув на зупинку;

- забезпечити роботу систем, що інформують у салоні транспортних засобів, пасажирів із порушенням зору та слуху про зупинки на маршруті;

- забезпечення пасажирів якісною системою вуличного інформування на зупиночних пунктах з актуальною інформацією щодо розкладів часу прибуття та відправлення відповідних маршрутів для зручності планування поїздки.

**Підвищення інтегрованості громадського транспорту.** Поняття інтегрованості транспорту включає взаємодію різних видів транспорту, що забезпечує максимальний ефект для користувача з точки зору витрат часу, вартості проїзду, комфорту, безпеки, доступності та зручності. З огляду на технічні та експлуатаційні особливості, кожен вид транспорту в системі повинен задовольняти специфічний попит, що розглядається в рамках загальних потреб мешканців у пересуваннях. Таким чином, різні види транспорту не лише конкурують, а й доповнюють один одного. Інтеграція різних видів транспорту потребує наявності відповідної інфраструктури, що спланована з урахуванням потреб користувачів. Базовою характеристикою інтегрованої транспортної системи є забезпечення безбар'єрних транспортно-пересадкових станцій чи хабів, облаштованих об'єктами інфраструктури для зручної пересадки з одного транспортного засобу на інший. Міжнародна практика демонструє, що при створенні інтегрованої транспортної системи, громадському транспорту відводиться визначна роль з огляду на економічні, соціальні та екологічні аспекти забезпечення мобільності. Тому при облаштуванні перехоплюючих автомобільних паркінгів на підходах до міста, паркувальних станцій чи пунктів прокату велосипедів обов'язково має враховуватися їх розташування відносно зупинок громадського транспорту. Інтеграція всередині системи громадського транспорту досягається шляхом взаємного узгодження розкладів руху, зменшення рівня взаємного дублювання маршрутів та

удосконалення системи магістральних та підвізних маршрутів, введення єдиної системи оплати для всіх видів ГТ та впровадження інтегрованих тарифів. Реалізація цих заходів дозволяє зменшити час пересування мешканців до місць призначення, мінімізувати час пересадки та підвищити якість надання послуг ГТ. Важливою складовою інтегрованої транспортної системи є забезпечення ефективної інформаційно-навігаційної системи, що дозволяє користувачам швидко орієнтуватися при виборі можливих способів пересування та адаптуватися до змін розкладів руху при плануванні своїх маршрутів в режимі реального часу. Ефективними засобами інформування є інформаційні табло, карти з нанесеними маршрутами всіх видів транспорту та пересадочними пунктами, інтегровані мобільні додатки, що окрім ГТ охоплюють інші опції вибору способу пересування. Наразі в Тернопільській МТГ швидкими темпами здійснюється процес розвитку моніторингу та координації експлуатації системи ГТ з введенням автоматизованої системи обліку оплати проїзду та послуги з необмеженої кількості пересадок на маршрутах протягом 30 хв для забезпечення максимально зручних транспортних послуг для усіх користувачів.

Електрифікація міського пасажирського транспорту сприяє підвищенню енергоефективності, уникненню значного забруднення атмосферного повітря, зниженню шумового забруднення. Крім того, це є ефективним рішенням для розвитку ринку пасажирських перевезень з метою дієвого реагування на поточні екологічні проблеми. У Тернопільській МТГ автомобільний транспорт генерує понад 70% всіх забруднюючих речовин, що потрапляють в атмосферне повітря. Кількість викидів шкідливих речовин залежить також від віку транспортних засобів. Враховуючи той факт, що на маршрутах ГТ експлуатується застарілий рухомий склад, процес оновлення парку рухомого складу доцільно поєднати з поступовим переходом на екологічний електротранспорт. На сьогодні в громаді частка електрифікованого рухомого складу в структурі міського пасажирського транспорту загального користування складає всього 28%, проте в місті є значні резерви для розвитку маршрутної мережі електричного ГТ. У зв'язку з цим, доцільно приділити увагу розробці раціонального варіанту маршрутної мережі з урахуванням нових потреб у мобільності, офіційно наданих пропозицій населення щодо зміни трас маршрутів та можливості влаштування тролейбусних маршрутів на основних напрямках переміщення населення. При цьому формування маршрутної мережі має базуватися на принципі пріоритетності тролейбусних маршрутів при дублюванні з автобусними маршрутами. Крім того, при удосконаленні маршрутної мережі громади мають враховуватися плани поставок та оновлення рухомого складу електротранспорту. Зосереджуючи увагу на екологічних аспектах функціонування ГТ, все більше європейських міст ініціюють реалізацію проектів з розвитку маршрутних мереж тролейбусного транспорту, демонструючи своїм прикладом, що застосування електробусів є не єдиною опцією для розвитку мережі електричного ГТ. З економічної точки зору, при виборі між електротранспортом та дизельними автобусами відповідальні особи орієнтуються як на купівельну ціну так і на вартість експлуатації, що формують сукупну вартість володіння (життєвого циклу). При порівнянні тролейбусів та дизельних автобусів, електротранспорт має нижчу сукупну вартість володіння в довгостроковій перспективі, оскільки значні інвестиції на придбання рухомого складу нівелюються низькою вартістю енергоносіїв під час експлуатації. Завдяки розробці нових технологій сучасні тролейбуси поєднують одразу два важливі фактори сталого транспорту: нульові викиди CO<sub>2</sub> та гнучкість, оскільки створюють передумови розвитку електромобільності навіть в районах з відсутньою тролейбусною контактною мережею.

**Підвищення ролі громадського транспорту.** Пріоритетний рух громадського транспорту при організації дорожнього руху. За результатами дослідження транспортної поведінки мешканців м. Тернополя було встановлено, що тільки п'ята частина всіх переміщень (19,3 %) мешканців міста здійснюється з використанням індивідуального автомобіля, при цьому створюючи затори на магістральних вулицях та забруднюючи навколишнє середовище. Розвиток сталої мобільності в громаді буде здійснюватися завдяки переходу на більш економічно вигідні та екологічні способи пересування, основним з яких є громадський транспорт, що забезпечує задоволення 52% усіх потреб мешканців у переміщеннях. Одним із найбільш ефективних шляхів підвищення привабливості ГТ серед мешканців громади є надання пріоритету руху ГТ у транспортному потоці.

Впровадження заходів із пріоритизації руху ГТ забезпечує переваги як для пасажирів так і для перевізників:

- Дотримання встановлених графіків руху;
- Підвищення надійності та безпечності роботи ГТ;
- Скорочення тривалості поїздки пасажирів;
- Збільшення частки переміщень з використанням ГТ;

- Покращення експлуатаційної ефективності ГТ.

Заходи з надання пріоритету громадському транспорту можуть включати проектні рішення такі як виділених смуг руху для маршрутних транспортних засобів, впровадження пасивного дотримання пріоритету ГТ та активне застосування. Таким чином дотримується принцип сприяння розвитку громадського транспорту, які одночасно обслуговують більшу кількість пасажирів та забезпечують більш ефективне використання міського простору. Впровадження виділених смуг дозволяє маршрутним транспортним засобам не залежати від загального потоку транспорту, оминати затори та дотримуватися графіків руху, гарантуючи прогнозований та надійний сервіс, що, у свою чергу, заохочує мешканців відмовлятися від користування індивідуальним транспортом.

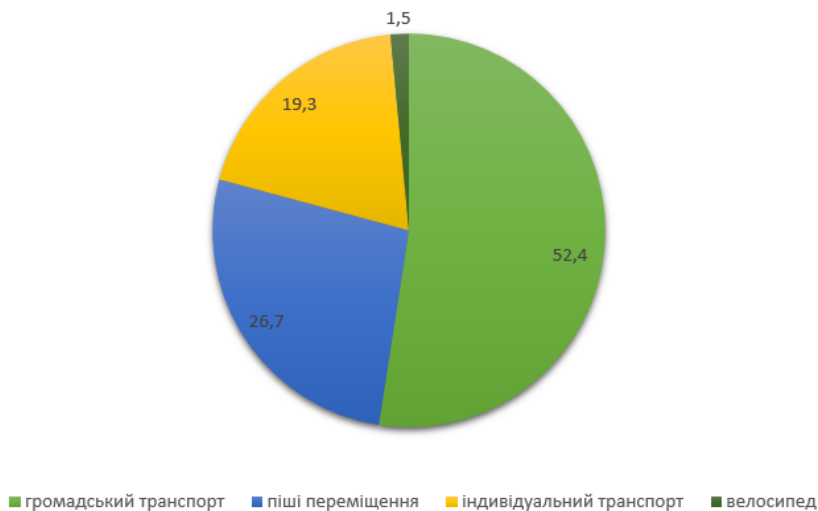


Рисунок 3. Використання громадського транспорту мешканцями міста м. Тернопіль, %

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У зв'язку з обмеженими можливостями перепланування ділянок вулиць та перехресть у місті удосконалення організації дорожнього руху для забезпечення безперешкодного руху ГТ може досягатися не лише планами реконструкції вулиць та доріг, а й організаційними заходами, що можуть доповнювати рішення комплексної схеми організації дорожнього руху. Зокрема, нанесення дорожньої розмітки для виділених смуг ГТ. Зменшення тривалості рейсу кожного транспортного засобу на маршруті дозволить оптимізувати інтервали руху та дозволить встановити необхідну кількість одиниць рухомого складу на маршрутах. Організація пріоритетного руху ГТ сприяє підвищенню привабливості транспортних послуг для пасажирів, скороченню операційних витрат та зменшенню негативного впливу транспорту на навколишнє середовище.

