

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

MINISTRY OF EDUCATION
AND SCIENCE OF UKRAINE

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

LUTSK NATIONAL
TECHNICAL UNIVERSITY

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ
В МАШИНОБУДУВАННІ
ТА ТРАНСПОРТІ**

**ADVANCES
IN
MECHANICAL ENGINEERING
AND TRANSPORT**

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC JOURNAL

ISSN 2313-5425

№1 (16)

2021

ЛУЦЬК LUTSK

Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: Луцький НТУ, 2021.– №1(16).– 178 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.**

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, Державний університет «Житомирська політехніка»; **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 Жилінського університету, (Словаччина), **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, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», **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 №10 від 27.05.2021р.)

ЗМІСТ		CONTENT	
Бундза О. З., Герасимчук О. П., Мартинюк В. П. Обґрунтування вагомого показника вибору тракторних причепів.....	5	O. Bundza, O Herasymchuk, V Martyniuk Substantiation of a significant indicator of the choice of tractor-trailers	5
Лабецкас Г., Славинскас С., Мицкявичюс Т. Численне дослідження впливу утечки управляючого клапана на роботу CR форсунки	11	Labeckas G., Slavinskas S., Mickevičius T. Numerical study on the effects of control valve leakage on CR injector performance.....	11
Налобіна О.О., Голотюк М.В., Пуць В.С. Теоретичні передумови систематизації типорозмірів міні-тракторів.....	18	O. Nalobina, M. Holotiuk, V. Puts Theoretical prerequisites for systematization of standard sizes of mini tractors.....	18
Придальний Б.І., Гезун П.М. Мехатронна система керування виконавчими механізмами металообробних машин.....	23	Prydalnyi B., Hezun P. Mechatronic control system of executive mechanisms of metalworking machines.....	23
Шраменко Н., Шраменко В., Соларьов О. Аналіз ринку вантажних перевезень в Україні.....	30	Shramenko N., Shramenko V., Solarov O. Analysis of the freight transportation market of Ukraine.....	30
Гандзюк М.О., Гандзюк Д.М. Вплив експлуатаційних факторів та конструктивних параметрів малотонажних автомобільних поїздів на міцність і надійність рам одновісних причепів.....	36	M. Handziuk, D. Handziuk The influence of operational factors and constructive parameters of low-weight trains on the strength and reliability of the frames uniaxial trailers.....	36
Гладченко В.С., Оверченко Ю.М. Методика складання математичної моделі та результати розрахунку показників руху переобладнаного електричного КТЗ категорії М1 в їздовому циклі.....	46	Hladchenko V., Overchenko U. Method of compilation of the mathematical model and results of calculation of movement indicators of the re-equipped electromobile of category M1 in road test procedure	46
Дзядикевич Ю.В., Захарчук О.П., Прогній П.Б., Маяк М.М., Попович П.В., Шашкевич О.Л., Коваль Ю.Б. Пошукове конструювання колісних транспортних засобів	54	Y. Dziadykevych, O. Zakharchuk, P. Prohniï, M. Maiak, O. Shashkevych, Y. Koval. Search design of vehicles in agro-industrial complex..	54
Кишун В. А. Аварійність на дорогах України: очікування, що несправдилися.....	66	V.Kyshchun The accident rate on Ukrainian roads: expectations that did not come true	66
Кочина А.А. Оцінка впливу населених пунктів на інтенсивність руху транспортних потоків на автомобільних дорогах загального користування.....	74	A. Kochina Assessment of the influence of settlements on the intensity of traffic flows on public roads of public use.....	74
Кристочук М.Є., Хітров І.О., Цьонь О.П., Почужевський О.Д. Дослідження координованого управління транспортними потоками в центральній частині міста.....	82	M. Krystopchuk, I. Khitrov, O. Tson, O. Pochuzhevskiy. Research of coordinated management of transport flows in the central part of the city.....	82
Криштопа С. І., Криштопа Л. І., Микитій І. М., Гнип М. М., Козак Ф. В. Покращення екологічних параметрів дизельних двигунів при їхньому переведення на продукти конверсії метанолу	91	S. Kryshstopa, L. Kryshstopa, I. Mykytii, M. Hnyr, F. Kozak. Improving the environmental parameters of diesel engines when they are transferred to methanol conversion products	91

Любий Є.В., Белецька О.М. Експериментальні дослідження затримок транспортних засобів при виїзді з прилеглих територій	106	Ye. Liubyi, O. Bieletska Experimental research of traffic delays at the adjacent territory exit	106
Прогній П.Б., Попович Д.П., Захарчук О.П., Шевчук О.С., Попович П.В., Матвєєва І.В., Островерхов В.М., Коцур А.С. безпека перевезень пасажирів у громадському транспорті в умовах пандемії.....	117	P. Prohniï, D. Popovych, O. Zakharchuk, O. Shevchuk, P. Popovych, I. Matvyeyeva, V. Ostroverkhov, A. Kotsur. Safety of passenger transportation in public transport inn a pandemic condition	117
Птиця Н.В., Ковцур К.Г. До питання визначення характеру розташування вантажоодержувачів при дослідженні системи доставки.....	131	Ptytsia N.V., Kovtsur E.G. On the question of determining the nature of the location of consignees in the study of the delivery system	131
Пустюльга С.І., Самчук В.П., Придюк В.М., Самостян В.Р. дискретне (пиксельне) представлення транспортної мережі міста для топологічної ідентифікації та фрактального аналізу її геометричних складових.....	137	S. Pustiulha, V. Samchuk, V. Prydiuk, V. Samostian Discrete (pixel) presentation of a transport network of city for topological authentication and fractal analysis her geometrical constituents	137
Сахно В.П., Тімков О.М., Яценко Д.М., Босенко В.М. Розробка масштабної фізичної моделі автопоїзда для експериментальних досліджень.....	150	Sakhno V., Timkov O., Yashchenko D., Bosenko V. Design of a scale physical model of a road train for experimental research	150
Сахно В.П., Шарай С.М., Мурований І.С., Поляков В.М. Дослідження факторів впливу на загальні витрати виконання оборотного рейсу у міжнародному сполученні з використанням математичної теорії експерименту	159	V. Sakhno, S. Sharai, I. Murovaniy, V. Polyakov. Investigations of factors influence on the total costs of the implementation of turnaround flight in international transportation with using mathematical theory of experiment.....	159
Хаврук В.О. Вплив техніко-експлуатаційних властивостей вантажних автомобілів на показники ефективності експлуатації.....	168	V. Khavruk Influence of technical and operating properties of trucks on exploitation efficiency indicators.....	168
Перелік рецензетів	177	List reviewers	177

Oleh Bundza¹, Olexandr Herasymchuk², Viktor Martyniuk²

¹ *National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine*

² *Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine*

SUBSTANTIATION OF A SIGNIFICANT INDICATOR OF THE CHOICE OF TRACTOR-TRAILERS

The volume of transportation organized in agricultural enterprises is constantly growing. At the same time, it is recommended to use tractor transport for transportation carried out on the field and dirt roads. To ensure efficient operation of the tractor unit, which is an energy tool, hitch, and trailer, it is necessary to meet several conditions: 1) rational choice of the range of trailers, taking into account the conditions of their operation; 2) ensuring optimal performance of technical and operational properties of tractor units. As a result of the analysis of the correlation between the technical and operational indicators of trailers and energy indicators of tractors, it was found that the selection of trailers should be carried out using the load capacity of the trailer as an indicator. It is established that the use of this indicator will allow forming a trailer composition taking into account the influence of such indicators as tangential traction force, specific fuel consumption. This, in turn, will allow in the process of substantiating the composition of the transport unit to assess the economic efficiency of its operation.

Key words: tractor, trailer, load capacity, weight, energy saturation

INTRODUCTION

An important component of the infrastructure of the agro-industrial complex, a fleet of tractors, designed most often for transportation within a particular farm. Demand for this type of transport can be explained by its high passability. According to the data of the scientific-analytical review [1], the volumes of transportation carried out by tractor transport makeup 22...27% of the total volume of transportation in agriculture.

One of the indicators that assess the quality of transportation is productivity, to increase which uses a variety of trailers. Given the fact that farms are constantly in need of transportation of goods with different physical and mechanical properties, the range of trailers on the balance of the farm should be wide. In addition, trailers must be equipped with additional means to facilitate loading and unloading, which will ensure the preservation of goods that are easily damaged.

Taking into account the condition of agricultural roads, trailers must meet the requirements for passability, stability, maneuverability.

It should also be noted that the parameters of the trailer and tractor must be agreed upon by justifying the design of the coupling equipment. The problem of determining the rational composition of a tractor train is the optimal combination of technical, operational, and design parameters of the power tool - tractor and trailer. This is a complex and time-consuming task, the solution of which requires, first, a systematic analysis of external factors that affect the operation of tractors with trailers; secondly, the analysis of conditions of operation of trailers, development of the system of indicators of technical and operational properties of trailers. With this in mind, the development of conceptual provisions of the methodology for identifying the optimal set of models of trailers with characteristics consistent with the parameters of the energy tool available in the economy is an urgent scientific and applied problem that needs to be addressed.

ANALYSIS OF LITERATURE SOURCES AND PROBLEM STATEMENT

Studies aimed at substantiating the feasibility of using a particular design of a tractor-trailer are given in the works of M.P. Kholodov [2], N.V. Byshov [3], N.V. Anikin [4]; V.V. Bychkov [5], and others.

M.P. Kholodov [2] developed a method for assessing the stability of a tractor with a wheeled engine with a trailer. The author also analyzes the patterns of distribution of braking forces between the axles of a tractor train.

In [3] the authors noted the important role of transport in agricultural production, in particular, tractors; the results of the analysis of constructive and technical features of a number of modern models of trailers of agricultural purpose are stated. The authors concluded that the need for automation of loading and unloading operations.

In [4, 5] the importance of trailers in agriculture is also revealed. The authors emphasize the prospects for the development and use of heavy-duty trailers (15-30 tons), as well as the feasibility of increasing the transport speed to 40 km / h.

The work of A.I. Bondarenko [6], M.A. Podrygalo [7], N.B. Havron [8], and other scientists is devoted to the issue of the operation of tractor transport and trailers.

The work [6, 7] is devoted to the study of the process of self-braking of wheeled tractors with stepless hydraulic transmission. The dynamics of wheeled machines was also described by A.V. Chernikov [9], who modeled the process of braking a wheeled tractor while maintaining their stability. Continuation and deepening of these studies were obtained in the work of M.P. Kholodov [10]. The author substantiates the method of determining the coefficients of distribution of braking forces between the axles of a tractor train, evaluates the braking efficiency and course stability of a tractor with two trailers.

The work of V.A. Kim [11], Yu. N. Stroganov [12, 13], and others is devoted to the study of ways to improve the operational characteristics of tractor trains. It is noted in the works that the main directions of improving the traction and coupling properties of tractor trains are the modernization of coupling equipment in order to increase the loading area of the trailer platform. Due to the modernization of the coupling equipment, it is also proposed to solve the problem of motion stabilization and oscillation reduction [14-16].

As you can see, many theoretical and experimental studies are devoted to the operation of tractor trains and, in particular, the design features of trailers. The analysis of current research revealed that there is no method of constructing a system for estimating the parameters of the structures of trailers in the composition of tractor trains, which allows you to evaluate the design at different stages of the design of trailers. In this regard, it is necessary:

- first, to substantiate the list of indicators that will allow us to assess the technical and technological level of the tractor train;

- second, to identify the relationship between technical, technological, and operational parameters of the tractor and design and technical characteristics of trailers.

THE AIM OF THE STUDY

The purpose of the research, the results of which are presented in this paper, is to establish the relationship between technical and operational, design parameters of energy vehicles and trailers, based on statistical data.

RESULTS OF THE STUDY

A tractor train is a complex technical system, the design of which, as we noted above, should be based on the interaction of individual parameters. In addition, during the design, it is necessary to take into account the established quantitative effects of system elements and the external environment with which they interact.

Assume that the design process can be greatly simplified by using the results of statistical analysis, which will provide equations that reveal the relationship of design (operational or technological) parameters of the machine with the parameter that should be considered important. Let's accept (conceptually), as a weighty parameter - own weight of the trailer. The curb weight depends on the design parameters of the trailer and varies depending on their change.

In order to ensure wide coverage of the parameters of the tractor train in the process of its design, we will use the results of processing statistical information on the model of trailers.

In order to establish the relationship of a significant parameter with other operational and technological parameters of the components of the tractor train, the regression equation was obtained, the reliability of which was performed by the randomization coefficient, and the correlation coefficients were calculated.

The relationship between the parameters was studied on the basis of the collected statistical database, which contains technical characteristics for 70 models of trailers made in Ukraine, Poland, China, Russia.

Correlation distribution and mathematical models that describe the interaction of power output from the weight of the trailer, the load capacity of the trailer, the load volume (Fig. 1, 2, 3).

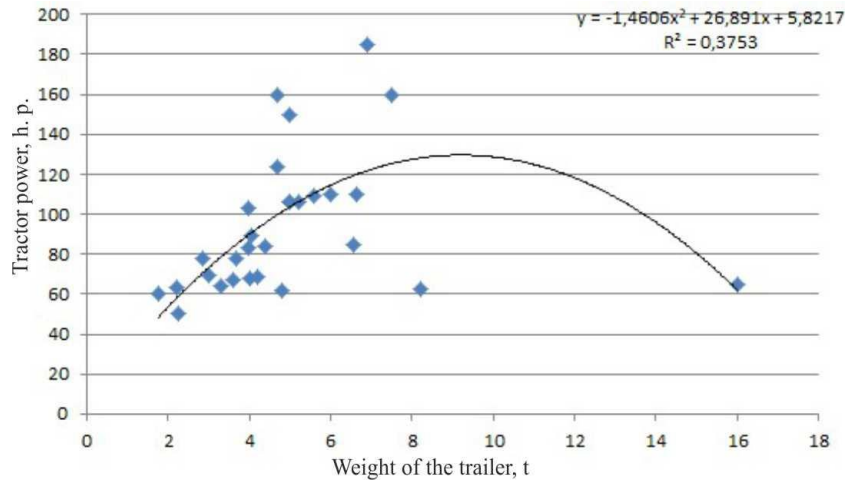


Fig. 1. Dependence of tractor power N , h. p. from the weight of the trailer m_p , t