Стабільне формування пасажирських і транспортних потоків є важливою передумовою для ефективного функціонування системи громадського транспорту. Результати обстежень і аналізу пасажирсько-транспортної системи свідчать про успішне вирішення цієї задачі протягом останніх 10 років. У місті практично відсутні втратні маршрути, середньоденний коефіцієнт завантаження транспорту складає, у середньому - 70%, що визначає не лише ефективність використання громадського транспорту, але й рівень задоволення пасажирів транспортними послугами. На протязі нового конкурсного періоду розвиток громадського транспорту м. Тернополя повинен рухатися в напрямку поетапного вдосконалення маршрутної мережі і оновлення транспортних засобів.

Досвід деяких міст підтверджує, що рішучі та радикальні зміни в маршрутній мережі, засновані виключно на прогнозних показниках, можуть спричинити дисбаланс у стабільності транспортних потоків, їх перерозподілу та викликати дезорганізацію перевезень, що призводить до створення транспортного хаосу.

Згідно з розробленою концепцією, ключовим засобом громадського транспорту для пасажирських перевезень у центральній частині міста повинен бути електротранспорт. Однак основним обмежуючим фактором для розвитку електротранспорту залишається застарілий транспортний флот, що потребує оновлення, та недостатня кількість транспортних засобів. Це обмеження впливає на можливість введення нових маршрутів при розробці маршрутної мережі електротранспорту. Зростання контактної мережі створює сприятливі умови для охоплення нових мікрорайонів міста тролейбусними маршрутами. Однак у період військового стану необхідно

врахувати ризики щодо перебоїв електроенергії на тривалий період, щоб запобігти транспортному колапсу.

Для ефективної експлуатації цих маршрутів потрібно виконати кілька умов, включаючи поповнення транспортного парку, розвиток транспортної інфраструктури та гармонійне впровадження цих маршрутів у загальну мережу електротранспорту.

Основними напрямками розвитку маршрутної мережі електротранспорту на майбутні періоди до 2030 року є такі:

1. Подальше оновлення засобів електротранспорту і поступове збільшення його кількості для організації нових маршрутів.

2. Розвиток інфраструктури електротранспорту: організація і облаштування зупинок, заїзних кишень та ін.

3. Підготовка технічної документації та проведення підготовчих робіт для забезпечення електротранспортом нових перспективних районів із врахуванням розселення населення по транспортних районах.

Вдосконалення і розвиток маршрутної мережі автобусного транспорту здійснювались по таких напрямках:

1. Охоплення автобусним транспортом мікрорайонів, не забезпечених громадським транспортом у відповідності з нормативами, особливо тих які новоутворенні після будівництва нових житлових комплексів.

2. Введення соціальних програм для обслуговування малозабезпечених верст населення при відсутності тролейбусних маршрутів.

3. Введення спеціалізованих рейсів на маршрутах для перевезення працюючих та студентів по спеціальному графіку руху.

4. Введення окремих рейсів для перевезення пасажирів в місця поховань.

5. Блокування кількох маршрутів протягом дня для спільного використання транспортних засобів і посилення деяких маршрутів у відповідності із змінами пасажирських потоків (№: А4, А6, А5А, А9).

6. Перевезення пасажирів у вечірній позапіковий період при відсутності тролейбусів.

7. Реорганізація деяких маршрутів (№: 28А) для більш повного врахування змін інтенсивності пасажирських потоків та напрямків їх руху.

8. Посилення деяких маршрутів тролейбусів за рахунок використання автобусів великої пасажиро місткості (№ 1А).

9. Корегування графіку з'їзду на перерву транспортних засобів на маршрутах у пікові періоди.

У відповідності з нормативними документами маршрути міського автобусного транспорту мають відповідати таким вимогам:

1. Маршрути громадського транспорту мають проходити по дорогах і вулицях на території міста.

2. Маршрути автобусів мають з'єднувати основні точки притягання для забезпечення транспортних потреб пасажирів і необхідного пасажиро обміну.

3. Маршрути автобусів не можуть пролягати через ділянки, де стан та параметри доріг не відповідають нормативним вимогам.

4. Слід уникати прокладення маршрутів через місця концентрації ДТП.

## **ВИСНОВКИ**

Проведений аналіз результатів обстежень забезпечив підстави для таких висновків:

1. Денні зміни пасажирських потоків характеризуються суттєвою нерівномірністю (рис.3). Інтенсивність ранкових пікових потоків перевищує денну позапікову в 1.4- 1.6 рази, а вечірніх - в середньому у 1.2 рази. Причому у деяких січеннях спостерігається зниження інтенсивності потоку в період 10.30-13.00 на 20 % у порівнянні з денною позапіковою. Нерівномірності інтенсивності пасажирських потоків у тролейбусних транспортних засобах значно відчутніші, що вимагає більш ретельної організації перевезень для забезпечення техніко-економічних показників (оптимізація графіків руху, планування обідніх та технологічних перерв, тощо). Важливо відмітити, що отримані результати узгоджуються із отриманими раніше результатами досліджень сезонних змін пасажирських потоків, хоча спостерігається тенденція до збільшення рівня інтенсивності пасажирських потоків.

2. Кількість транспортних засобів на маршрутах близька до оптимальної. Практично у пікові години не спостерігається перевантаження транспорту (коефіцієнт заповнення не перевищує 100 %).



Середньоденний коефіцієнт заповнення коливається в межах 60-80% в залежності від маршруту і забезпечує необхідні економічні показники. Розподіл коефіцієнта завантаження тролейбусів дещо більший і коливається в межах 50-80 %, що вимагає часткового перерозподілу транспортних засобів на деяких маршрутах.

3. Коефіцієнт пасажирообміну у транспортних засобах міняється в межах від 1.1 до 3.0 в залежності від довжини та конфігурації маршруту. На довгих маршрутах, які проходять через значну кількість точок притягання, коефіцієнт пасажирообміну перевищує 2.0, а на коротких, які з'єднують малу кількість точок притягання, коефіцієнт пасажирообміну не перевищує 1.5.

Важливо відмітити, що в процесі вдосконалення пасажирсько-транспортної системи, потрібні збалансування кількості пасажирів і відповідне поєднання парку транспортних засобів - автобусного та електротранспорту.

### ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1.Попович П.В. Дослідження комфорту в громадському транспорті м. Тернополя. Побережний Л., Мурований І., Шевчук О., та ін. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2020. Том 2. No 15. Ст. 88-98.

2.Шевчук О. С. Порушення при облаштуванні паркувальних місць транспортних засобів на вулично-дорожній мережі міста. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. 2016. No 1. С. 167-171.

3.ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій. URL: [https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212\\_planuvannya.pdf](https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212_planuvannya.pdf)

4.[http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ\\_new1/2019/zb\\_chnn2019.pdf](http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ_new1/2019/zb_chnn2019.pdf)

5.[https://businessforsmartcities.com/load/118/presentation/7\\_serhiy\\_nadal\\_6\\_852c9.pdf](https://businessforsmartcities.com/load/118/presentation/7_serhiy_nadal_6_852c9.pdf)

6.<https://www.eway.in.ua/ua/cities/ternopil>

7.<http://bus.ck.ua/avtobus.html>

8.Шевчук О.С. Вплив показників ефективності на безпеку руху вулично-дорожніми мережами. Вісник ХНТУСГ. Харків, 2016. № 169. С. 205– 209.

9.Palma, A. d., Kilani, M., & Proost, S. (2014). Discomfort in mass transit and its implication for scheduling and pricing . Transportation Research Part B , 1-18.

10.[https://www.citylab.com/transportation/2020/05/commute-car-traffic-transit-bike-remote-workcoronavirus/611365/?fbclid=IwAR3Ykbyf9yWC9jJhI5tMk49jecimXa7zsOy1TgBUpBVUM1ZSxHjNpMS\\_I](https://www.citylab.com/transportation/2020/05/commute-car-traffic-transit-bike-remote-workcoronavirus/611365/?fbclid=IwAR3Ykbyf9yWC9jJhI5tMk49jecimXa7zsOy1TgBUpBVUM1ZSxHjNpMS_I)

11.Міністерство інфраструктури України URL: <http://www.mintrans.gov.ua>

12.Kateryna Berezka, Olha Kovalchuk. Modelling factors connected with the effect of international migration for security and economy // Econometrics. Econometria. Advances in Applied Data Analysis – 2019. – Vol. 23, № 4. – с. 38-50.

13.Єріна А. М. Статистичне моделювання та прогнозування: Навч. посібник. К.: КНЕУ, 2001. 170 с.].

14.Yerina A. M., Kovalchuk, O., Berezka, K. Discriminant analysis of nation brands 2022 in terms of military invasion of russian federation in Ukraine. Journal of European Economy, 21(3), (2022). 232-255. DOI: 10.35774/jee2022.03.242].

### REFERENCES

1.Pavlo POPOVICH. Doslidzhennya komfortu v gromads'komu transporti m. Ternopolya //Lyubomir POBEREZHNII, Igor MUROVANIJ, Oksana SHEVCHUK, Pavlo PROGNIJ, Lyubov POBEREZHNIA, Volodimir PLOTITSYA/ SUCHASNI TEKHNOLOHII V MASHINOBUDUVANNI TA TRANSPORTI - 2020. - Tom 2 - No 15.- St. 88-98

2.Shevchuk, O.S. (2016). Porushennya pry` oblashtuvanni parkoval`ny`x miscz` transportny`x zasobiv na vuly`chno-dorozhnyj merezhi mista. Suchasni tekhnologiyi v mashynobuduvanni ta transporti, 1, 167-171.

3.DBN B.2.2-12:2019 Planuvannya ta zabudova tery`torij: [https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212\\_planuvannya.pdf](https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212_planuvannya.pdf)

4.[http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ\\_new1/2019/zb\\_chnn2019.pdf](http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ_new1/2019/zb_chnn2019.pdf)

5.[https://businessforsmartcities.com/load/118/presentation/7\\_serhiy\\_nadal\\_6\\_852c9.pdf](https://businessforsmartcities.com/load/118/presentation/7_serhiy_nadal_6_852c9.pdf)

6.<https://www.eway.in.ua/ua/cities/ternopil>

7.<http://bus.ck.ua/avtobus.html>

8.Shevchuk, O.S. (2016). Vplyv pokaznykiv efektyvnosti na bezpeku ruhu vulychno-dorozhnyimy merezhamy. Visnyk HNTUSG, 169, 205–209.



- 9.Palma, A. d., Kilani, M., & Proost, S. (2014). Discomfort in mass transit and its implication for scheduling and pricing . *Transportation Research Part B* , 1-18.
- 10.[https://www.citylab.com/transportation/2020/05/commute-car-traffic-transit-bike-remote-work-coronavirus/611365/?fbclid=IwAR3Ykbyf9yWC9jJhI-5tMk49jecimXa7zsOy1TgBUpBVUM1ZSXeHjNpMS\\_I](https://www.citylab.com/transportation/2020/05/commute-car-traffic-transit-bike-remote-work-coronavirus/611365/?fbclid=IwAR3Ykbyf9yWC9jJhI-5tMk49jecimXa7zsOy1TgBUpBVUM1ZSXeHjNpMS_I)
- 11.Ministerstvo infrastruktury Ukrainy, official website, available at: [www.mintrans.gov.ua](http://www.mintrans.gov.ua)
- 12.Kateryna Berezka, Olha Kovalchuk. Modelling factors connected with the effect of international migration for security and economy // *Econometrics. Econometria. Advances in Applied Data Analysis* – 2019. – Vol. 23, No. 4. – P. 38-50.
- 13.Yerina A. M. *Statystychne modelyuvannya ta prohnozuvannya: Navch. posibnyk*. K.: KNEU, 2001. 170 s.].
- 14.Yerina A. M., Kovalchuk, O., Berezka, K. Discriminant analysis of nation brands 2022 in terms of military invasion of russian federation in Ukraine. *Journal of European Economy*, 21(3), (2022). 232-255. DOI: 10.35774/jee2022.03.242].

**O. Shevchuk, O. Zakharchuk, N. Falovych, K. Berezka, R. Siran. Conceptual basis of modernization of transport infrastructure of medium cities in Ukraine.**

The process of urbanization contributes to an increase in the density of population, which has significant implications for the living environment of residents of cities and nearby settlements, and is an important factor in the socio-economic development of society.

In many cities around the world, in recent decades, the organization of urban spaces has been adapted to human needs, taking into account the wishes of the residents themselves. This has happened because the car-oriented modernist urban planning practices have been replaced by human-centered urban planning practices, the main priorities of which are to provide conditions for comfortable movement of people, not cars.

Ensuring sustainable mobility implies that pedestrians should be in the first place in the hierarchical structure of urban space use, followed by cyclists, public transport, and private cars. In this regard, only the application of an integrated approach creates the prerequisites for planning cities and their individual territories from the perspective of different participants in urban life, stimulating sustainable development of settlements.

**Keywords:** passenger transportation, congestion, transport network, route, comfort level, public transport, passenger flow, sustainable development.

*ШЕВЧУК Оксана Степанівна*, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: [oksana\\_shevchuk84@ukr.net](mailto:oksana_shevchuk84@ukr.net) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8283-4620>

*ЗАХАРЧУК Олена Павлівна*, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: [olenaskyba8500@gmail.com](mailto:olenaskyba8500@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4359-5644>

*ФАЛОВИЧ Наталія Миколаївна*, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: [n.falovych@gmail.com](mailto:n.falovych@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1651-3022>

*БЕРЕЗЬКА Катерина Миколаївна*, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної математики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: [km.berezka@gmail.com](mailto:km.berezka@gmail.com) ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9632-4004>

*СІРАН Роман Васильович*, аспірант кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: [Siran\\_rv@ukr.net](mailto:Siran_rv@ukr.net)

*Oksana SHEVCHUK*, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Transport and Logistics, Western Ukrainian National University e-mail: [oksana\\_shevchuk84@ukr.net](mailto:oksana_shevchuk84@ukr.net) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8283-4620>

*Olena ZAKHARCHUK*, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Transport and Logistics, Western Ukrainian National University e-mail: [olenaskyba8500@gmail.com](mailto:olenaskyba8500@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4359-5644>

*Nataliia FALOVYCH*, PhD in Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Logistics, Western Ukrainian National University e-mail: [n.falovych@gmail.com](mailto:n.falovych@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5784-0233>

*Kateryna BEREZKA*, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Applied Mathematics, West Ukrainian National University e-mail: [km.berezka@gmail.com](mailto:km.berezka@gmail.com) ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9632-4004>

*Roman SIRAN*, student of the Department of Transport and Logistics, West Ukrainian National University, Ternopil, e-mail: [Siran\\_rv@ukr.net](mailto:Siran_rv@ukr.net)

DOI 10.36910/automash.v1i22.1380

УДК 633.522: 664.7  
UDC 633.522: 664.7

В.О. Шейченко<sup>1</sup>, Д.О. Петраченко<sup>2</sup>, В.В. Шевчук<sup>3</sup>, Д.В. Шейченко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна.

<sup>2</sup>Відокремлений структурний підрозділ Глухівський агротехнічний фаховий коледж Сумського національного аграрного університету. м. Глухів, Україна.

<sup>3</sup>Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна.

## НАСІННЯ КОНОПЕЛЬ: АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОБРУШУВАННЯ

У роботі на підставі аналізу існуючих способів відділення зовнішніх оболонок від ядер насіння різних сільськогосподарських культур встановлено перспективні техніко-технологічні рішення, застосування яких уможливить обрушування насіння промислових конопель з високим рівнем ефективності.