$$N = -1,4606m_p^2 + 26,891m_p + 5,8217. \quad (1)$$

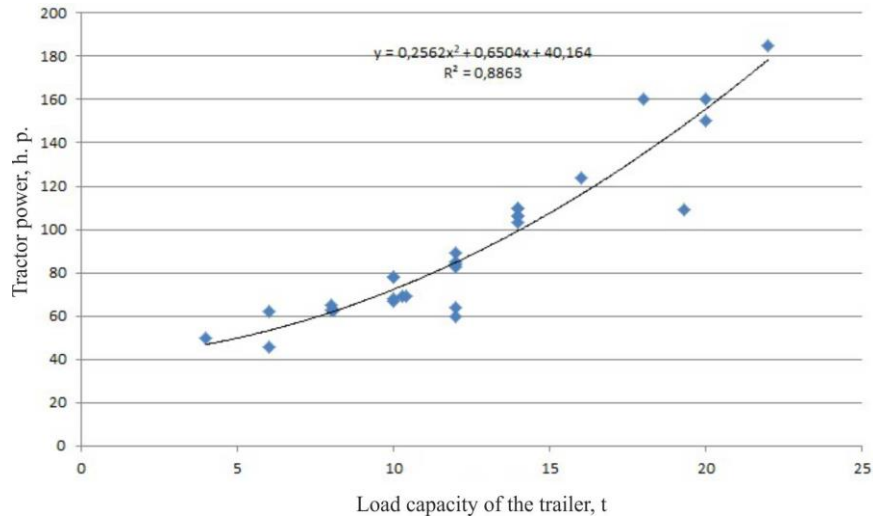


Fig. 2. Dependence of tractor power on the load capacity of the trailer, Q , t

$$N = 0,256Q^2 + 0,65Q + 40,2 \quad (2)$$

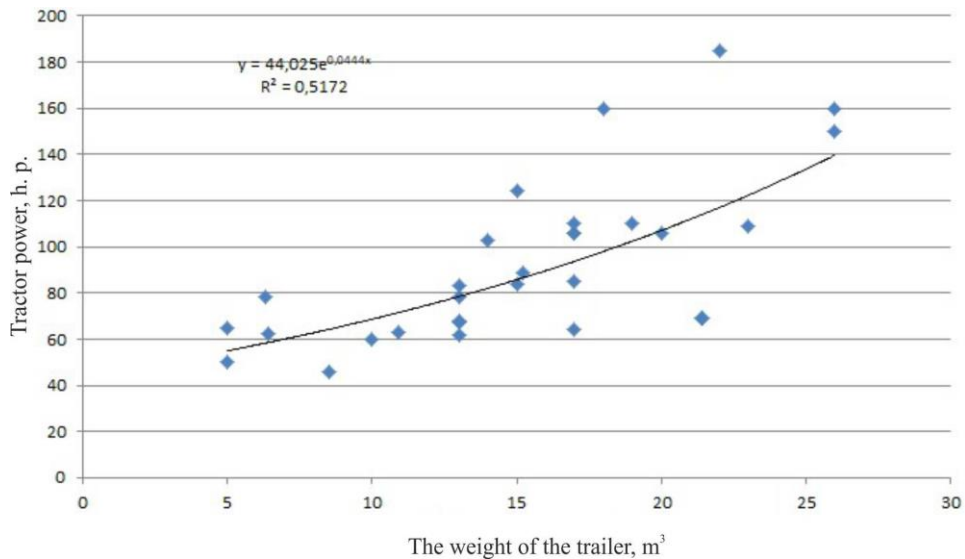


Fig. 3. Dependence of tractor power N , h. p. from the weight of the trailer m_p , m^3

$$N = 44,025e^{0,04V} . \quad (3)$$

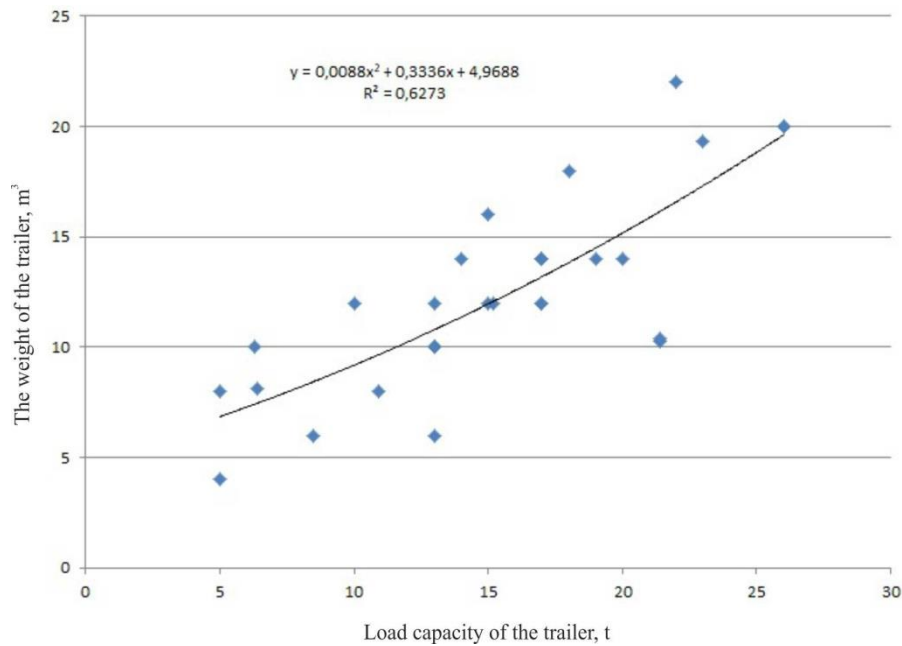


Fig. 4. Dependence of tractor power N , h. p. from the weight of the trailer m_p , t

As you can see, the amount of tractor power is most strongly correlated with the load capacity of the trailer Q , t ($\partial = 0,93$), the smallest connection is traced between the weight of the trailer and the power of the power vehicle (tractor). Based on this, we can conclude that the choice of the trailer should be made not only taking into account the characteristics of the tractor fleet but to a greater extent take into account the following factors:

- list of works;
- physical and mechanical properties of goods;
- dimensions of goods;
- weight of goods and the trailer itself.

The correctness of this conclusion proves that between the indicators - the volume of loading and power of the tractor there is a high relationship ($\partial = 0,7$), (fig.3). The relationship between the load capacity of the trailer and the load volume is described by the equation:

$$V = 0,01Q^2 + 0,334Q + 4,97 . \quad (4)$$

Given the above, we believe that the load capacity parameter can be taken as important in the selection of trailers for the formation of transport units. It should also be noted that the load capacity rate affects the efficiency of the transport tractor unit. This proves the dependence (5) [12]:

$$F = \frac{\left(0,4 + 0,6 \frac{f(C_{yg}(q_n) + q_n)}{P_{kp}^H} \right) gU_t}{W_r} . \quad (5)$$

where f – the coefficient of resistance to rolling of the trailer, m;

$C_{yg}(q_n)$ – the specific metal content of the trailer;

(q_n) – rated capacity of the trailer;

g – hourly fuel consumption;

U_t – complex price of fuel;

P_{kp}^H – tractor traction force;

W_r – hourly productivity.

From the above dependence (5) the value of the specific consumption of fuels and lubricants will be determined:

$$q_H = \frac{F \cdot W_r \cdot P}{0,6gI_t} - 0,4 - fC(q_n) \quad (6)$$

From the above dependence (5) the value of the specific consumption of fuels and lubricants will be determined:

We see that the specific consumption of fuel and lubricants of the tractor-trailer unit depends on the load capacity of the latter and the hourly productivity W_r , which, in turn, can be determined:

$$W_r = \frac{q_n \beta}{T} \quad (7)$$

where β – static capacity utilization factor;

T – total time.

We see that the load capacity is affected by traction and coupling properties (P_{kp}^H) of the tractor.

DISCUSSION OF RESULTS

Summarizing the above, the main indicators of technical and operational properties of agricultural trailers, which are recommended for use during the formation of the tractor-transport unit are load capacity. This indicator makes it possible at the stage of design work aimed at the formation of transport tractor units.

CONCLUSION

Based on the analysis of the correlation between the parameters of agricultural trailers and tractors, the authors proposed to select a trailer for an existing tractor on the farm, using the load capacity, which has a close correlation with the tractor power.

Works it is necessary to develop in addition recommendations concerning the aggregation of trailers by tractors of various traction classes that will provide rational formation and operation of the unit taking into account traction and coupling properties. This is the task of further research.

REFERENCES

1. Antyshev, N.M., (2002). Concept for the development of technical means for transport and loading operations in agriculture for the period up to 2010. *All-Russian Research Institute of Agricultural Mechanization*, 5, 44 p.
2. Kholodov, M.P., (2015). *Improving methods for calculating the braking dynamics of wheeled tractors and tractor trains*, PhD dissertation, Kharkiv, 24 p.
3. Byshov, N.V., (2013). Basic requirements for the technical level of tractors, vehicles and trailers for the long term. *reports of the International Scientific and Practical Conference, Minsk*, 200-202.
4. Anikin, N.V. (2010) Features of the use of tractor transport in technological processes for the cultivation of agricultural crops. *Materials of the III International Scientific and Practical Conference "Science - Technology - Resource Saving", dedicated to the 100th anniversary of the birth of Professor A.M. Gurevich: Collection of scientific papers, Kirov, vol.11*, 45 – 49.
5. Bychkov, V.V., (2009) Resource-saving technologies and technical means for the mechanization of gardening. *Gardening and viticulture*, 38-42.
6. Bondarenko, A.I. (2010). Investigation of the feasibility of equipping modern wheel tractors with ABS. *Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute": Coll. Science. wash. Thematic issue: Transport engineering, vol. 39*, 18 – 22.
7. Podrigalo, M.A. (2007). Determination of vehicle stability against skidding when driving in traction mode. *Visnik NTU "KhPI", "Car and tractor construction", Kharkiv*, 127-136.
8. Gavron, N.B. (2018). Estimation of reliability of designs of tractor trailers from a position of mechanics of destruction. *Technical service of agro-industrial, forest and transport complexes, vol.11*, Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/tcalc_2018_11_6.
9. Chernikov, A.V. (2017). Investigation of the dynamics of braking of a wheeled tractor using modern technologies of computer modeling. *Recent problems and models*, Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/cpm_2017_8_28.
10. Kholodov, A., Kholodov, M., Kalashnikov, E., Podrigalo, M., & Dubinin, Y. (2020). Improving the Concept of Wheeled Vehicles Safety Increase by Mobile Control-Measuring System (No. 2020-01-2018). SAE Technical Paper.

11. V. I. Vasilevsky, V. A. Kim, A. N. Kartashevich, A. F. Skadorva, & V. I. Timofeeva (2015). Tractor train braking stability. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*, 3, 169-175.
12. Stroganov, Y.N., (2018). Stabilization of movement of the front bogies are biaxial trailer tractor train. *Modern transportation and technological complex: journal, Ekaterinburg*, 9-20.
13. Stroganov, Y.N., (2019). Two-axle trailer stabilizer. Retrieved from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38148449>.
14. Stroganov, Y.N., (2019). Device for stabilizing two-axle trailer movement. Retrieved from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39272424>.
15. Chekmarev, V.N., (2002). Device for stabilizing vehicle movement. Retrieved from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38342640>
16. Stroganov, Y.N., (2019). Tractor hitching device of semi-mounted tractor trailer. Retrieved from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38152893>.
17. Kuznetsov, N.A., (2013). Justification of parameters of a transport unit for transportation of silage and gray crops. *ChGAA Bulletin. Vol. 64*. 34-42.

Бундза О. З., Герасимчук О. П., Мартинюк В. П. Обґрунтування вагового показника вибору тракторних причепів

Об'єм перевезень, які організують у сільськогосподарських підприємствах, зростає постійно. При цьому для здійснення перевезень, які здійснюються по полю й ґрунтовим дорогам, рекомендовано використовувати тракторний транспорт. Для забезпечення ефективної експлуатації тракторного агрегату, який являє собою енергетичний засіб, зчіпку та причіп, необхідним є виконання декількох умов: 1) раціональний вибір номенклатури причепів із урахуванням умов їхньої експлуатації; 2) забезпечення оптимальних показників техніко-експлуатаційних властивостей тракторних агрегатів. Внаслідок аналізу кореляційного зв'язку техніко-експлуатаційних показників причепів і енергетичних показників тракторів встановлено, що підбір причепів доречно проводити з використанням у якості оціночного показника вантажопідйомність причепу. Встановлено, що використання даного показника дозволить сформувати причіпний склад із урахуванням впливу таких показників як дотична тягова сила, питома витрата палива. Це, в свою чергу, дозволить ще у процесі обґрунтування складу транспортного агрегату оцінити економічну ефективність його експлуатації.

Ключові слова: трактор, причіп, вантажопідйомність, маса, енергонасиченість

БУНДЗА Олег Зіновійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: o.z.bundza@nuwm.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3770-0273>.

ГЕРАСИМЧУК Олександр Павлович, кандидат технічних наук, доцент кафедри лісового господарства, Луцький національний технічний університет, e-mail: alex_gop_ukr@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-3621-3038>.

МАРТИНЮК Віктор Леонідович, кандидат технічних наук, доцент кафедри галузевого машинобудування, Луцький національний технічний університет. e-mail: martyniukviktor77@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6914-2336>.

Oleh BUNDZA, PhD in Eng., associate professor of Building, Road, Reclamation, Agricultural Machinery and Equipment department, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: o.z.bundza@nuwm.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3770-0273>.

Oleksandr HERASYMCHUK, Ph.D. Eng., associate professor of Forestry department, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine. e-mail: alex_gop_ukr@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-3621-3038>.

Viktor MARTYNIUK, Ph.D. Eng., associate professor of Industrial Mechanical Engineering department, Lutsk National Technical University, e-mail: martyniukviktor77@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6914-2336>.

DOI 10.36910/automash.v1i16.501

УДК 621.43.038
UDC 621.43.038

Labeckas G., Slavinskas S., Mickevičius T.
*Vytautas Magnus University,
Student Str. 15, P.O. Box LT-53361, Kaunas Academy, Lithuania*

NUMERICAL STUDY ON THE EFFECTS OF CONTROL VALVE LEAKAGE ON CR INJECTOR PERFORMANCE

The paper presents the results of numerical investigation of the effects of the control valve leakage on the performance of Common Rail (CR) injector. A numerical model of a CR injector 1-st generation was developed in AVL BOOST Hydsim environment to achieve the research tasks. It is revealed that the control valve leakage has the biggest effect on pressure changing behaviour in the control chamber and, in turn, on the amount of fuel injected per cycle. The amount of fuel injected increases with the increase in the control valve leakage. The effect of the control valve leakage is higher the higher rail pressure and the shorter the duration of fuel injection. Pressure in the control chamber drops down to the minimum value earlier after the start of opening the control valve and rises to the maximum value later in the cycle when the control valve closes the outlet orifice as the fuel leakage from the control chamber increases. When the control valve leakage increases, the nozzle needle-valve rises earlier and descends back to the seat later in the cycle.

Keywords: common rail, fuel injector, numerical simulation, ball valve, leakage, diesel engine.

INTRODUCTION

As the requirements for vehicle fuel economy and exhaust emissions limits increase, the vehicle must meet more stringent test procedures throughout its service life. The performance of the fuel injection equipment largely determines the quality of the operation process of a diesel engine. Modern cars are most often equipped with the common rail (CR) fuel systems in which the opening of the injectors controls a solenoid valve. The movement speed of the injector nozzle needle depends on the alteration speed of the fuel pressure in the control chamber. The rate of change of fuel pressure in the control chamber is a function of the difference in flow rates at the inlet and outlet, which depends on the cross-sectional area of the outlet throttle opened by the control valve. During operation, the sealing surface of the control valve is subjected to high-frequency impact loads. In addition, fuel escaping through an open valve causes hydro-erosion wear. These factors change the geometric parameters of the surfaces of the control valve elements - the sealing ball and the seat - which affects the travel of the valve and, at the same time, the amount of fuel injected [1]. Therefore, even small changes in the control valve operation may significantly affect the fuel amount injected, especially when using pre-injection and idling modes. This change may occur because the stroke of the valve is only a few tens of micrometres. The control valves are also exposed to cavitation wear. The consequence of this phenomenon is deterioration in the injector leak tightness, which with the fuel being under high pressure causes excessive flow through the overflow port of the injector. Such types of damage result in a difficult starting of the engine and uneven idling [2]. Thus, the injectors play an important role in the obtainment of pre-assumed parameters of combustion engine operation.