Відмічено, що ефективність обрушування досягається завдяки врахуванню фізико-технологічних властивостей насіння культури. До таких властивостей відносять геометричні розміри, структуру оболонки та ядра, їх міцність, абсолютну та об'ємну маси, фрикційні властивості, вологість, вміст олії тощо. Неврахування будь-якого з параметрів суттєво впливає на кінцевий результат процесу обрушування.

Виявлено, що техніко-технологічні рішення, які б із необхідним рівнем універсальності та ефективності забезпечували обрушування насіння різних культур, на даний час віднайти складно. Натомість компромісні рішення щодо налаштувань існуючих механізмів з урахуванням якості кінцевого продукту не забезпечують необхідний рівень ефективності оброблення. Отриманий результат характеризується або низькою якістю кінцевого продукту, або значними втратами сировини.

Встановлено, що кожний конкретний вид сільськогосподарської культури потребує використання такого способу обрушування, яким враховано фізико-технологічні властивості оброблюваного насіння. За умов розроблення обладнання для обрушування насіння конопель доцільно врахувати конструкційні особливості, переваги та недоліки існуючих технічних рішень обрушувачів насіння.

Найбільш перспективним для обрушування насіння промислових конопель є спосіб одноразового удару, який реалізовано у відцентрових механізмах. Орієнтований удар насіння об деку уможливить збереження м'яких конопляних ядер.

**Ключові слова:** насіння конопель, обрушення, способи обрушення насіння, відцентрові механізми

### ВСТУП

Традиційним продуктом переробки насіння промислових конопель донедавна була конопляна олія. На фоні зростаючого попиту населення на продукти здорового харчування, виникають нові напрямки застосування конопляного насіння в харчовій промисловості. Серед іншого одним з таких напрямів є обрушене насіння (конопляне ядро). Конопляне ядро виступає як самостійний харчовий продукт багатий на корисні елементи та вітаміни, має приємний горіховий смак. Також ядро використовують для приготування різноманітних страв: супів, каші, напоїв, хлібопекарських виробів тощо. Попит на конопляне ядро збільшується [1], сфери використання розширюються, що підвищує його конкурентоспроможність на харчовому ринку та гарантує особливе місце серед продукції.

Операція обрушування призначена для руйнування оболонки з метою її відділення від ядрового продукту. До недавнього часу, обрушування асоціювалося як складова частина технологічного ланцюга отримання рослинних олій. Такі дії було направлено з метою підвищення якісних показників олії і викликано тим, що оболонки містить речовини (воски та ін.), перехід яких в олію небажаний; шрот з високим вмістом лузги має низьку якість; видалення лушпиння сприяє зменшенню зношування обладнання; наявність оболонки в насінні, що піддається пресуванню, зменшує вихід олії.

Проте в останній час акценти змінилися. Обрушування насіння, з точки зору харчового напрямку, ґрунтується, в першу чергу, на підвищенні поживної цінності продукту. Завдяки звільненню насінневих ядер від лушпиння, всі поживні речовини, якими багате насіння, легко засвоюються організмом.

Обрушене насіння конопель є відносно новим напрямом перероблення, який потребує вивчення. На сьогодні існує певний інформаційний вакуум щодо результатів досліджень технологічних прийомів та обладнання для обрушування конопляного насіння. Тому обґрунтування найбільш раціональних способів обрушування насіння промислових конопель є актуальним науковим завданням.

### АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Процес відділення ядра (зернівки) від його зовнішнього захисного шару (лушпиння, оболонки) називають обрушуванням. Відповідно, обрушене насіння являє собою звільнене від неїстівної твердої оболонки ядро. Процес обрушування насіння виконують або як підготовчу операцію для подальшої переробки, або для покращення смакових якостей та кондитерських властивостей готового продукту.

Одержання обрушеного насіння складається з двох послідовних самостійних операцій. Перша операція (обрушування) передбачає механічне відділення оболонки від ядра, в результаті чого отримують рушанку. Друга операція (сепарація) передбачає розділення рушанки на фракції: ядра (готовий продукт), оболонки (відходи), недорушене насіння.

Вибір того чи іншого способу обрушування ґрунтується на біологічних особливостях насіння та його фізико-механічних характеристиках. Адже для насіння та його складових характерна значна різноманітність властивостей не тільки для різних видів, а навіть в межах одного сорту.

В [2] наведено результати з розроблення універсального механізму, придатного обрушувати насіння різних культур. Зокрема для звільнення від зовнішньої оболонки насіння спельти та емеру використовували ряд обрушувачів призначених для інших культур (вівса, рису, ячменю, соняшника, клеверу). Для цього були проведені роботи з модернізації та налаштування механізмів, адже кожне насіння має специфічні особливості обробки, які необхідно регулювати. Проте розроблення універсального обладнання для обрушування виявилось складним завданням, що вимагає значних компромісів, які не завжди відповідають ідеальним параметрам оброблення кожного окремого виду зерна. Відмічається, що навіть при обробці різного насіння спельти доводилося здійснювати переналаштування механізму. Використання обрушувача без внесення конструктивних змін призводило до одержання нестандартного продукту з погіршеними характеристиками. Отримували зруйноване насіння непридатне до подальшого використання. Серед інших недоліків значне зниження продуктивності та збільшення втрат продукції. Аналогічні негативні результати щодо обробки зерна спельти нецільовим обрушувачем згадуються і в [3].

Проведений аналіз дозволив виявити відсутність універсальних механізмів, придатних для обробки насіння з різними фізико-механічними властивостями. Обрушування кожного окремого виду насіння вимагає спеціальних підходів і технічних рішень. Особливо це актуально для обрушування насіння промислових конопель, якому притаманна складна геометрична форма та відмінні властивості компонентів.

**ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.** На підставі аналізу існуючих способів відділення зовнішньої оболонки від ядер насінин визначити найбільш раціональний спосіб обрушування насіння промислових конопель, що уможливить підвищити ефективність систем їх виробництва.

Задачі досліджень:

–здійснити аналіз існуючих способів обрушування насіння різних сільськогосподарських культур;

– встановити можливість застосування відомих способів для обрушування насіння промислових конопель.

### **РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ**

В залежності від виду та будови насіння відокремлення зовнішньої оболонки від ядер (зернівок) здійснюють різанням, тертям, розчавлюванням, розколюванням або ударом [4]. Вибір конкретного способу відділення оболонки залежить від форми насінин, її механіко-технологічних властивостей, до яких відносять пластичність, міцність, еластичність. На ефективність обрушування також впливає ступінь стиглості насіння, його вологість, технологічні параметри робочого органу [5].

У дослідженнях [6] наведено спосіб обрушування насіння завдяки двох паралельних вальців, які обертаються на зустріч один одному (рис. 1).

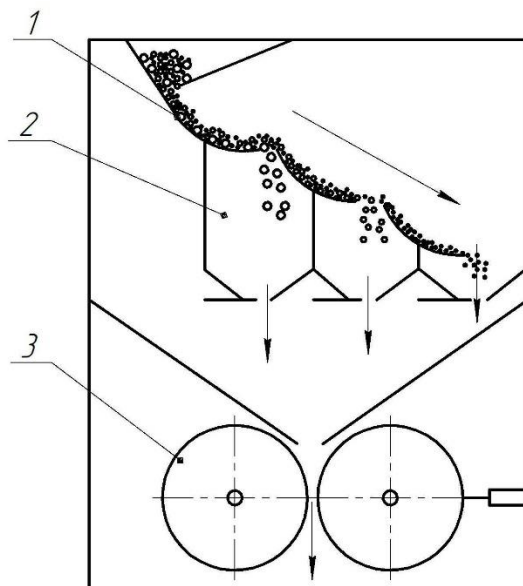


Рисунок 1. Загальна схема механізму для обрешування  
1 – розгінна поверхня; 2 – бункер; 3 – вальці

Процес відділення оболонки від ядер відбувається під час проходження насінини між вальцями. Принцип роботи механізму полягає в рівномірному надходженні насіння на розгінну поверхню, де йому надають необхідне значення швидкості та розділяють на три розмірні фракції. Спочатку відділяють насіння великих розмірів, а потім середніх та дрібних. Завдяки цьому збільшують однорідність кожної фракції. Під кожну фракцію відводять окремий бункер. Таким чином забезпечують по чергове оброблення кожної фракції по мірі заповнення бункерів. Оброблення кожної фракції здійснюють завдяки змінненню робочого проміжку між вальцями без зупинення технологічного процесу.

Відомий спосіб відокремлення зовнішньої оболонки насіння за рахунок використання тиску та тертя [7]. Механізми в яких втілено даний спосіб називають фрикційними. Робочий орган складається з двох дисків, які розташовані один відносно одного з певним проміжком. Робочим органом є металевий диск з канавками. Відокремлення оболонки відбувається внаслідок тертя під час проходження сировини між дисками. Загальний вигляд робочих фрикційних дисків наведено на рис. 2.

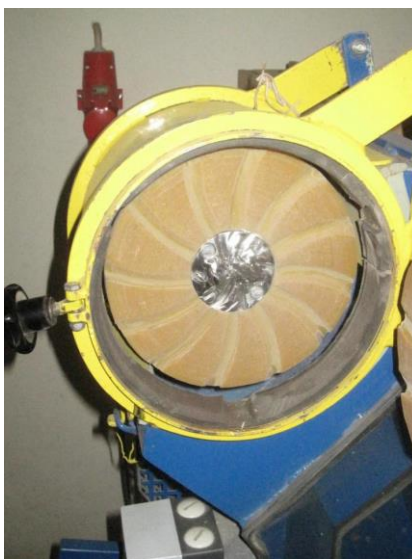


Рисунок 2. Загальний вигляд фрикційних дисків обрешувача

До переваг такої конструкції відносять легке змінненя швидкості робочого органу завдяки регулюванню кутової швидкості обертових валів. Обладнання має значний діапазон регулювання, що уможливує налаштувати його під оброблення насіння різного розміру та типу. Використання різних



матеріалів поверхонь тертя дозволяє одержати продукт з різними характеристиками без змінення основної конструкції системи.

Відомі також механізми в яких для відділення зовнішньої оболонки використовують абразивні робочі органи [7-8]. Абразивні механізми працюють за принципом схожим на фрикційні обрушувачі. Процес відокремлення зовнішньої оболонки у зазначених механізмах відбувається за допомогою тертя. Проте зерниста структура поверхні робочого органу зменшує необхідну для відокремлення оболонки силу тертя.

Відділення зернівок від лущиння відбувається внаслідок дії двох абразивних дисків, які обертаються з певною кутовою швидкістю. Структура абразивних дисків може бути різною в залежності від призначення та характеру оброблюваного зерна. Вони можуть мати відносно грубу або середню зернистість, що дозволяє ефективно видаляти оболонку без значного пошкодження самої зернівки. Диски встановлюють паралельно до підлоги з певним проміжком між собою, який регулюють в заданому діапазоні.

В основу роботи механізму покладено принцип абразивного тертя насінин по дискам. За різних значень питомої ваги зернівок та зовнішніх оболонок, а також центробіжних сил, які надають диски, відбувається розділення траєкторій руху ядер та оболонок.

Спосіб відокремлення зовнішньої оболонки за рахунок розчавлювання описано в роботі [9]. Робочими органами є два ролики, які встановлюють на одній горизонтальній осі за умов обертання на зустріч один одному. Поверхню роликів виконано у вигляді архімедової спіралі (рис. 3). Застосування у конструкції зазначених робочих органів уможливило збільшити зони обробітку сировини та її транспортування до центру механізму.



Рисунок 3. Загальний вигляд роликів

Принцип роботи механізму полягає у тому, що за умов потрапляння стручка між роликами, що обертаються, відбувається розчавлювання стручка та вивільнення насіння.

В роботі [10] наведено спосіб відокремлення зовнішньої оболонки внаслідок різання. Для руйнування оболонки насіння горгони евриале використовують кільцевий різак (рис. 4).

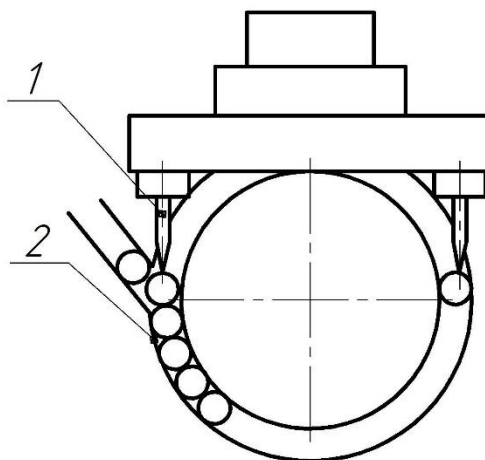


Рисунок 4 Схема робочого органу механізму руйнування оболонки насінин різанням

1 – ніж; 2 – кільцева камера



В якості робочого органу використовують вертикально закріплений ніж, який обертається навколо власної осі. Сам процес відділення оболонок від ядер відбувається в два етапи. Спочатку насіння потрапляє в кільцеву камеру, де тверда оболонка розрізається кільцевим різаком. Далі насіння з порушеною цілісністю оболонки надходить у модуль пристрою для витискання, який безпосередньо відокремлює оболонки та ядра.

Для відділення плодів олійної камелії від оболонки [11] використовують механізми (рис. 5), в основі яких покладено принцип розколювання. Оболонку плодів за таких умов розколюють завдяки обробці останніх між пасом та гнучкою дошкою.

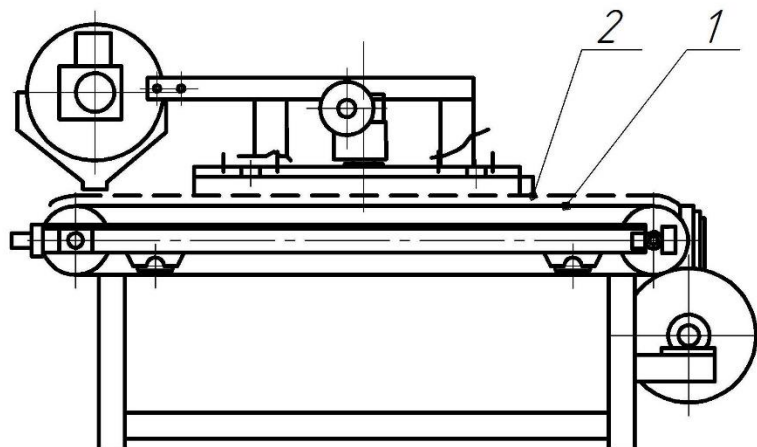


Рисунок 5. Конструкційна схема очищувача плодів олійної камелії за принципом розколювання  
1 – пас; 2 – гнучка дошка

Процес звільнення від оболонки базується на принципі м'якого витискання та тертя під час взаємодії плоду з динамічним транспортуючим пасом та гнучкою дошкою тертя.

Відомі технічні рішення [12-14], що використовують в своїй роботі спосіб удару (неорієнтований багаторазовий та орієнтовний одноразовий). Відповідні способи реалізуються в бічевих (багаторазовий удар) та відцентрових (одноразовий удар) рушках. Варто відмітити, що обрушування насіння способом одноразового удару є більш ефективним, адже менше пошкоджує насіння.

Відомий спосіб [12] обрушування насіння за допомогою бильної машини (рис. 6), в якій відділення оболонки від ядра відбувається внаслідок удару.

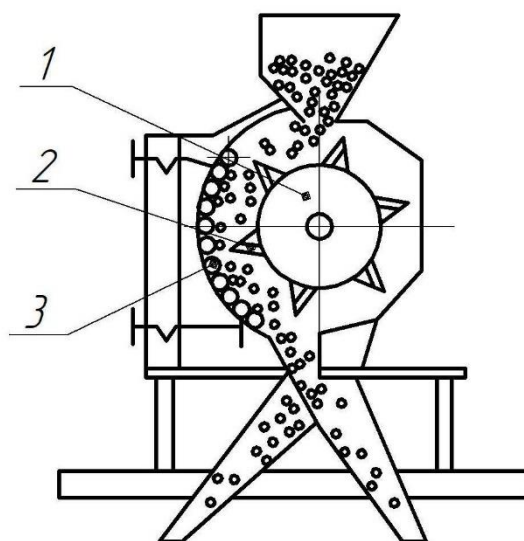


Рисунок 6. Схема бильної машини  
1 – ротор; 2 – пластини; 3 – дека

Робочий орган представляє собою закріплений на валу в центрі робочої камери ротор з пластинами. Вал ротора розташовано паралельно до підлоги. Насіння подають в робочу камеру зверху. Пластини ротора захоплюють насіння та спрямовують його на деку. Дека може змінювати своє положення відносно ротора, що впливає на робочий проміжок. Внаслідок удару насіння об поверхню деки відбувається руйнування оболонок та вивільнення ядер.