A significant number of engine failures occur due to fuel injector malfunctions. Common rail diesel injection systems are highly sensitive to changes in fuel properties [3], so the increasing use of alternative fuels with different properties can also affect the durability of the entire injection system, including the injector. Z.Chomik and P.Lagowski analyzed the influence of fuel quality on the wear of selected elements of the common rail system [4]. The researchers provided visual inspection and verification of individual elements of 122 injectors made by Bosch, Delphi, Denso, and Siemens. Analysis of the results indicates that corrosion is a significant factor affecting the failure rate of the CR systems. The most common type of damage to injectors of this type is: 34% needle valve, followed by 31% nozzles, 29% control valves in the third place, 4% solenoid valves, and 2% others. CR injectors can be precisely controlled and tested on the test bench under laboratory conditions, whereas in "field conditions" their diagnosis is practically limited to measuring the volume of fuel flowing out of the control chamber of individual injectors or from all the injectors at the same time [5]. The measured fuel flow includes not only the fuel flowing through the control valve. The fuel flow also includes the leakages passing through the gaps between the control valve and its seat as well as between the injector needle and the body.

Not only experimental but also theoretical methods are widely used today to study the characteristics of the injection. For this purpose, numerical models of injectors with the real dimensions are created, and simulations are carried out. The simulated diesel injection systems are characterized by complex dynamic

and hydromechanical processes [6]. Mathematical modelling and simulation of the fuel injection process provide an opportunity to select flexibly and easily various parameters and to evaluate their impact on fuel injection characteristics [7]. In addition, simulation makes it possible to estimate those parameters of the internal elements of the system that are very difficult or even impossible to measure experimentally. A common-rail injector model employs three sub-models (electrical, hydraulic, and mechanical) to describe all the phenomena that govern injector operation. An accurate fluid dynamic part is also a key factor of CR injector modelling. Many research groups continue active work on modelling the common rail injector operation conditions [8,9,10]. The researchers Caika and Sampl developed a common rail injector model based on the 1D fluid flow and multi-body dynamics approach in BOOST HYDSIM, including numerous hydraulic, mechanical, and electrical components [11]. Payri et al. [12] developed a model in the AMESim environment and suggest silicone moulds as an interesting tool for characterising the geometry of valve and nozzle hole. At first, it is essential to validate the potentials of all the sub-models before starting to use the model for estimating the effects made on the system performance by adjustments or geometrical modifications. Most of the studies conducted aiming to optimize common rail injector construction parameters and their influence on the injection performance.

The purpose of the study is to examine the effects of leakages in the control valve of the injector on the amount of fuel injected and other operating parameters of the injector.

RESEARCH METHODOLOGY

The AVL BOOST Hydsim integrated platform for 1D system simulation was used to perform the modelling. Within this environment, a set of validated libraries was also used, containing pre-defined components for different physical domains to create a simulation model for the injection system. The components are described using validated analytical models that represent the injection system actual hydraulic, mechanic, and electric behaviour. The 1-st generation Bosch common rail injector model created in the Boost Hydsim environment is shown in Figure 1. Every its internal elements needs to be geometrically and hydraulically characterized to reproduce an accurate behaviour with the injector model. The main injector parameters used in the study are listed in Table 1.

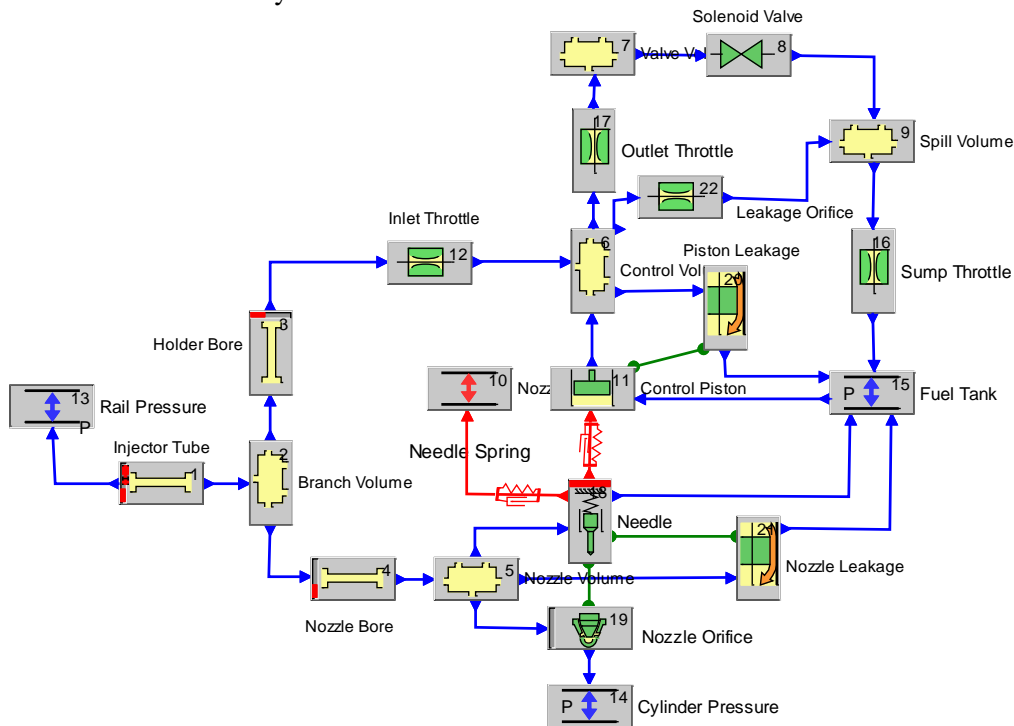


Fig.1. Numerical model of the common rail fuel injector.

Table 1. Injector main parameters

Parameter	Value	Parameter	Value
Nozzle holes	6	Needle seat diameter	1.7 mm
Nozzle hole diameter	0.016 mm	Control chamber initial volume	0.2 mm ³
Needle maximum lift	0.28 mm	Inlet orifice diameter	0.24 mm
Needle mass	2.6 g	Outlet orifice diameter	0.27 mm

The control valve wear was simulated by using an extra orifice 22 between the control chamber 6 and the spill volume 9 (Fig.1.). The simulation was carried out at different cross-section areas of the extra leakage orifice of 0.02, 0.04 and 0.06 mm².

The manufacturer of the injectors determines conditions for these tests, like fuel pressure and actuation time. The injected fuel quantity and the return quantity are basic quantities measured by the test benches. The most common method of testing the injectors is measuring the injector parameters at the four operating points. The first operating point is a full load mode, which simulates the work of the injector during the engine full-load operation. The second parameter is an emission mode, which corresponds to the medium load of the engine. The third measured point is an idling mode. The fourth measured point is a pre-injection mode. The recommended ranges of correct dosage values of the injected fuel are also provided. This type of tests is relatively fast and allows for the diagnosis of most of the injector malfunctions. The above-mentioned test modes were chosen for modelling in this numerical study (Table 2).

Table 2. Simulated injection modes.

Injection mode	Fuel (rail) pressure, MPa	Energizing time, μ s
Full load	130	1000
Part load	50	675
Idle	23	725
Pre-injection	50	250

The validation of the numerical model has been conducted by comparing the injection characteristics and the fuel quantities injected per cycle obtained in the experimental studies and the modelling findings.

RESULTS AND ANALYSIS

The simulation test results show that the wear of the control valve affects the amount of fuel injected and causes back leakages in the system. The amount of the fuel leaking through the valve leaks is decisively influenced by the fuel pressure (Fig. 2). As the injection pressure increases from 50 MPa to 1300 MPa, the fuel flow through the valve leaks increases by 50%, 58%, 61% for the respective values of 0.002, 0.004, and 0.006 mm² accepted in simulation for the control valve leaking cross-sections. An increase in pressure within the lower range of 23 to 50 MPa causes an increase in the fuel leakage of 51%, 45%, and 47%, respectively, for the tested cross-section areas.

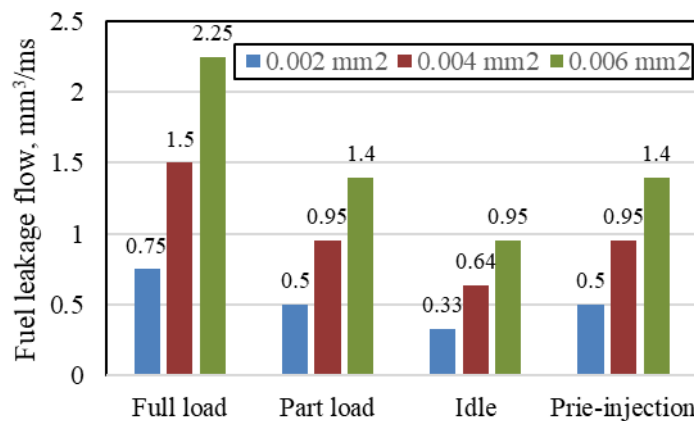


Fig.2. Effect of common rail pressure on the fuel leakage at various simulation modes.

Fig. 3 demonstrates the effect of the fuel leakage on the amount of fuel injected caused by a leakage in the control valve of the CR fuel system. The leaking cross-section of control valve preset at a minimum value of 0.002 mm² increased the amount of fuel injected by 5.25% for maximum load mode. While with the double bigger cross-section area of the leaks, the amount of fuel injected increases by 10.5% compared to that volume of the fuel-injected with a proper injector. At the biggest cross-section leakage area, the content of the fuel-injected per cycle (ms) increased by 16.4% against its initial value obtained with a proper injector.

The effect of control valve leakage is even greater when simulating the operation at a part-load mode. Even the smallest cross-section leakage area analyzed in the study the fuel portion injected increases by 25.4% against its initial value. While at higher leakages simulated, the volume of the fuel portion injected

increases by as much as 54.8% and 87.4%, respectively. Of course, the electronic control system of the engine manages to compensate for the increased fuel portion by reducing the duration of the injector control

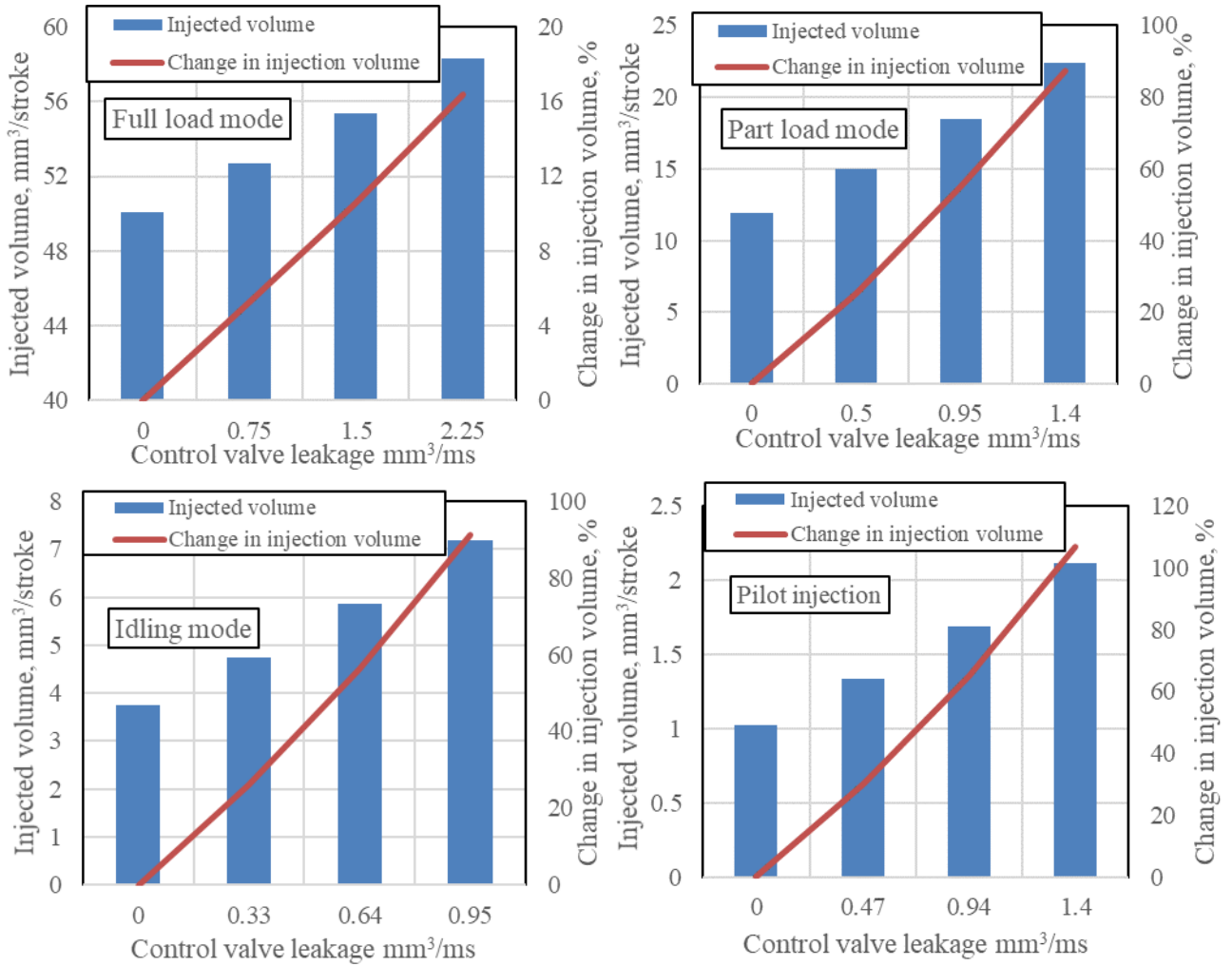


Fig.3. Influence of back leakage on the amount of the fuel injected per cycle.

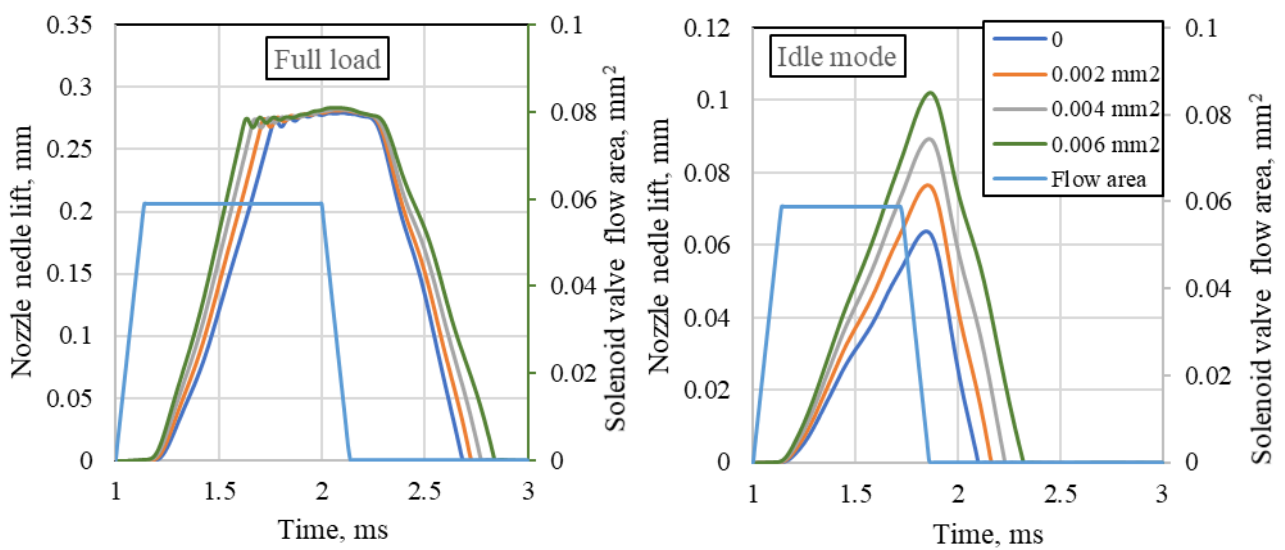


Fig.4. Influence of back leakage on the nozzle needle lift.

pulse. However, in the transient modes, especially during engine acceleration, the portion of the fuel-injected will significantly exceed the required amount to correspond to the actual air-mass flow rate. This fact will increase the number of harmful substances emitted into the atmosphere, especially particulate matters (PM).