В роботі [13] для обрушування плодів фісташок, а в роботі [14] для обрушування насіння соняшнику використовують відцентрові механізми, в яких реалізовано спосіб одноразового удару. Не зважаючи на те, що принципи дії зазначених механізмів і засновано на орієнтовному ударі, проте конструкційне їх виконання різне, як в залежності від типу оброблюваної сировини різняться і режими роботи. Загальну схему відцентрового механізму наведено на рис. 7.

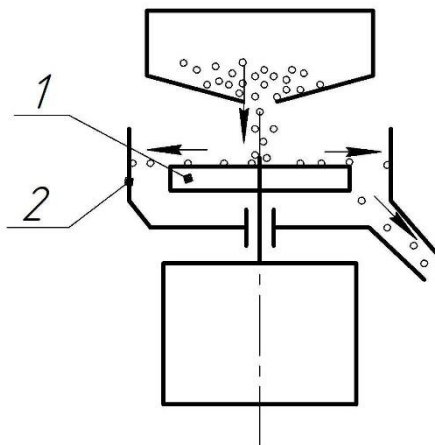


Рисунок 7 Схема відцентрового механізму  
1 – ротор; 2 – дека

Робочим органом відцентрового механізму є розміщений на валу в центрі робочої камери диск (ротор). Проте на відміну від бильної машини у відцентровій вал ротора розміщують перпендикулярно до підлоги. Насіння рівномірно подають зверху на середину ротору. Взаємодіючи з ротором, який обертається, насіння змінює напрямок руху з вертикального на горизонтальний. За таких умов насіння набуває певної радіальної швидкості, вилітає з ротора та зіштовхується з декою. Під час зіткнення з декою відбувається деформація оболонки, наступне її руйнування та вивільнення ядра.

### ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Спосіб обрушування насіння з використанням двох паралельних вальців характеризується складністю конструкції, що ускладнює її обслуговування та налаштування. Якість обрушування є функцією фізико-технологічних характеристик оброблюваного насіння (вологості, геометричних розмірів, рівня травмування тощо). Відмічене потребує додаткових налаштувань в залежності від конкретного типу насіння, що природньо призводить до збільшення як пошкодження насіння, так і тривалості та собівартості перероблення. Саме тому ефективність обрушування насіння конопель з використанням вальців буде низькою.

Для фрикційних механізмів характерне швидке зношування робочих органів. За таких умов регулярне змінювання фрикційних накладок є необхідним чинником їх функціонування. Оскільки поверхні тертя швидко зношуються, постійно контролюють робочий проміжок та його регулювання відповідно до розмірів насіння. За інших умов зменшується ефективність та збільшується кількість сировини, яка зовсім не піддається впливу дисків внаслідок збільшення проміжку. Умовою працездатного стану обладнання є постійний контроль і налаштування необхідних для даного виду сировини значень проміжків. Відмітимо, що значні розбіжності розмірів окремих конопляних насінин та високий вміст олії унеможливають застосовувати фрикційний спосіб для обрушування культури.

Для абразивних механізмів властива неможливість одночасного обробітку насіння без попереднього калібрування. Так як проміжок між дисками сталий, то насіння більшого за проміжок розміру буде розчавлюватися, а меншого – не буде обрушуватися. Окрім попереднього калібрування насіння, такий механізм потребує постійного регулювання проміжку відповідно до розмірів фракцій насіння. Суттєвим недоліком зазначеного способу є руйнування цілісності обрушеного продукту. Це

призводить до пошуку шляхів швидкого його використання. В іншому випадку – високі ризики втрати продукції внаслідок деградації та інфікування пліснявою.

Для насіння конопель обрушування методом абразивного тертя неможливо застосувати внаслідок особливої геометрії насінин, значних розбіжностей розмірів конопляного насіння. Зношування робочих дисків призводить до забруднювання готових ядер абразивними частками. Вміст в насінні конопель олії призводить до замаслювання робочих поверхонь, що унеможливорює руйнування оболонки.

Спосіб відокремлення зовнішньої оболонки за рахунок розчавлювання для насіння конопель має певні обмеження. Відносно велика робоча площа контакту насінин з роликками збільшує час перебування матеріалу в робочій зоні. Як наслідок це призводить до розчавлювання (руйнування) м'яких конопляних ядер, а також до замаслювання робочих органів. Сталий робочий проміжок між роликками унеможливорює обробіток насіння без калібрування. Умовою досягнення високого рівня ефективності обрушування є постійне налаштування робочих параметрів (проміжку), що складно досягти внаслідок особливостей фізико-механічних характеристик конопляного насіння.

Спосіб відокремлення зовнішньої оболонки внаслідок різання для обрушування насіння конопель має певні обмеження. Дійсні розміри конопляного насіння та його форма унеможливають переробки без пошкодження ядра. Також для ядер конопель характерним є м'яка структура та значний вміст олії.

Хоча принцип розколювання дозволяє обробіток плодів камелії різного діаметру, проте він не може бути втілений для обрушування насіння конопель. Суттєвою перешкодою є відмінності фізичних характеристик зазначених насінин. Для оболонки плодів камелії характерна м'якість та високий вміст вологи, а насіння характеризується твердою структурою. Насіння ж конопель навпаки має тверду оболонку та м'яке ядро, якому притаманна висока олійність. Даний метод не забезпечить повноцінного відокремлення твердої оболонки конопель без пошкодження насіння.

До недоліків обрушування ударом відносять неоднорідність оброблення, що викликано різницею розмірів та показників міцності насіння. Відсутність можливостей індивідуального регулювання інтенсивності удару призводить до руйнування не тільки оболонки, а й пошкодження ядер. Не всі частини лущиння ефективно відділяються від ядер, що призводить до потреби додаткового оброблення. Проте даний спосіб є найбільш оптимальним для обрушування насіння промислових конопель. Щоб вивільнити ядро потрібен лише один удар, що мінімізує кількість взаємодій на насіння та знижує час на обробку. Конструкція відцентрових обрушувачів дозволяє змінювати режими роботи без зупинки механізму. Таким чином є можливість регулювання сили удару, що сприяє більш точному та ефективному обрушуванню. Відцентрові обрушувачі мають простішу конструкцію та меншу кількість рухомих частин, що знижує ймовірність зупинок та поломок.

## **ВИСНОВКИ.**

На підставі аналізу існуючих способів обрушування насіння різних сільськогосподарських культур, відмічено:

–ефективність обрушування досягається завдяки врахуванню фізико-технологічних властивостей насіння культури (геометричних розмірів, структури оболонки та ядер, їх міцності, абсолютної та об'ємної маси, фрикційних властивостей, вологості, вмісту олії, тощо). Техніко-технологічні рішення, які б із необхідним рівнем універсальності та ефективності забезпечували обрушування насіння різних культур, на даний час віднайти складно. Компромісні рішення щодо налаштувань існуючих механізмів з урахуванням якості кінцевого продукту не забезпечують необхідний рівень ефективності оброблення;

–кожний конкретний вид насіння потребує такого способу обрушування, яким враховано фізико-технологічні властивості оброблюваного насіння;

–за умов розроблення обладнання для обрушування насіння конопель доцільно врахувати конструкційні особливості, переваги та недоліки існуючих технічних рішень обрушувачів насіння.