A similar effect of control valve leakage was also obtained in the idling mode (Fig. 3). In this case, the fuel portion injected increases by 26.2%, 56.2% and 91.3%, respectively. This, in turn, can affect the stability of the engine operation at idling mode.

However, a leak in the control valve has a relatively the greatest effect on the pilot injection fuel portion. This mode of operation characterizes by a sufficiently high pressure of 50 MPa and a short injection time of 250 μ s. In such a case, the fuel portion during pilot injection increases by 30.2%, 65.1%, and 106.8%, respectively. The revealed increase in the amount of pilot fuel injected can negatively affect the combustion of the main-fuel portion. The effect of the control valve leakage is higher the higher rail pressure and the shorter the duration of fuel injection.

Fuel injection begins when the injector needle rises from the seat and ends when it returns to the seat and closes the injection holes. As can be seen in Fig. 4, as the control valve leakage increases, the nozzle needle rises earlier in the cycle to the support and descends back later at the maximum load mode. This means that the injection time gets longer (extends) and, as a result, a higher volume of the fuel is injected. While the nozzle needle does not complete the full stroke when running at lower load modes (partial load, idling mode, or pilot injection). It should be noted that as the leakage increases, the nozzle needle not only rises faster (earlier), but its total stroke (lift) also increases. This change results in a significantly higher increase in the amount of fuel injected.

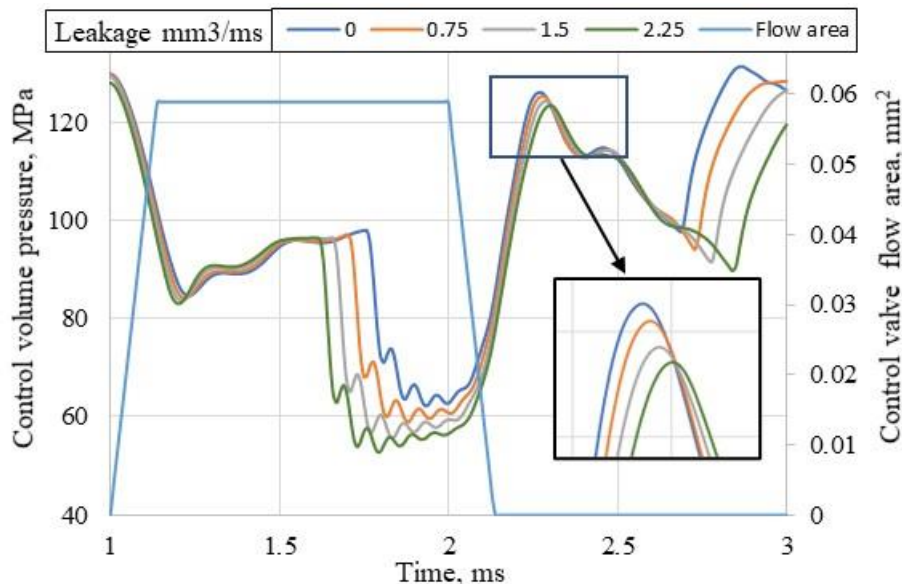


Fig.5. Influence of back leakage on pressure alternation in the control chamber.

The nozzle needle pressed against the seat keeps the fuel pressure in the control chamber. The opening and closing of the injector largely depend on the fuel pressure changing traces in the control chamber. As it follows from the analyses of pressure variation curves shown in Fig. 5, the pressure in the control chamber drops to the minimum value earlier after the beginning of opening the control valve as the fuel leakage from the control chamber increases. On the contrary, the pressure in the control chamber rises to the maximum value later in the cycle when the control valve closes the outlet orifice. In addition, the maximum pressure in the control chamber establishes at a slightly lower level than the common rail pressure due to the continuous leakage of the fuel from the control chamber. Namely, the noted fuel pressure changes in the control chamber determine the changing trends in the amount of fuel injected.

CONCLUSIONS

A numerical model of a common rail injector 1-st generation was developed in AVL BOOST Hydsim environment to perform simulation of the effects caused by the control valve wear. It is revealed that the control valve leakage has the biggest effect on the behaviour of pressure changes in the control chamber and therefore on the amount of fuel injected.

1. The amount of fuel injected increases with the increase in the control valve leakage. The effect of the control valve leakage is higher the higher rail pressure and the shorter the duration of fuel injection.

2. Pressure in the control chamber drops down to the minimum value earlier after the start of opening the control valve and rises to the maximum value later in the cycle when the control valve closes the outlet orifice as the fuel leakage from the control chamber increases.

3. When the control valve leakage increases, the nozzle needle-valve rises earlier and descends back to the seat later in the cycle.

REFERENCES

1. Yordanov, N., Hadjiev, K., Stankov, E. 2018. Experimental simulation of common rail electromagnetic injectors wearing. *Machines, technologies, materials*. Year XII, Issue 5, p.p. 208–211.
2. Piotr Ignaciuk, Leszek Gil. Damages to injectors in diesel engines, 2014. *Advances in Science and Technology Research Journal* Volume 8, No. 21, March 2014, P, 58–61, DOI: 10.12913/22998624.1091880.
3. Mata, C.; Piaszyk, J.; Soriano, J.A.; Herreros, J.M.; Tsolakis, A.; Dearn, K. Impact of Alternative Paraffinic Fuels on the Durability of a Modern Common Rail Injection System. *Energies* 2020, 13, 4166. <https://doi.org/10.3390/en13164166>.
4. Z.Chomik, P. Łagowski. The analysis of mechanical damage of common rail injectors, 2019. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 64(1), 13-20.
5. Kluczyk M, Grządziela A. Marine diesel engine Common Rail injectors monitoring with vibration parameters. *Diagnostyka*, Vol. 20, No. 3 (2019), 37-44. DOI: <https://doi.org/10.29354/diag/109793>.
6. Pogulyaev, Y. D., Baitimerov, R. M., Rozhdestvenskii, Y. V. 2015. Detailed dynamic modelling of common rail piezo injector. *Procedia Engineering*, 129, p. 93–98.
7. Punov, P. Research the fuel injection characteristics of a common-rail solenoid injector. *Proceeding of BulTrans-2015*, p. 153-158.
8. Hofmann, O., Han, S., and Rixen, D., "Common Rail Diesel Injectors with Nozzle Wear: Modeling and State Estimation," SAE Technical Paper 2017-01-0543, 2017, <https://doi.org/10.4271/2017-01-0543>.
9. Piano, A., Millo, F., Postriotti, L., Biscontini, G. et al., "Numerical and Experimental Assessment of a Solenoid Common-Rail Injector Operation with Advanced Injection Strategies," SAE Int. J. Engines 9(1):2016, doi:10.4271/2016-01-0563.
10. Zöldy, M.; Vass, S. 2018. Detailed modelling of the internal processes of an injector for common rail systems, *Journal of KONES Powertrain and Transport* 25(2): 415–426.
11. Caika, V. and Sampl, P., "Nozzle Flow and Cavitation Modeling with Coupled 1D-3D AVL Software Tools," SAE Technical Paper 2011-24-0006, 2011, doi:10.4271/2011-24-0006.
12. Payri, R., Climent, H., Salvador, F. J. & Favennec, A. G. (2004). Diesel injection system modelling: methodology and application for a first-generation common rail system, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineering Vol. 218 Part D*.

Лабецкас Г., Славинскас С., Мицкявичюс Т. Численное исследование влияния утечки управляющего клапана на работу CR форсунки.

В статье представлены результаты численного исследования влияния протечек управляющего клапана на работу Common Rail (CR) форсунки. Для решения исследовательских задач в среде AVL BOOST Hudsim разработана численная модель форсунки CR 1-го поколения. Выявлено, что утечка управляющего клапана оказывает наибольшее влияние на характер изменения давления в камере управления и, в свою очередь, на величину цикловой подачи топлива. Количество впрыскиваемого топлива увеличивается с увеличением утечек через неплотности управляющего клапана. Влияние утечек топлива через неплотности изношенного клапана тем выше, чем выше давление в топливном аккумуляторе и меньше продолжительность впрыскивания топлива. При увеличении утечек топлива из камеры управления, давление в камере падает до минимального значения ранее после начала открытия управляющего клапана и повышается до максимального значения позже после закрытия выпускного отверстия управляющим клапаном. Вследствие упомянутых изменений в управляющей камере игла распылителя форсунки поднимается раньше и опускается в седло обратно позже в цикле.

Ключевые слова: common rail, топливная форсунка, численное моделирование, шариковый клапан, негерметичность, дизельный двигатель.

ЛАБЕЦКАС Гвидонас, доктор технических наук, профессор Института инженерии силовых и транспортных машин, Vytautas Magnus University, e-mail: gvidonas.labeckas@vdu.lt;

СЛАВИНСКАС Стасис, доктор технических наук, профессор Института инженерии силовых и транспортных машин, Vytautas Magnus University, e-mail: stasys.slavinskas@vdu.lt;

МИЦКЯВИЧУС Томас, доктор технических наук, лектор Института инженерии силовых и транспортных машин, Vytautas Magnus University, e-mail: tomas.mickevicius1@vdu.lt

Gvidonas LABECKAS, PhD in Engineering, Professor of Power and Transport Machinery Engineering Institute, Vytautas Magnus University, e-mail: gvidonas.labeckas@vdu.lt;

Stasys SLAVINSKAS, PhD in Engineering, Professor of Power and Transport Machinery Engineering Institute, Vytautas Magnus University, e-mail: stasys.slavinskas@vdu.lt;

Tomas MICKEVIČIUS, PhD in Engineering, lecturer at Power and Transport Machinery Engineering Institute, Vytautas Magnus University, e-mail: tomas.mickevicius1@vdu.lt

Acknowledgement.

The authors gratefully acknowledge the Company AVL-AST (Graz Austria), which on a partnership basis, provides Vytautas Magnus University with AVL-BOOST software programme as a perfect tool for the numerical simulation of CR fuel system aiming to accomplish the control valve-leakage-made effects on the injector performance.

DOI 10.36910/automash.v1i16.502

Olena Nalobina¹, Mykola Holotiuk¹, Vitaly Puts²¹ National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine² Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine**THEORETICAL PREREQUISITES FOR SYSTEMATIZATION OF STANDARD SIZES OF MINI TRACTORS**

This article presents the results of the analysis of technical characteristics of modern mini tractors. A mini tractor is a power device which is also the most popular equipment for farms, private farming, horticulture and greenhouse farming in modern conditions. The study showed that constructive schemes of machines are constantly improved with the changing of their subsystems. Accordingly, there are some relationships between the parameters of mini tractors.

It is the relationship between the functional purpose and the operating parameters. The relationship between design parameters and design and operating parameters is the basis for their systematization in order to classify models of mini tractors. It is also the basis for their typification in order to establish optimal parameters in the design process and the choice of functional purpose. It was put the concept to simplify the systematization process forward regarding the possibility of choosing one significant parameter that determines the size and functionality of the tractor. Changing a significant parameter affects the main design, technical and operational parameters. It was recommended to take the indicator of the structural weight of the tractor as a significant.

Key words: tractor, parameters, power, weight, optimization, classification

INTRODUCTION

The agro-industrial complex of modern Ukraine is diverse. More and more farms and small farming households are appearing in the structure of agro-industry. There is a certain specificity of exploitation of technical means in the operation of such farming. Agricultural machines which have proven themselves well during performing work on an area of hundred hectares have a low load in these conditions. Moreover, the use of large-sized equipment leads to an overuse of energy resources. All this has a negative impact on the cost of production and hinders the development of farming.

Given the above, an urgent scientific and practical task is the development and improvement of small-sized equipment, which is able to perform a wide range of tasks in both open and closed ground.

ANALYSIS OF LITERATURE SOURCES AND PROBLEM STATEMENT

The problems of creating small-sized equipment are covered in the works of V.V. Adamchuk, S.P. Pohorilyi [1], Voynash S.A. [2, 3], Sytnykov V.R. [3], Gamaleev P.P., Sytnykov V.R. [4, 5], Guryakov M.V. [6], Kyselov K.V., Kozmyn S.F. [7], Narang S. [9], Sohne W. [10], Rasool S. [11] and many others scientists.

Adamchuk V.V. and Pogorilyi S.P. [1] particularly note that the use of mobile power means is one way to reduce the cost of crop production. The authors analyze the directions of use of car chassis as a small power vehicle. It was offered variants of formation of mobile agricultural units on its basis. It was proved that the use of such units will reduce the cost of technical park of farming and increase the efficiency of machinery.

Voynash S.A. [2] presented the results of research aimed to determine the operational indicators of a small wheeled tractor, which is designed for use in small and private farming. The authors have developed a number of nomograms that afford to link the load parameters of the tractor with traction operating modes. This made it possible to offer an improved dynamic passport.

Dmitrieva M.N. and Lukhminskiy V.A. [8] developed a mathematical model for determining the depth of the track formed by a small skidding tractor.

The authors presented the formula that reveals the relationship between radial deformation of clay by a small forestry tractor and deformation of soil compression. The obtained mathematical model is implemented numerically that due to approximation affords to obtain simplified and convenient for practical application model for estimating the track depth.

The work [7] is devoted to the study of vertical oscillations of a wheeled tractor under the condition of its movement on a forest drag. The proposed equations make it possible to determine the actual loads taking into account the dynamics still at the design stage of the machine.

Dmitrieva M.N. [8] investigated the relationship between physical and mechanical properties of soil with low bearing capacity and substantiated the dependencies for their evaluation. It was developed a

mathematical model of the process of interaction between the wheeled drive of a small forestry machine and soil with low bearing capacity. It was presented the results of the study of the process of development of stresses and strains in the soil under the action of the wheeled drive.

It is clear that the study of the interaction of small-sized machines with the soil relate to machines for the forest industry mainly.

It was little studied the regularities of interaction of small-sized machines with the soil during agricultural work. In addition, there is no research aimed to develop the methods of designing efficient small-sized equipment for work in agriculture, including indoors.

Given the above, the urgent task is the development of small-sized equipment and the scientific basis of its calculation for agriculture.

THE AIM OF THE STUDY

The purpose of the study is to analyze the features of the construction of small-sized machinery for agriculture on the example of tractors. For this purpose it will be analyzed the features of the layout of some models of mini tractors.

RESULTS OF THE STUDY

Such mini tractors as Solis (India), Chery-Zoomlion (China), Dongfeng (China), Yanmar FX-22D (Japan) are the most represented on the Ukrainian market.

In order to identify the design and operational features of mini tractors it was analyzed more than 250 models. The results of the analysis are below.

The tractors are made according to the classic layout that provides a sequential arrangement of transmission elements and transmits the location of the engine. In most models the front wheels are much smaller than the rear (Fig. 1)



Fig.1 – Mini tractors: *a* – Solis; *b* – DTZ

At present the schemes of arrangement of mini tractors differ in execution of a frame that allows to make them all-wheel drive and to increase traction and coupling properties. In addition, the improvement of the frame structure, in particular the use of articulated, allowed to develop and establish the manufacture of tractors of small width.

The energy source is internal combustion engines. (Table 1) Most engines are 3-cylinder, 4-cylinder.

Table 1 Technical characteristics of mini tractors

Model	N, hp	Dimensions	Engine	Design Weight, kg	Wheel-drive
Solis 20	20	2660/970/1500	Three-cylinder diesel	950	4×4
Solis 26	24	2715/1065/1550	Three-cylinder diesel	1005	4×4
Solis SF-160	16		Single-cylinder	680	4×2

Lovol 1304	130	5060/2285/2987	Six-cylinder diesel	5250	4×4
Lovol FT-224	24	3300/1350/2350	Three-cylinder	1230	4×4
Lovol FT 354.2	35	3500/1550/2450	Four-cylinder	1420	4×4
Lovol FT 504	50	3980/1650/2450	Four-cylinder	2165	4×4
Chery Zoomlion RD 244	24	3070/1490/1550	Three-cylinder	1250	4WD
Chery Zoomlion RK 504C	50	4120/1720/2550	Four-cylinder	3024	4WD
Bulat	24	2600/1470/1820	Three-cylinder	1300	4×4
Bulat T-245	25	2590/1250/1860	Three-cylinder	900	4×2
Orion Forte RD 244	24	3100/1500/1900	Three-cylinder	1310	4×4
Orion RF 404 Revers	40	3370/1620/2060	Four-cylinder	1490	4×4
MT3-132H	11,8	2500/1000/2000	Single-cylinder	532	4×4
BELARUS-112H-01	11	2500/1000/2000	Single-cylinder	570	4×4

Power ranges from 10 to 130 hp. Execution of engines, at first glance, is complicated. But the presence of 3-4 cylinders at such a relatively low power provides an increase in engine life before overhaul (Fig. 2)

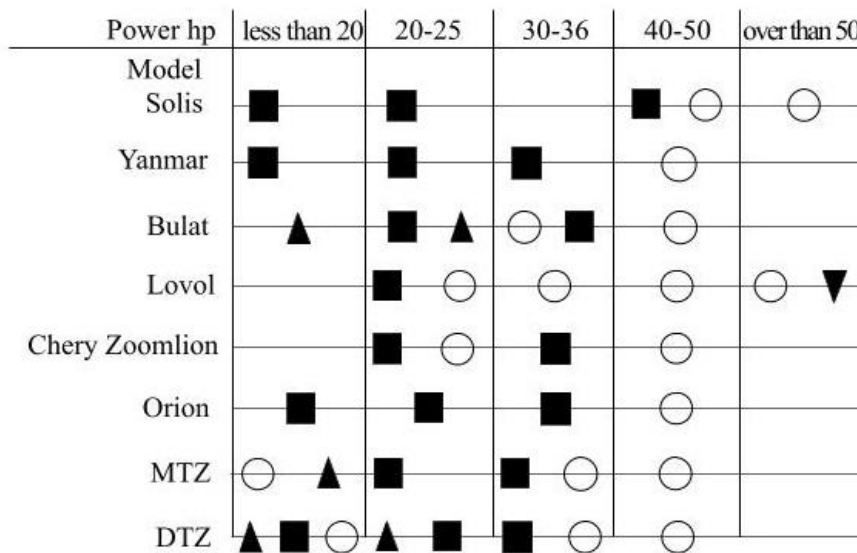


Fig. 2. The number of engine cylinders depending on engine power:

The analysis showed that the engines of mini tractors are mainly diesel with reliable radiator water cooling. This virtually eliminates the risk of motor overheating and engine failure. The vertical arrangement of cylinders, and also a longitudinal arrangement of a cranked shaft allow to carry out connection to transmission through disk clutch. According to Table 1, it is clear that the power of tractor increases with increasing its structural weight. This connection (Fig. 2) can be estimated by:

$$N = 0,024m - 1,25. \quad (1)$$

The reliability of the dependence was confirmed by the coefficient of randomization, which is 0.984. In addition, the design weight of mini tractor and its power is characterized by a high correlation (correlation coefficient is 0.992).

All mini tractors can also be combined for their intended purpose. The power indicator is the most appropriate as the basis of such division. It was established the functional purpose of mini tractors based on static analysis.

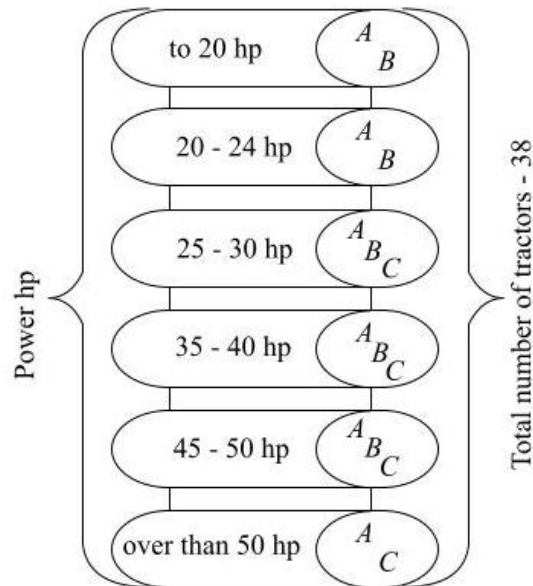


Fig. 3 – Statistical data of the functional use of mini tractors: A – for main tillage; B – in horticulture; C – on the maintenance of farming

The analysis of design and operational parameters of mini tractors of different manufacturers shows certain patterns of their change. Moreover, the design parameters change with the change of power indicator. The functional purpose can also be justified based on the amount of power, which, in turn, has a high correlation with the parameter of the structural weight of the tractor. It can be accepted the concept of accepting the weight of a mini tractor as a criterion for assessing the technical excellence of a mini tractor.

DISCUSSION OF RESULTS

It is necessary to establish areas of rational values of parameters of optimization of mini tractors for further improvement of their design and operational parameters and development of new models of mini-power means.

The study by E. Xora [9] demonstrated that there is no single approach to the choice of optimization parameters during the design (improvement) of machines. The statistical analysis of the relationships between the parameters showed that the power or design weight of a mini tractor can be chosen as a significant. It can be assumed that a significant parameter is a parameter that can be used as a basis for justifying the functionality, as well as determining the size of the tractor. It can be adopted the concept of the feasibility of using the index of structural mass as a significant.

CONCLUSION

Mini tractors are in increasing demand and characterized by a variety of models. Statistical analysis of the models showed that there is no single classification based on design parameters. This makes it difficult to form universal recommendations to farmers on the functional purpose of a model.

Systematization of mutual influences of constructive parameters is a basis of formation of such recommendations. The systematization process requires a large statistical database and the solution of a large number of regression equations. This process can be simplified by selecting a significant parameter that has the greatest impact on design and operational parameters. It is recommended to accept constructive weight of a mini tractor as such parameter.

REFERENCES

1. Adamchuk, V.V., Pogorilyi, S.P., Cherniak, R.Je., Dun', S.V. (2018). Multipurpose mobile power means for AIV. *Bulletin of Agricultural Science*, 5, 47-53.
2. Voynash, S.A., Voynash, A.S. (2012). Features of designing of a wheel small-sized skidding tractor. *Tractors and agricultural machinery*, 11, 21-23.
3. Voynash, S.A., Voynash, A.S., Zharikova, T.A. (2012). Plowing unit on the basis of a small-sized tractor. *Tractors and agricultural machinery*, 8, 15-16.
4. Gamaleev, P.P. (2002) Features of the traction evaluation of a small-sized tractor. *Tractors and agricultural machinery*, 2, 21-23.

5. Sytnykov, V.R., Voynash, A.S. Small-sized power module of 0.6 thrust class (EM-0.6). Improvement of the working units of agricultural machinery (1994). *Abstracts of the international scientific and technical conference, Barnaul: AltGTU*, 63-64.
6. Guryakov, M.V. (1994). *Small-sized agricultural machinery: a handbook*. M.: Mashinostroyeniye.
7. Kyselov, K.V., Kozmyn, S.F., Mikhailov, O.A., Taradin, G.S. (2020). Study of the vertical dynamics of a small wheeled tractor. *Scientific and technical conference on the results of research work in 2019, St. Petersburg, January-February 2020*, 68-72.
8. Dmitrieva, M.N., Lukhminskiy, V.A., Khakhina, A.M. (2017). Mathematical model for evaluation of rut depth after a small-sized skidding passover. *Izvestiya St.Petersburg State Forest Technical University*, 219, 144-155.
9. Narang, S., Varshney, A.C. (2006). Draftability of a 8.95 kW walking tractor on tilled land. *Journal of Terramechanics*, 43, 395-409.
10. Sohne, W., Grundl, D. (1957). Einfluss von Form und Anordnung der Werkzeuge auf Antriebsmomente von Acker-frasen. *Landtechn*, 9, 696-787.
11. Rasool, S., Raheman, H. (2018). Improving the tractive performance of walking tractors using rubber tracks. *Biosystems Engineering*, 167, 51-62.

Налобіна О.О., Голотюк М.В., Пуць В.С. Теоретичні передумови систематизації типорозмірів міні-тракторів

У статті викладено результати аналізу технічних характеристик сучасних міні тракторів. В ході виконаного аналізу встановлено, що конструктивні схеми машин постійно удосконалюються. При цьому змінюються підсистеми машин. Але, як виявив аналіз, існують певні взаємозв'язки між параметрами міні тракторів.

Наявність взаємозв'язків між конструктивними і експлуатаційними параметрами є основою для їхньої систематизації з метою класифікації моделей міні тракторів і типізації з метою встановлення оптимальних параметрів в процесі проектування та виборі функціонального призначення. З метою спрощення процесу систематизації висунуто концепцію щодо можливості вибору одного значущого параметру, який визначає типорозмір і функціональні можливості трактора. Зміна значущого параметру впливає на основні конструктивні та техніко-експлуатаційні параметри. В ході аналізу рекомендовано за значущий приймати показник конструкційної маси трактора.

Ключові слова: трактор, параметри, потужність, маса, оптимізація, класифікація

НАЛОБИНА Олена Олександрівна, доктор технічних наук, професор кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: o.o.nalobina@nuwm.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-1661-7331>.

ГОЛОТЮК Микола Віталійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: m.v.holotiuk@nuwm.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3661-4437>.

ПУЦЬ Віталій Степанович, кандидат технічних наук, завідувач кафедри галузевого машинобудування, Луцький національний технічний університет. e-mail: putsvs@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3164-6173>.

Olena NALOBINA, Doctor of Technical Sciences, Professor of Building, Road, Reclamation, Agricultural Machinery and Equipment department, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: o.o.nalobina@nuwm.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-1661-7331>.

Mykola HOLOTIUK, PhD in Engineering, associate professor of Building, Road, Reclamation, Agricultural Machinery and Equipment department National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: m.v.holotiuk@nuwm.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0003-3661-4437>.

Vitaly PUTS, PhD in Engineering, head of the of Industrial Engineering Departmen, Lutsk National Technical University. e-mail: putsvs@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0003-3164-6173>.

DOI 10.36910/automash.v1i16.503

Prydalnyi B., Hezun P.
Lutsk National Technical University

MECHATRONIC CONTROL SYSTEM OF EXECUTIVE MECHANISMS OF METALWORKING MACHINES

The use of mechatronic systems which operate subsystems of technological equipment resulting in high level of automation and flexibility of manufacturing is demonstrated. The solved problems are to expand production opportunities in the productivity increase and quick readjustments of processing parameters as well as simplifying the kinematics of the metalworking machines rotation motion by applying mechatronic means. The structure of the control system, which can be built by using an accessible and common element base is developed. A number of subsystems can be highlighted on the grounds of the developed one which provide the operation of the electric drive, transmission and conversion mechanisms, synchronization of movements of actuators, control of auxiliary subsystems, such as control system of limit positions and braking the units that move under inertia forces after shutdown power supply.

Keywords: spindle assembly, control system, mechatronic system.

INTRODUCTION

It is known, the technological capabilities of metalworking machines largely depend on the characteristics of the movements of their executive mechanisms and shaping movements in particular. The most common types of shaping movements which are used in processing on metal-cutting machines are rotational and translational ones. The range of values of torque and angular velocity of the main movement, axial force and linear feed rate largely determines the characteristics of the machine and, as a consequence, the quality and productivity of machining. Ensuring a wide range of characteristics of shape-forming movements requires effective coordinated control of a number of converting mechanisms, as well as the engine and mechanism for clamping workpieces and tools in spindle assemblies.

ANALYSIS OF LITERATURE DATA AND FORMULATION OF THE PROBLEM

The use of mechatronic systems to control the operation of subsystems of technological equipment helps to increase the level of automation and flexibility of production [7, 8]. This expands the possibilities of production in the areas of increasing productivity and speed of readjustment of machining parameters [1-3]. Such opportunities give new competitive production advantages in the conditions of high rates of general technological progress where improvement, modification and new goods are common. It also creates the preconditions for increasing the level of integration of production systems at the technical and functional levels. That is obviously, that the most efficient and common way to supply equipment by energy is to use electricity. There is also a tendency to expand the scope of use of electromechanical components as part of technological equipment, including the replacement of their existing mechanical counterparts. It helps to reduce the number of energy converters and energy losses.

PURPOSE AND OBJECTIVES OF THE STUDY

The structure of the developing control system is aimed to enhance a wide range of characteristics of the movements of the executive mechanisms and provides control both by change of the electric motor characteristics and by switching mechanical gears with electromagnetic clutches. Switching the appropriate electromagnetic couplings provides a kinematic connection between the gears and shafts, which allows to change the speed. The width of the range of characteristics of the executive movements allows choosing more optimal machining modes by providing both high speeds for finishing small-diameter parts and significant torques for roughing large-diameter parts made of hard material.

The aim of the research is to expand the possibilities of providing technological flexibility of metalworking machines. To achieve this goal it is necessary to solve problems aimed at simplifying the kinematics of the mechanisms of spindle assemblies and the drive of the feed (translational) of metalworking machines as well as effective exchange of information between the mechatronic systems which control the operation of subsystems. It can be done through the use of mechatronics means, as well as the development and implementation of optimal control system that can be built by using an accessible and widespread element basis.

RESEARCH RESULT

The results are expressed in the creation of the research stand (Fig. 1), which confirms the possibility and feasibility of designing mechatronic systems and units for the use in metalworking machines of traditional structure. Also, the characteristics of this stand make it possible to conduct experimental studies

of the performance of electronic, electrical and mechanical components of metalworking equipment. The developed structure of the control system of forming movements of the machine can be used for carrying out modernization of the metalworking machinery of manufactures of the machine-building branch.