Найбільш перспективним для обрушування насіння промислових конопель є спосіб одноразового удару, який реалізовано у відцентрових механізмах. Орієнтований удар насінини об деку уможливить збереження м'яких конопляних ядер.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Presa-Lombardi, J., García, F., Gutierrez-Barrutia, M.B., Cozzano, S. (2023). Hemp seed's (*Cannabis Sativa* L) nutritional potential for the development of snack functional foods. *OCL-Oilseeds and Fats Crops and Lipids*, Volume 30. <https://doi.org/10.1051/ocl/2023025>
2. Lazor, J. (2013). *The organic grain grower: Small-scale, holistic grain production for the home and market producer*. Chelsea Green Publishing, Inc. White River Junction, VT.
3. Wright, G. (2014). Selling grains at the farmers market. Paper presented at the NOFA-NY Winter Conference. Saratoga Springs, NY. January 24, 2014.
4. Lindström, L.I., Franchini, M.C., Nolasco, S.M. (2022). Sunflower fruit hullability and structure as affected by genotype, environment and canopy shading. *Annals of Applied Biology*, 180 (3), 338-347. <https://doi.org/10.1111/aab.12735>
5. Перевалов Л.І., Фадєєв Л.В., Півень О.М., Тимченко В.К., Дьяченко М.В. (2020) Теоретичні та експериментальні дослідження процесу обрушування насіння соняшнику кондитерського сорту. Інтегровані технології та енергозбереження. №2. <https://doi.org/10.20998/2078-5364.2020.2.07>
6. Гвоздєв О.В., Клевцова Т.О., Петриченко С.В., Паляничка Н.О. (2015) Пат. № 102922 UA. Установка для обрушування насіння. МПК (2015.01), В02В 3/00, В07В 1/06 (2006.01) № u 2015 05070; заявл. 25.05.2015; опубл. 25.11.2015, Бюл.№ 22, 4.
7. Brian Baker Dehulling Ancient Grains: Economic Considerations and Equipment. Available at: <https://eorganic.org/node/13028>
8. Manjunath M. Ullegaddi, N.C. Mahandra Babu, Abdul Rahman Faisal, Miraz Mohammad, M.S. Shreenidhi, Syeda Anjum, (2021) Design and development of compact Foxtail millet deshelling machine, *Materials Today: Proceedings*, Volume 42, Part 2, Pages 781-785, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.314>.
9. Hasantabar, S., Seyedi, S., Kalantari, D. (2019). Design, construction and evaluation of a seed pod husker and testing with soybean and mung bean. *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal*, 21, 90-99.
10. Junyan Zhang. (2019) Design of the gordon euryale seed automatic shelling machine. *International Conference on Applied Machine Learning and Data Science*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1423/1/012053>
11. Kang, Di., Wang, Y., Fan, Y., Chen, Z. (2018). Research and development of *Camellia oleifera* fruit sheller and sorting machine. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* <https://doi.org/10.1088/1755-1315/108/4/042051>
12. Калюжний В.В., Срьоміна Н.В., Леванічев А.В. (2013) пат. № 81263 UA. Установка для обрушування насіння та виготовлення паливних пелетів (брикетів). МПК В30В 11/22 (2006.01), В30В 9/02 (2006.01) № u 2012 15165; заявл. 29.12.2012; опубл. 25.06.2013, Бюл.№ 12, 6.
13. Khodabakhshian, R., Bayati, M.R., Shakeri, M. (2011). Performance Evaluation of a Centrifugal Peeling System for Pistachio Nuts. *International journal of food engineering*. Volume7, Issue4. <https://doi.org/10.2202/1556-3758.2135>
14. Гросул Л.Г., Гапонюк О.І., Писцов Б.О., Гросул О.Л., Яцкова Т.Й., Кудашев С.М. (2011) пат. № 94419 UA. Пристрій для обрушування насіння соняшника. МПК В02В 3/08 (2006.01) А01F 12/28 (2006.01) № a200803082; заявл. 11.03.2008; опубл. 10.05.2011, Бюл. № 9, 5.

## REFERENCES

1. Presa-Lombardi, J., García, F., Gutierrez-Barrutia, M.B., Cozzano, S. (2023). Hemp seed's (*Cannabis Sativa* L) nutritional potential for the development of snack functional foods. *OCL-Oilseeds and Fats Crops and Lipids*, Volume 30. <https://doi.org/10.1051/ocl/2023025>
2. Lazor, J. (2013). *The organic grain grower: Small-scale, holistic grain production for the home and market producer*. Chelsea Green Publishing, Inc. White River Junction, VT.
3. Wright, G. (2014). Selling grains at the farmers market. Paper presented at the NOFA-NY Winter Conference. Saratoga Springs, NY. January 24, 2014..
4. Lindström, L.I., Franchini, M.C., Nolasco, S.M. (2022). Sunflower fruit hullability and structure as affected by genotype, environment and canopy shading. *Annals of Applied Biology*, 180 (3), 338-347. <https://doi.org/10.1111/aab.12735>
5. Perevalov L.I., Fadieiev L.V., Piven O.M., Tymchenko V.K., Diachenko M.V. (2020) Teoretychni ta eksperymentalni doslidzhennia protsesu obrushuvannia nasinnia soniashnyku kondyterskoho sortu. *Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia*. №2. <https://doi.org/10.20998/2078-5364.2020.2.07>



6. Hvozdiev O.V., Klevtsova T.O., Petrychenko S.V., Palianychka N.O. (2015) Pat. № 102922 UA. Ustanovka dlia obrushuvannia nasinnia. MPK (2015.01), B02B 3/00, B07B 1/06 (2006.01) № u 2015 05070; zaiavl. 25.05.2015; opubl. 25.11.2015, Biul.№ 22, 4.
7. Brian Baker Dehulling Ancient Grains: Economic Considerations and Equipment. Available at: <https://eorganic.org/node/13028>
8. Manjunath M. Ullegaddi, N.C. Mahandra Babu, Abdul Rahman Faisal, Miraz Mohammad, M.S. Shreenidhi, Syeda Anjum, (2021) Design and development of compact Foxtail millet deshelling machine, Materials Today: Proceedings, Volume 42, Part 2, Pages 781-785, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.314>.
9. Hasantabar, S., Seyedi, S., Kalantari, D. (2019). Design, construction and evaluation of a seed pod husker and testing with soybean and mung bean. Agricultural Engineering International: The CIGR Journal, 21, 90-99.
10. Junyan Zhang. (2019) Design of the gordon euryale seed automatic shelling machine. International Conference on Applied Machine Learning and Data Science. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1423/1/012053>
11. Kang, Di., Wang, Y., Fan, Y., Chen, Z. (2018). Research and development of Camellia oleifera fruit sheller and sorting machine. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science <https://doi.org/10.1088/1755-1315/108/4/042051>
12. Kaliuzhnyi V.V., Yeromina N.V., Levanichev A.V. (2013) pat. № 81263 UA. Ustanovka dlia obrushuvannia nasinnia ta vyhotovlennia palyvnykh peletiv (bryketiv). MPK B30B 11/22 (2006.01), B30B 9/02 (2006.01) № u 2012 15165; zaiavl. 29.12.2012; opubl. 25.06.2013, Biul.№ 12, 6.
13. Khodabakhshian, R., Bayati, M.R., Shakeri, M. (2011). Performance Evaluation of a Centrifugal Peeling System for Pistachio Nuts. International journal of food engineering. Volume7, Issue4. <https://doi.org/10.2202/1556-3758.2135>
14. Hrosul L.H., Haponiuk O.I., Pystsov B.O., Hrosul O.L., Yatskova T.I., Kudashev S.M. (2011) pat. № 94419 UA. Prystrii dlia obrushuvannia nasinnia soniashnyka. MPK B02B 3/08 (2006.01) A01F 12/28 (2006.01) № a200803082; zaiavl. 11.03.2008; opubl. 10.05.2011, Biul. № 9, 5.

#### **V. Sheichenko, D. Petrachenko, V. Shevchuk, D. Sheichenko. Hemp seeds: analysis of cropping methods**

In the study, based on the analysis of existing methods for separating outer shells from the cores of seeds of various agricultural crops, promising technical and technological solutions have been identified. The application of these solutions will enable the efficient threshing of industrial hemp seeds.

It has been noted that the efficiency of shelling is achieved by considering the physical and technological properties of the seeds of the crop. Such properties include geometric dimensions, the structure of the shell and core, their strength, absolute and volumetric mass, frictional properties, moisture, oil content, etc. Ignoring any of these parameters significantly affects the final result of the shelling process.

It has been found that technical and technological solutions, which would provide shelling of seeds of different crops with the necessary level of universality and efficiency, are currently difficult to find. Instead, compromise solutions regarding the settings of existing mechanisms, taking into account the quality of the final product, do not provide the necessary level of processing efficiency. The obtained result is characterized by either low quality of the final product or significant losses of raw materials.

It has been established that each specific type of agricultural crop requires the use of a shelling method that takes into account the physical and technological properties of the seeds being processed. When developing equipment for hemp seeds shelling, it is advisable to consider the design features, advantages, and disadvantages of existing technical solutions for seed shelling machine.

The most promising method for shelling of industrial hemp seeds is the single impact method, which is implemented in centrifugal mechanisms. Targeted impact of the seed against a hard surface will enable the preservation of soft hemp cores.

**Key words:** hemp seeds, shelling, methods of seed shelling, centrifugal mechanisms.

*ШЕЙЧЕНКО Віктор Олександрович*, доктор технічних наук, професор, кафедра агроінженерії та автомобільного транспорту, Полтавський державний аграрний університет E-mail: [vsheychenko@ukr.net](mailto:vsheychenko@ukr.net) <http://orcid.org/0000-0003-2751-6181>

*ПЕТРАЧЕНКО Дмитро Олександрович*, кандидат технічних наук, відділення агроінженерії, Відокремлений структурний підрозділ Глухівський агротехнічний фаховий коледж Сумського



національного аграрного університету E-mail: [dpetrachenko@i.ua](mailto:dpetrachenko@i.ua) <https://orcid.org/0000-0002-1347-9562>

*ШЕВЧУК Віталій Вікторович*, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри агроінженерії, Уманський національний університет садівництва, E-mail: [Shevchuk1611@ukr.net](mailto:Shevchuk1611@ukr.net) <http://orcid.org/0000-0001-8305-4714>

*ШЕЙЧЕНКО Денис Вікторович*, здобувач вищої освіти доктор філософії, кафедра механічної та електричної інженерії, Полтавський державний аграрний університет E-mail: [denys.sheichenko@pdau.edu.ua](mailto:denys.sheichenko@pdau.edu.ua) <https://orcid.org/0009-0002-0427-479X>

*Viktor SHEICHENKO*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Agricultural Engineering and Road Transport, Poltava State Agrarian University E-mail: [vsheychenko@ukr.net](mailto:vsheychenko@ukr.net) <http://orcid.org/0000-0003-2751-6181>

*Dmytro PETRACHENKO*, PhD, Department of Agroengineering, Separate Structural Unit of the Hlukhiv Agrotechnical Vocational College of Sumy National Agrarian University E-mail: [dpetrachenko@i.ua](mailto:dpetrachenko@i.ua) <https://orcid.org/0000-0002-1347-9562>

*Vitaliy SHEVCHUK*, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Agricultural Engineering, Uman National University of Horticulture, E-mail: [Shevchuk1611@ukr.net](mailto:Shevchuk1611@ukr.net) <http://orcid.org/0000-0001-8305-4714>

*Denys SHEICHENKO*, Applicant, Department of agricultural engineering, Poltava State Agrarian University E-mail: [denys.sheichenko@pdau.edu.ua](mailto:denys.sheichenko@pdau.edu.ua) <https://orcid.org/0009-0002-0427-479X>

DOI 10.36910/automash.v1i22.1381



## ПЕРЕЛІК РЕЦЕНЗЕТІВ

**Бартоломейчик Миколай**, доктор інженерії, Політехніка Гданська (Польща).

**Грабовець Віталій Валерійович**, к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій ЛНТУ.

**Дембіцький Валерій Миколайович**, к.т.н., доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій ЛНТУ.

**Дударєв Ігор Миколайович**, д.т.н., професор, професор кафедри технологій і обладнання переробних виробництв ЛНТУ.

**Захарчук Віктор Іванович**, д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів і транспортних технологій ЛНТУ.

**Кравченко Олександр Петрович**, доктор технічних наук, професор, Університе Жиліни, Словаччина

**Матейчик Василь Петрович**, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет

**Мурований Ігор Сергійович**, к.т.н., доцент, декан факультету транспорту та механічної інженерії ЛНТУ.

**Налобіна Олена Олександрівна**, доктор технічних наук, професор кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських робіт і обладнання, Національний університет водного господарства та природокористування.

**Пустюльга Сергій Іванович**, д.т.н., професор, професор кафедри архітектури та дизайну ЛНТУ.

**Самостян Віктор Русланович**, к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій ЛНТУ.

**Самчук Володимир Петрович**, к.т.н., доцент, доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії ЛНТУ.

**Сахно Володимир Прохорович**, доктор технічних наук, професор кафедри «Автомобілі», Національний транспортний університет, Київ, Україна.

**Сітовський Олег Пилипович**, к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій ЛНТУ.

**Стельмашук Валерій Віталійович**, к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій ЛНТУ

**Таран Ігор Олександрович**, доктор технічних наук, професор, Ржешівська Політехніка, Польща

**Толстушко Микола Миколайович**, к.т.н., доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування ЛНТУ.

**Цизь Ігор Євгенович**, к.т.н., доцент, доцент кафедри аграрної інженерії ім. проф. Г.А. Хайліса ЛНТУ.

**Шимчук Сергій Петрович**, к.т.н., доцент, доцент

## LIST REVIEWERS

**Nikolai Bartolomeychyk**, Doctor of Engineering, Gdansk Polytechnic (Poland).

**Vitaliy Grabovets** - Ph.D., Associate Professor, Department of Automobiles and Transport Technologies of LNTU.

**Valery Dembitsky**, Ph.D., Associate Professor, Department of Automobiles and Transport Technologies of LNTU.

**Igor Dudarev**, Doctor of Science (Engineering), Professor, Professor of the Department of Technology and Equipment for Manufacturing of LNTU.

**Viktor Zakharchuk**, Doctor of Science (Engineering), Professor, Professor of Automobile and Transport Technologies Department of LNTU.

**Alexander Kravchenko**, Dr. Sc. Tech., prof., professor Department of Transport and Handling Machines, University of Zilina, Zilina, Slovak Republic

**Vasyl Mateichyk**, Doctor of Science (Engineering), professor, National Transport University

**Igor Murovaniy**, PhD. in Engineering, Assoc. Professor, Dean of the Faculty of Transport and Mechanical Engineering of Lutsk NTU.

**Olena Nalobina**, Doctor of Science (Engineering), Professor of the Department of Construction, Road, Reclamation, Agricultural Works and Equipment, National University of Water Management and Nature Management.

**Sergiy Pustulga**, Doctor of Science (Engineering), Professor of Architecture and Design department LNTU.

**Victor Samostyan**, Ph.D., Associate Professor Assoc., Professor of Automobile and Transport Technologies Department of LNTU

**Volodymyr Samchuk**, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor, Department of Civil Engineering and Civil Engineering LNTU.

**Volodymyr Sakhno**, Doctor of Science in Engineering, Professor of Automobiles Department, National Transport University, Kiev, Ukraine.

**Oleg Sitovsky**, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor, Department of Automobiles and Transport Technologies of LNTU.

**Valery Stelmashchuk**, Ph.D in Engeneering, Associate Professor of Automobiles and Transport Technologies department, Lutsk National Technical University

**Igor Taran**, Doctor of Science in Engineering, Professor, Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Lukasiewicza, Poland.

**Mykola Tolstushko**, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industry Engineering of LNTU.

**Igor Tsizh**, Ph.D., Associate Professor, Assoc. Professor of the Department Agricultural Engineering of LNTU.

**Sergiy Shymchuk**, Ph.D, Associate Professor, Associate

кафедри галузевого машинобудування ЛНТУ.

**Ярошевич Микола Павлович**, д.т.н., професор,  
професор кафедри галузевого машинобудування  
ЛНТУ.

Professor of the Department of Industry Engineering of  
LNTU.

**Mykola Yaroshevych**, Doctor of Science in Engineering,  
Professor, Department of Sector Engineering of LNTU.

Ціна договірна

Колектив авторів

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ ТА ТРАНСПОРТІ**

**ADVANCES IN MECHANICAL ENGINEERING AND TRANSPORT**

*НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ SCIENTIFIC JOURNAL*

**Випуск 1 (22), 2024 Volume 1 (22), 2024**

Видається двічі на рік Publication Frequency: 2 issues per year

Комп'ютерний набір та верстка: В. Самостян

**Матеріали друкуються в авторській редакції. За стилістику і орфографію статей відповідальність несуть автори.**

Адреса редакції:  
вул. Львівська, 75, ауд. 148, Луцьк,  
Волинська обл., Україна, 43018.  
тел. (0332) 74-61-31.  
e-mail: tehavtomash@gmail.com

Підписано до друку 23.05.2024 р.  
Формат 60x84/8. Гарнітура Times. Папір офсетний.  
Ум. друк. арк. 27,6. Обл. вид. арк. 19,71. Тираж 100 прим.

Інформаційно-видавничий відділ  
Луцького національного технічного університету  
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75.  
Свідоцтво Держкомтелерадіо України ДК № 4123 від 28.07.2011 р.

Друк - Вежа-Друк. Зам. № 132.  
(м. Луцьк, вул. Шопена, 12, тел. (0332) 29-90-65).  
Свідоцтво Держ. комітету телебачення та радіомовлення України  
ДК № 4607 від 30.08.2013 р.