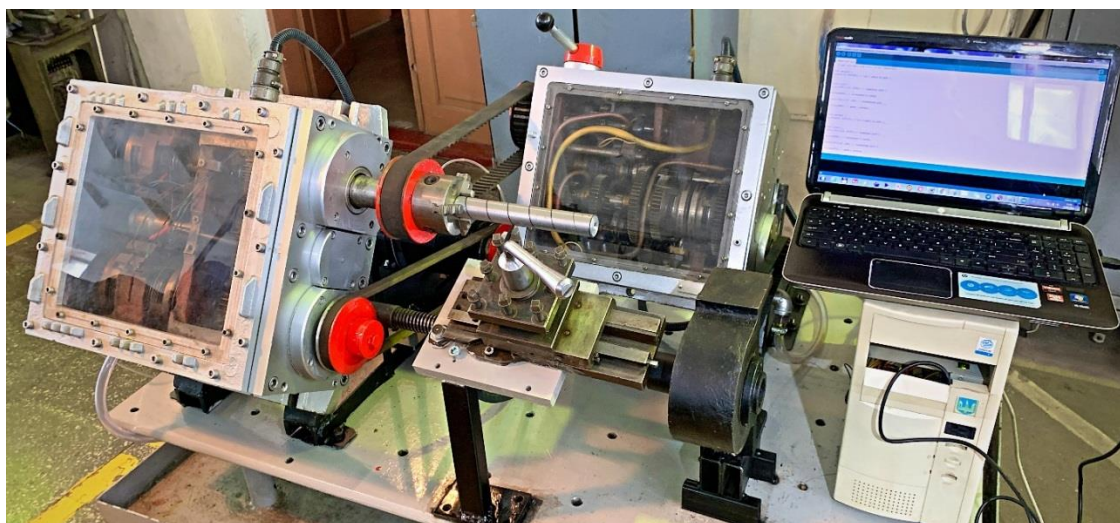


Fig. 1.

General view of the created experimental stand with the developed mechatronic control system

The search methods are based on the use of the main provisions and practices relating to technical systems theory, electric vehicles, theoretical mechanics, theory of machines and mechanisms, automation and mechatronics.

The developed structure of control scheme with mechatronics means is created according to standard methods and is suitable for use in structures of metalworking machines. That involves using the rotational motion from the electric motor of the main motion drive with its subsequent transformation through the multiplying structures of the transmission and amplification mechanisms [4]. A feature of the kinematic structure is the requirement to control mechanical transmissions using electrical signals, which determines the need to use electromagnetic couplings to provide kinematic connections.

The developed kinematic scheme contains two mechanical gearboxes of the main drive and feeds, where the transmission of torque is due to gears. Electromagnetic couplings series ETM-104 (YC1 - YC5) in the gearbox of the main drive and electromagnetic couplings series ETM-072 (YC6 - YC10) (Fig. 2) in the gearbox of the feed drive are used to switch the parameters in these gearboxes. The appropriate moods are turned on by applying a discrete signal to a set of couplings from the control system. This provides the transmission of rotational motion to the spindle and the lead screw, which nut is rigidly connected to the toolholder. The structure of the kinematic scheme meets the requirements of shaping movements of the vast majority of metalworking machines and can be used both for equipment with tool spindles and desktop feed and for lathes. To expand the rotation speed, the engine speeds M can be changed as well.

To design a system for automatic control of the gearbox, it is necessary to identify combinations of switching on electromagnetic couplings to obtain the required speed of the spindle. It is necessary to identify all the options for the formation of kinematic chains of this gearbox. Investigations of the kinematic structure of the gearbox begin with the construction of a structural grid (Fig. 2), which reflects the following information [4]:

- number of degrees of rotation frequencies on each of the shafts which can be obtained by multiplier box structure;
- the number of group gears in the drive and the order of their constructive placement;
- the number of gears in each group;
- characteristics of groups, that is their place in the order of their kinematic inclusion.

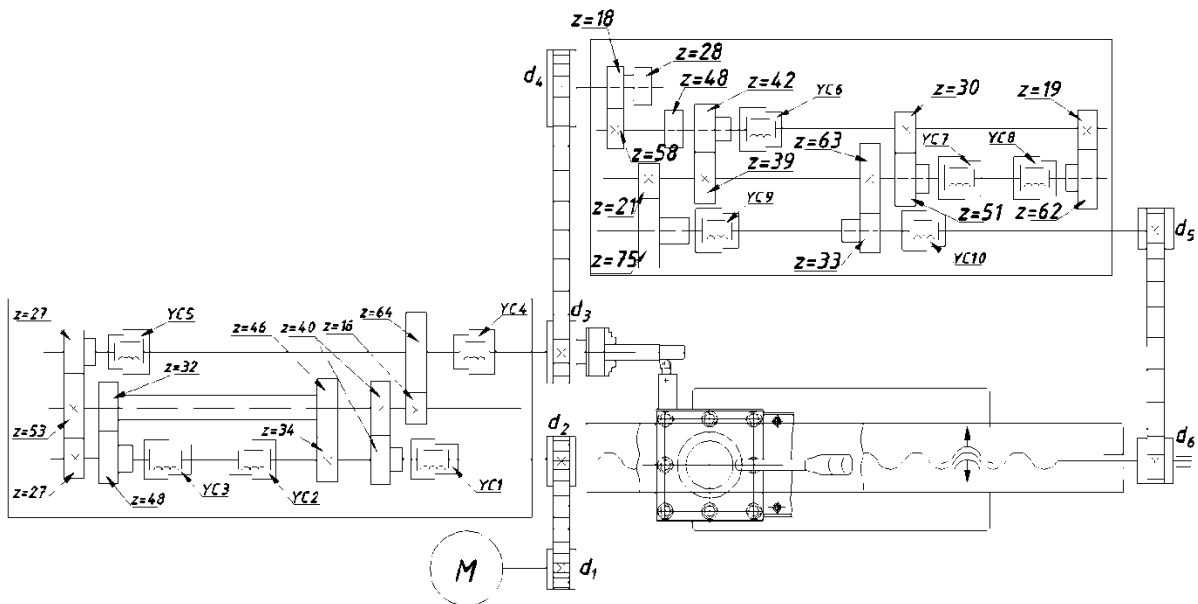


Fig. 2. Kinematic scheme of energy transmission and conversion circuits

The mechatronic control system of the stand can be classified as a multiprocessor, because it contains the processor of a programmable controller of electrical automation, which controls the operation of the stand, and is equipped with a personal computer that acts as a controller programmer [2, 3]. The structure of the control system provides sufficient flexibility of the operator interface, which has a positive effect on the ability to learn the ways to control the operation of equipment faster, including making experiments and laboratory work during the training process.

The basis of the presented control system is a programmable controller Arduino Uno, which was correspondingly chosen within the concept of the structure, which is based on the most accessible and common element basis. A personal computer is used to provide the interface of the developed control system. The controller communicates with the computer via the communication port using the Arduino IDE software. The Control of means of electroautomatics is carried out by processing and amplification of signals of the corresponding outputs ("pins") of the Arduino platform. Electrical appliances controlled by the controller are connected to its board according to the developed scheme (Fig. 3).

The modular 8-channel relay provides power supply to the devices of electroautomatics according to the scheme in fig. 3 and is connected to the control system accordingly:

- GND PIN on the power supply voltage is 0V (ground);
- VCC PIN is supplied with the voltage of + 5V from the power supply;
- Signal PIN (signal pin) is connected to the platform Arduino Uno via Digital Pin (digital pin) through which signals are (5V or 0V) to switch module in one of the modes: with normally open (Normally Open) to normally closed (Normally Closed) with a voltage of + 24V from the power supply.

Each of the electromagnetic couplings is controlled via a separate digital pin that connects the modular relay to the controller board. Each electromagnetic coupling YC1 - YC10 is connected to the modular relay as follows: one of the inputs of the coupling is connected to the GND connector of the power supply, the other input is connected to an 8-channel modular relay in the Common Contact connector. The operation of the relay and, accordingly, the operation of the couplings is controlled in the following sequence:

- according to the commands from the interface of the personal computer digital signals on a board of the Arduino Uno controller are being sent;

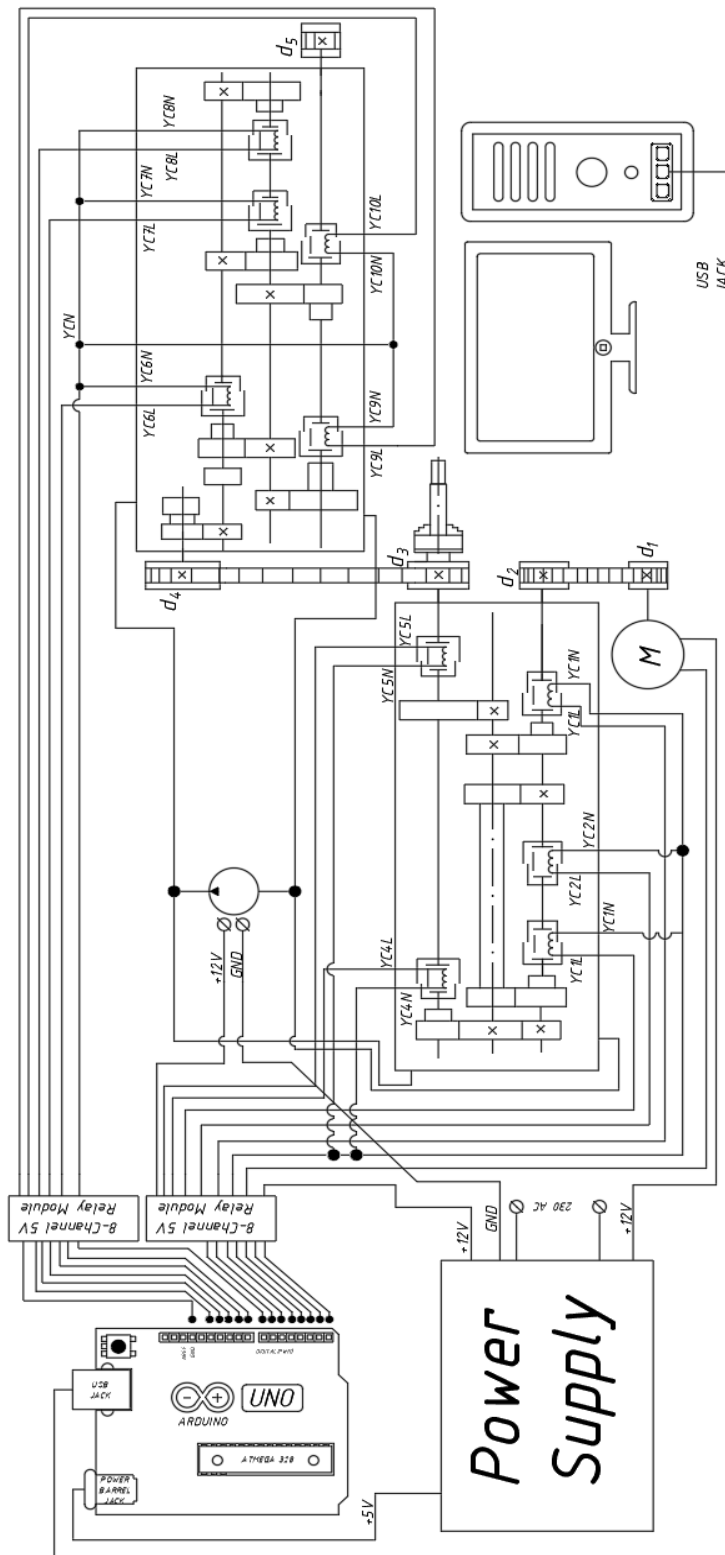


Fig. 3. The scheme of the developed mechatronic control system

– when one of the couplings, for example YC1, is switched on, the signal from Digital Pin 1 is fed to the Signal Pin 1 of the modular relay, which causes the switching of this relay from Normally Closed to Normally Open mode;

– as a result of the received command the contacts of Common Contact and Normally Open are closed and voltage through the relay moves to the YC1 coupling.

This scheme makes it possible to control separately each coupling, regardless of their number. As the motor of the main drive movement is used the electric motor of a direct current of Dynamo Sliven type 1 PI which is also used in mechanisms of drives of industrial robots. The power supply system of the M1 main drive motor provides the possibility of two-stage speed switching as well as braking its rotation when the

power is turned off according to the generator circuit, changing the direction of rotation and blocking restart in the same direction after stopping at the sensor signal. A fragment of the connection diagram of this engine is shown in Fig. 4. In addition to the operation of modular relays of the Arduino platform, two car five-contact relays of modes were used 1C12 (Star line).

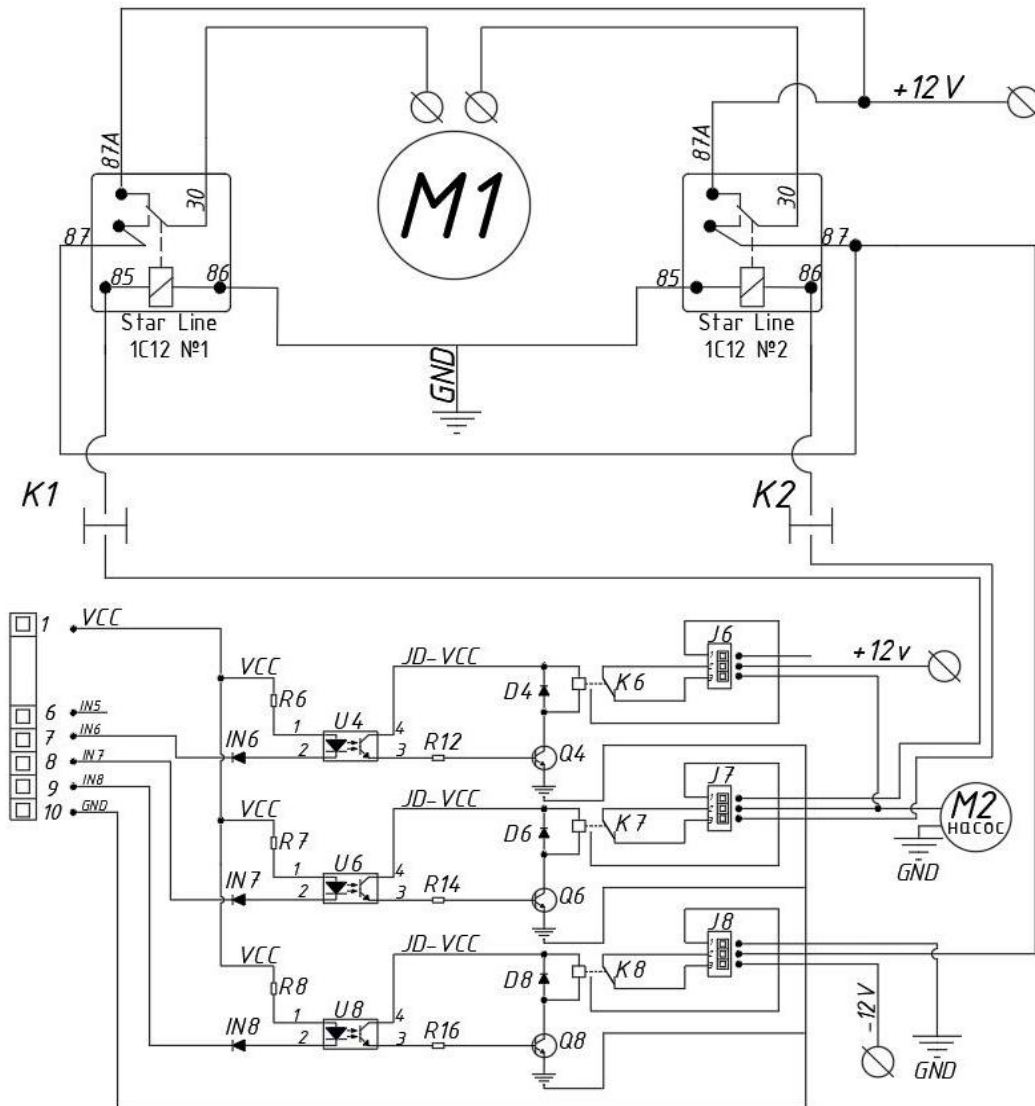


Fig. 4. A fragment of the diagram showing the connection of the main motor

The M2 motor of the electric oil pump is connected in such a way that the oil supply does not occur when the gearbox of the main movement or feeds is not working. To do this, the voltage of + 12V is applied to the common contact J6 with digital input IN6 (Fig. 4), to the Common Contact of contacts. This relay is responsible for unlocking the motor control as well as for the oil supply. When a signal is applied to relay J6, i.e. the Common Contact and Normally Open contacts are connected, voltage is applied to the electric oil supply pump and to the Common Contact contact of the next relay J7, through which the next two Star Line 1C12 relays are controlled. The other contact of the pump is connected to the GND power supply.

Switching relay J8 (Fig. 4) is designed to select the motor speed by switching the voltage difference. It is supplied with voltage -12V from the Normally Open side, and the Normally Closed contact is connected to the "ground". The Common Contact is connected to terminal 87 of both Star Line №1 and Star Line №2 relays. This allows you to apply different voltages to the motor M1 to change the speed of rotation of the motor shaft. When a signal is applied to relay J7, the Common Contact and Normally Open contacts are closed and voltage is applied to terminal 86 of the Star Line relay №2, due to inductance switching and contacts 87 and 30 are connected. The result is a change of potentials on the motor. Depending on the state of the switching relay J8, a voltage of 12V or 24V can be applied to the motor.

When a discrete signal is applied to relay J7, the Common Contact and Normally Closed contacts are closed. Voltage is applied to contact 86 of the Star line №1 relay. As a result, contacts 87 and 30 are

connected and the motor is reversed because the voltage is connected to other motor contacts.

To limit the area of movement of the tool provides the connection of one or two limit switches K1 (K2) which stop the engine in case of their operation. This breaks the coil circuit of one of the relays Star Line 1C12 motor and the state of the contacts go to the initial position when 87A and 30 are closed. This causes the engine to stop. Further engine starts possible by changing the signal to the switching relay J7, which also leads to a change in the direction of rotation.

The described control system is small and mounted in the case of the computer system unit (Fig. 5).

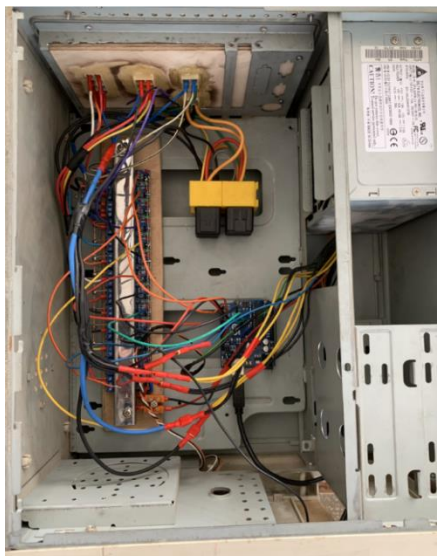


Fig. 5. The developed control system is mounted in a case of the system unit of a personal computer

DISCUSSION OF THE RESULTS OF THE STUDY

The use of a mechatronic system to control the drive of the main motion in machine tools expands the possibilities for integration with the control systems of other components, clamping mechanisms of workpieces and tools in the machine spindles in particular. There are electromechanical devices [9, 10], which are part of the spindle units of machines and provide the possibility of automatic clamping of workpieces or cylindrical tools in the spindle units. Electromechanical clamping devices have a wider ability to control their operation compared to their mechanical and hydraulic counterparts. That is, it is possible to control the amount of clamping force of the object, which is fixed in accordance with current requirements and external perturbations. For example, when increasing the spindle speed, it is advisable to increase the amount of input force applied to the clamping chuck to compensate the loss of clamping forces due to the influence of centrifugal forces on its clamping jaws.

CONCLUSIONS

Based on the results of engineering research, the structure of the mechatronic control system of the movements of executive mechanisms has been developed and embodied in the form of an operating stand. The obtained range of gear ratios in the main drive and feed drive makes it possible to provide a wide range of speeds and forces of mutual movement of the workpiece and the tool, which determines the possibility of productive machining of a wide range of diameters and materials. For a more optimal method of obtaining a range of characteristics of the technological movements, the possibility of controlling the performance characteristics of the main drive motor is implemented. The developed system also makes it possible to establish a rigid kinematic connection between rotational and translational shaping movements, which is necessary for the machining of helical surfaces. The control system also provides the necessary elements to protect equipment and personnel and provides engine braking when the power is turned off and the ability to set restrictions on movement. The use of a personal computer as a controller programmer that forms control commands, as well as the availability and prevalence of the element base on which the presented system is developed expands the possibilities of its creation for use in technological machinery and training stands with low budget. The effective exchange of information between the mechatronic systems which control the operation of the spindle drive and the electromechanical clamping mechanism helps to increase the efficiency of processing.

REFERENCES

1. Alciatore D.G., Hestand M.B. (2011). Introduction to Mechatronics and Measurement Systems. (Vol. 4). New York: Avenue of the Americas, NY 10020.

2. Bishop R.H. (2007). *Mechatronic System, Sensors, and Actuators: Fundamentals and Modeling*. (Vol 2). CRC Press.
3. Yonk Tak Hyan. Know-how feedback based on manufacturing features (STEP-NC Server)/Laboratory for Machine Tools and Production Engineering Aachen University of Technology. Aachen. 2003. February 12. P.25.
4. Бочков В.М., Сілін Р.І., Гаврильченко О.В. Розрахунок та конструювання металорізальних верстатів: Підручник / за ред. Сіліна Р.І. – Львів: Видавництво "Бескид Біт", 2008. – 448с.
5. ДСТУ 3651.1–97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Похідні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць та позасистемні одиниці. Основні поняття, назви та позначення.
6. Кузнєцов Ю.М., Придальний Б.І. Проектування цільових механізмів маніпулювання верстатів нового покоління. Вид. 2ге змін. / Під загальною редакцією проф. Ю.М.Кузнєцова. – Луцьк: Вежа-Друк, 2014. – 428 с.
7. Орловський Б.В. Мехатроніка в галузевому машинобудуванні: навчальний посібник / Б.В. Орловський. – К.: КНУТД. – 2018. – 416 с.
8. Цвіркун Л.І. Робототехніка та мехатроніка: навч. посіб. / Л.І.Грулер; під заг. ред Л.І. Цвіркуна; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т.– 3-тє вид., переробл. і доповн. – Дніпро: НГУ, 2017. – 224 с.
9. Пат. на винахід № 95323 Україна, МПК В23В 15/00, В23В 13/10. Пристрій для затиску пруткового матеріалу / Кузнєцов Ю.М., Придальний Б.І., Редько Р.Г.; заявник і власник Луцький національний технічний університет №а200906409; заявл. 19.06.09; опубл. 25.07.11, Бюл. №14.
10. Пат. на корисну модель № 95863 Україна, МПК В23В 13/00. Пристрій для затиску пруткового матеріалу / Придальний Б.І., Усін В.І.; заявник і власник Луцький національний технічний університет №u201407939; заявл. 14.07.2014; опубл. 12.01.2015, Бюл. №1.

Придальний Б.І., Гезун П.М. Мехатронна система керування виконавчими механізмами металообробних машин.

За результатами інженерно-пошукових досліджень розроблено та втілено у вигляді діючого стенда структуру мехатронної системи керування рухами виконавчих механізмів. Отриманий діапазон зміни передатних відношень в приводі головного руху та приводі подач дає можливість забезпечення широкого ряду швидкостей та зусиль взаємних переміщень деталі і інструмента, що визначає можливості продуктивної обробки поверхонь широкого діапазону діаметрів і твердих матеріалів. Для більш оптимального способу отримання діапазону характеристик формоутворюючих рухів реалізована можливість управління характеристиками роботи двигуна привода головного руху. Розроблена система також дає можливість встановлення жорсткого кінематичного зв'язку між обертальними та поступальними формоутворюючими рухами, що необхідно для обробки гвинтових поверхонь. Система керування також забезпечує необхідні елементи захисту обладнання і персоналу та передбачає загальмовування двигуна при вимкненні живлення і можливості встановлення обмежень на переміщення. Запропоновані рішення розширюють можливості взаємодії з іншими підсистемами технологічного обладнання, наприклад, механізмом затиску заготовок та інструментів у шпіндельних вузлах верстатів. Використання персонального комп'ютера як програматора контролера, що формує команди керування, а також доступність та поширеність елементної бази на основі якої розроблено представлену систему розширює можливості її виготовлення для використання у складі технологічного обладнання і навчально-дослідних стендів в умовах необхідності економії коштів.

Ключові слова: шпіндельний вузол, система керування, мехатронна система.

ПРИДАЛЬНИЙ Борис Іванович, кандидат технічних наук, доцент, Луцький національний технічний університет, e-mail: prydalnyu30@gmail.com.

ГЕЗУН Павло Миколайович, студент, Луцький національний технічний університет, e-mail: pavlogezun@gmail.com.

Borys PRYDALNYI, Ph. D. in Technical Science, Associate Professor, Lutsk National Technical University, e-mail: prydalnyu30@gmail.com.

Pavlo HEZUN, student, Lutsk National Technical University, e-mail: pavlogezun@gmail.com.

Shramenko N.^{1,2}, Shramenko V.^{1,3}, Solarov O.²
¹*Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture*
²*Sumy National Agrarian University*
³*V. N. Karazin Kharkiv National University*

ANALYSIS OF THE FREIGHT TRANSPORTATION MARKET OF UKRAINE

In conditions of the transport and logistics infrastructure development, as well as the formation of a rational structure of the car fleet and freight car fleet, it is necessary to analyze and take into account the actual demand for freight. Analysis of the dynamics of the volume of transported goods for 2015-2020 shows the stable position of different modes of transport in the freight market. According to the analysis of statistical data for 2016-2019, it was found out that road and rail transport is carried out mainly in domestic traffic. It is noted that in 2020 there is a certain decline in freight traffic for each mode of transport, because of the global pandemic COVID-19. It is determined that the low efficiency of the organization of cargo transportation from suppliers to consumers is associated with insufficient number and irrational use of rolling stock, insufficient development of the infrastructure of cargo terminals, irrational organization of the cargo transportation process. The interaction of modes of transport determines the possibility of forming optimal supply chains in both domestic and international traffic. On the ground of logistic principles the efficiency improvement of the organization of cargo transportation from suppliers to consumers is achieved by optimizing the movement of freight flows. The conducted research will contribute to the development of directions for optimizing the distribution and movement of cargo flows in the planning and organization of cargo transportation both domestically and internationally. At the same time, the formation of supply chains based on the interaction of road and rail transport minimizes transport costs and creates conditions for further development of supply chains and transport technology systems.

Keywords: freight transportation market, supply chains, types of transport, statistical data, volume of transportations, cargo flow.

INTRODUCTION

Production and agricultural enterprises, storage and terminal complexes (for example, elevators, seaports) are characterized by geographical disunity and are interconnected by transport. The final cost of the transported products, and hence its competitiveness in the commodity market, have an impact on the efficiency of the organization of freight transportation.

In the freight transportation market, it is necessary to create conditions for effective interaction of modes of transport in order to reduce logistics costs for the delivery of goods both domestically and internationally.

One of the ways to increase the efficiency of transportation is the rational distribution of cargo flows in the formation of supply chains from producers to consumers, taking into account the benefits of certain modes of transport.

ANALYSIS OF LITERATURE DATA AND FORMULATION OF THE PROBLEM

The market of transport services has a tendency to develop with an objective decrease in growth [1]. A significant factor influencing the development of transportation is the state of transport infrastructure [2] and the dynamics of investment in this field [3], which primarily depend on the volume of cargo transportation and the organization of cargo flows. Logistics connections, which are an important element of transport services [4], can reduce the cost of loading-unloading and warehousing operations, speed up the movement of material resources and optimize the use of transport and warehousing resources.

In modern conditions, insufficient attention is paid to the rational distribution of cargo flows in accordance with the capacity and discharge capabilities of loading and unloading points [5], which leads to significant costs of time and money, and thus affects the quality [6] and reliability of cargo flows.

The vast majority of cargo destined for the foreign market is transported through seaports [7, 8] and delivered to port terminals by rail and road.

One of the most important areas of improvement of the system of car flows organization is the dispatch routing [9]. However, the existing system of substantiation of routing does not fully take into account the peculiarities of cargo formation at loading points [10].

Therefore, it is advisable to analyse the dynamics of the volume of goods transported by mode of transport in Ukraine to determine areas for improving the efficiency of supply chains.

PURPOSE AND OBJECTIVES OF THE STUDY

The purpose of the study is to analyse the freight transportation market in Ukraine in order to determine areas for improving the efficiency of supply chains.

Research objectives:

- analysis of the dynamics of the volume of transported goods by mode of transport;
- analysis of the dynamics of freight traffic by land modes of transport by types of connections;
- identification of prerequisites for low efficiency of cargo transportation from suppliers to consumers;
- development of recommendations for improving the efficiency of cargo transportation.

RESEARCH RESULT

The research is based on statistical information, which contains data without taking into account the temporarily occupied territory of the Autonomous Republic of Crimea, the city of Sevastopol and part of the temporarily occupied territories in Donetsk and Luhansk regions [11].

Statistics on the volume of transported goods by mode of transport for 2015-2020 show that each of the modes of transport, taking into account the relevant competitive advantages, maintains its position in the freight transportation market during 2015-2020 (Fig. 1). It should be noted that in 2020 there is a certain decline in freight traffic for each type of transport, which may be due to the global pandemic COVID-19.

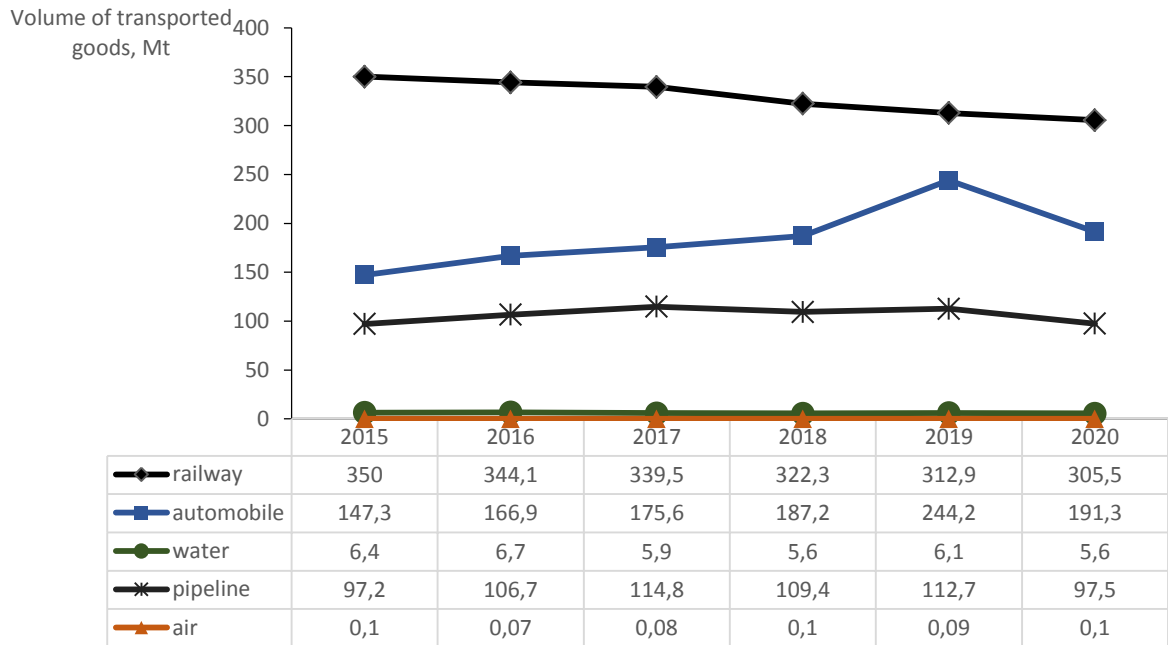


Fig. 1. Dynamics of volumes of transported cargoes by types of transport for 2015-2020
 Source: authors-based [11]

The largest volume of cargo in Ukraine is transported by rail (50.92%) and road (31.88%) transport (Fig. 2).

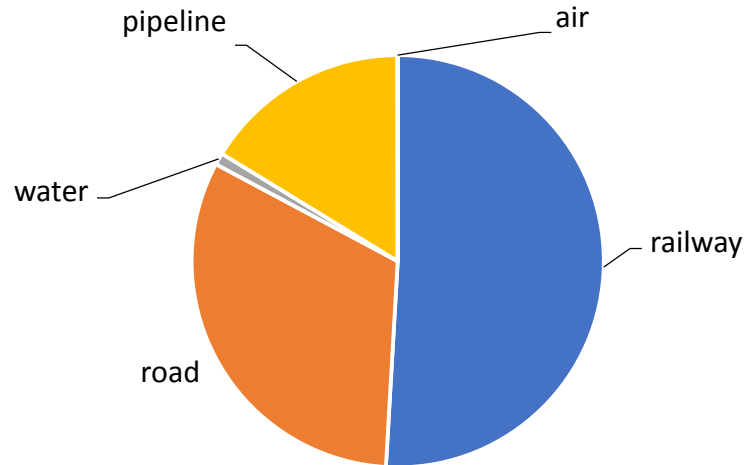


Fig. 2. Structure of cargo transportation volumes in Ukraine by types of transport in 2020, %
Source: authors-based [11]

As a result of the analysis of statistical data [11], it was determined that mainly mass cargo is transported by rail, and containerized cargo is transported by road.

Taking into account the freight turnover of railway transport for 2015-2020 [11], the average distance of transportation by rail is determined (Table 1). The obtained values of the average distance of transportation (540 – 580 km) indicate that freight transportation by rail in Ukraine is carried out mainly in domestic traffic. The vast majority of goods are transported by rail from large cargo-forming points (terminals, elevators, mining enterprises, mining and processing plants, metallurgical enterprises, etc.) to processing enterprises [9, 10], as well as to river and seaports with subsequent transshipment to ships [12].

Table 1. Technical and operational performance of railway transport for 2015-2020

Indicator	Freight turnover, million tkm	Volume of transported cargo, million tons	The average distance of transportation, km
2015	194321,6	350	555,2
2016	187215,6	344,1	544,1
2017	191914,1	339,5	565,3
2018	186344,1	322,3	578,2
2019	181844,7	312,9	581,2
2020	175587,2	305,5	574,8

Source: authors-based [11]

Analysis of freight traffic by road in Ukraine (excluding freight traffic by physical persons-enterprisers) for 2016-2019 [11] shows that international road freight has a negligible share in total road transport (Fig. 3).

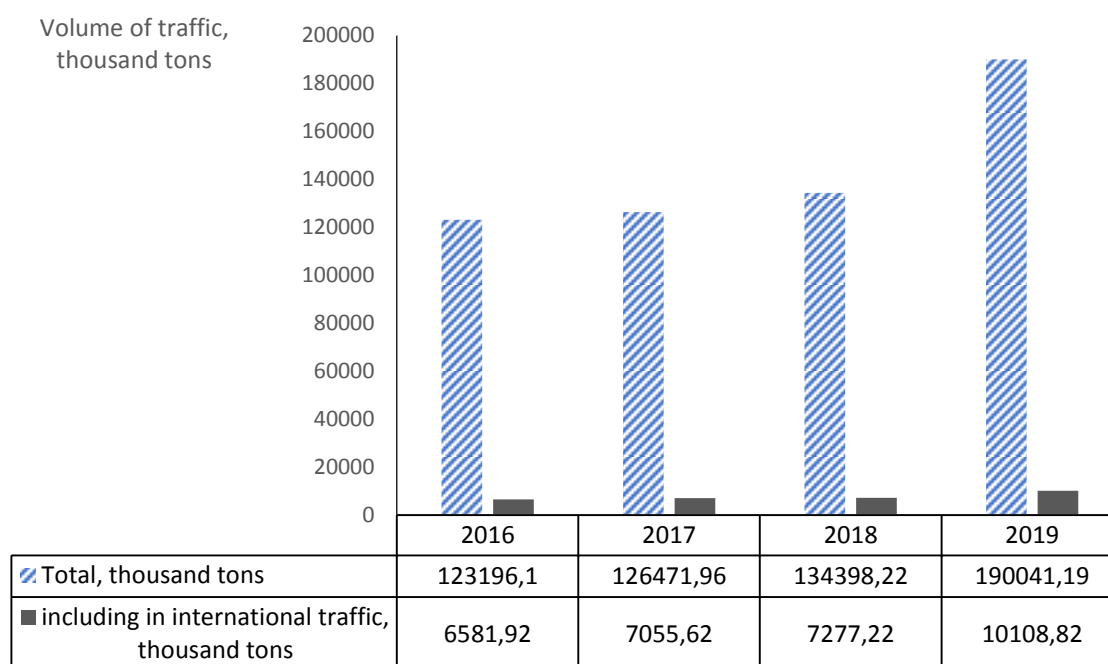


Fig. 3. Dynamics of cargo transportation by road for 2016-2019

Source: authors-based [11]

DISCUSSION OF THE RESULTS OF THE STUDY

The analysis of the conducted researches and practical experience testifies to low efficiency of the organization of transportations of cargoes from suppliers to consumers that is caused, first of all:

- insufficient number and irrational use of rolling stock of railway and road transport [13, 14];
- insufficient development of the infrastructure of cargo terminals and transshipment complexes at the junctions of different modes of transport [15, 16];

- irrational organization of the freight process.

–Existing problems of inefficient organization of cargo transportation can be partially eliminated by optimizing the movement of freight flows in the organization of transportation from suppliers to consumers:

- formation of rational transport-technological schemes of cargo delivery both in the international, and in domestic communication;

- formation of supply chains based on the interaction of modes of transport, which will help minimize the cost of delivery of goods;

- implementation of the choice of rational technological parameters in the organization of cargo flows in the logistics supply chain, including the formation of shipping routes.

- Therefore, the issue of effective organization of cargo flows in the supply of goods by any mode of transport on the basis of logistical principles needs special attention.

CONCLUSIONS

The analysis of the dynamics of the volume of transported goods by mode of transport shows that each of the modes of transport maintains its position in the freight market during 2015-2020 and is characterized by almost stable volumes of traffic. At the same time, the global pandemic COVID-19 has affected the reduction of freight traffic in 2020 for each mode of transport.

Analysis of the dynamics of freight traffic by land in Ukraine in 2015-2020 shows that road and rail transport is carried out mainly in domestic traffic, and international transport has a small share in the total traffic of these modes of transport.

It is determined that the low efficiency of the organization of cargo transportation from suppliers to consumers is associated with insufficient number and irrational use of rolling stock, insufficient development of the infrastructure of cargo terminals, irrational organization of the cargo transportation process.

The directions of optimization of traffic flow in the organization of transportation from supplier to consumer, which are aimed at forming supply chains based on the interaction of modes of transport and optimization of technological processes in planning and organizing transportation of goods in both international and domestic traffic.

REFERENCES

1. Popovych P. V. Analysis of the market of road transport of Ukraine [Text] / P. V. Popovych, O. S. Shevchuk, M. V. Babii, V. O. Dziura // Bulletin of Mechanical Engineering and Transport. – 2017. – № 2. – P. 124-130.
2. Didenko S. Assessment of transport and their impact on the economy: the industry as a driver of growth [Electronic resource] / Sergey Didenko. – 2019. Resource access mode: <https://ua.news/ua/otsinka-transportnyh-perevezen-ta-yih-vplyv-na-ekonomiku-galuz-yak-drajver-rostu/>.
3. Braikovska A. Research of the peculiarities of the formation of the market of transport services as an environment for the functioning of transport enterprises / A. Braikovska // Economist. - 2012. - № 9. - P. 50-54. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/econ_2012_9_14.
4. Vovk O. M. Strategic directions of market development of transport services in Ukraine / O. M. Vovk, I. M. Averichev // Economy. Management. Business. - 2015. - № 2. - P. 131-135. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecmebi_2015_2_24.
5. Shramenko N. Yu. Distribution of freight traffic between the terminal warehouses using an information automated decision support system / N. Yu. Shramenko // Improving the organization of traffic and passenger and cargo transportation: Collection of scientific works. - Minsk: BNTU, 2015 – P. 265–272.
6. Shramenko N. Yu. Improving the quality of logistics service of the cargo terminal / Shramenko N. Yu. // Eastern European Journal of Advanced Technologies: Collection of scientific works. – 2010. – Iss. 1/4(43). – P. 55 – 57.
7. Shramenko, N., Muzylyov, D., Shramenko, V., 2020. Model for choosing rational technology of containers transshipment in multimodal cargo delivery systems. In: 6th International Conference, “New technologies, development and application“ NT-2020, Sarajevo, pp. 621-629. doi: 10.1007/978-3-030-46817-0_72
8. Shramenko, N., Muzylyov, D., Shramenko, V., 2020. Rationalization of Grain Cargoes Transshipment in Containers at Port Terminals: Technology Analysis and Mathematical Formalization. In: Advanced Manufacturing Processes. InterPartner 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham, 2021, pp. 96-105.
9. Shramenko, N. Y. and Shramenko, V. O., 2018. Mathematical model of the logistics chain for the delivery of bulk cargo by rail transport. Scientific Bulletin of National Mining University, Vol. 5 (167), pp. 136-141. doi: 10.29202/nvngu/2018-5/15
10. Shramenko, N. Y. and Shramenko, V. O., 2019. Optimization of technological specifications and methodology of estimating the efficiency of the bulk cargoes delivery process. Scientific Bulletin of National Mining University, Vol. 3, pp. 146-151. doi: 10.29202/nvngu/2019-3/15
11. Official site. State Statistics Service of Ukraine. Transport [Electronic resource]. - Access mode: www.ukrstat.gov.ua.
12. Shramenko N., Muzylyov D. Forecasting of Overloading Volumes in Transport Systems Based on the Fuzzy-Neural Model. In: Ivanov V. et al. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. (Springer, Cham), (2020) - pp. 311-320.
13. Shramenko N., Muzylyov D., Manukian A. Analysis of the grain market in Ukraine and the directions of the development of grain cargo transportation logistics // **Technical service of agro-industrial, forest and transport complexes** (Technical service of agriculture, forestry and transport). — X. : ХНТУСГ, 2019. — Вип. 18. — С.70-79.
14. Shramenko N. Yu. Model of choice of rational loadability of cars at the organization of transportations of small-party freights / N. Yu. Shramenko // Bulletin of KhNADU: Collection of scientific works. — Kh. : KhNADU, 2015. — Iss. 68. — P. 113—117.
15. Shramenko N. Yu. Modern problems of functioning and main directions of modernization of cargo terminal complexes / N. Yu. Shramenko, D. M. Kopytkov // Technological complexes: scientific journal. - Lutsk: Lutsk NTU, 2015. — № 1 (11) — P. 82-86.
16. Shramenko N. Yu. Automation and information technologies as the basis of effective functioning of cargo terminal complexes / N. Yu. Shramenko // Modern technologies in machine building and transport: scientific journal. - Lutsk: Lutsk NTU, 2015. — № 2(4) — P. 170—175.

Шраменко Н., Шраменко В., Соларьов О. Аналіз ринку вантажних перевезень в Україні. В умовах розвитку транспортно-логістичної інфраструктури, а також формування раціональної структури парку автомобілів і парку вантажних вагонів необхідно аналізувати і враховувати фактичний попит на перевезення вантажів. Аналіз динаміки обсягу перевезених вантажів за 2015-

2020 роки показує стійкі позиції різних видів транспорту на ринку вантажних перевезень. На основі аналізу статистичних даних за 2016-2019 роки було встановлено, що автомобільні та залізничні перевезення здійснюються переважно у внутрішньому сполученні. Відзначено, що у 2020 році спостерігається певний спад обсягів вантажних перевезень за кожним з видів транспорту, що може бути обумовлено світовою пандемією COVID-19. Визначено, що низька ефективності організації перевезень вантажів від постачальників до споживачів пов'язана з недостатньою кількістю та нераціональним використанням рухомого складу, недостатнім розвитком інфраструктури вантажних терміналів, нераціональною організацією процесу вантажних перевезень. Взаємодія видів транспорту обумовлює можливість формування оптимальних ланцюгів постачань як у внутрішньому, так і в міжнародному сполученнях. Підвищення ефективності організації перевезень вантажів від постачальників до споживачів досягається шляхом оптимізації руху вантажопотоків на основі логістичних принципів. Проведені дослідження сприятимуть розробці напрямків оптимізації розподілу та руху вантажопотоків при плануванні та організації перевезень вантажів як у внутрішньому, так і у міжнародному сполученні. При цьому, формування ланцюгів постачання на основі взаємодії автомобільного та залізничного транспорту дозволяє мінімізувати транспортні витрати та створює передумови для подальшого розвитку ланцюгів постачання та транспортно-технологічних систем.

Ключові слова: ринок вантажних перевезень, ланцюги постачань, види транспорту, статистичні дані, обсяг перевезень, вантажопотік.

ШРАМЕНКО Наталя Юріївна, доктор технічних наук, професор, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П.Василенка, Сумський національний аграрний університет, e-mail: nshramenko@gmail.com.

ШРАМЕНКО Владислав Олександрович, студент, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П.Василенка.

СОЛАРЬОВ Олександр Олексійович, кандидат технічних наук, доцент, Сумський національний аграрний університет, e-mail: lmcsan@i.ua.

Natalya *SHRAMENKO*, D.Eng.Sc., professor, Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture; Sumy National Agrarian University, e-mail: nshramenko@gmail.com.

Vladyslav *SHRAMENKO*, student, V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Kharkiv.

Oleksandr *SOLAROV*, C. Eng.Sc., Associate Professor, Sumy National Agrarian University, e-mail: lmcsan@i.ua.

DOI 10.36910/automash.v1i16.505

Гандзюк М.О., Гандзюк Д.М.
*Луцький національний технічний університет***ВПЛИВ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ ТА КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ
МАЛОТОНАЖНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПОЇЗДІВ НА МІЦНІСТЬ І НАДІЙНІСТЬ РАМ
ОДНОВІСНИХ ПРИЧЕПІВ**

Розвиток малого бізнесу і підприємництва в країні призвели до збільшення потреби в причепах, які використовуються разом з легковими автомобілями і автомобілями малої вантажопідйомності. Вказана обставина ставить завдання збільшення обсягів виробництва причіпної техніки даного виду, скорочення термінів проектування і початку виробництва нових моделей. Разом з цим несуча конструкція кожного виробу повинна володіти високою міцністю, довговічністю і забезпечувати безпечний рух малотонажного автомобільного поїзда в цілому.

Особливістю несучої конструкції одновісного причепа є наявність дишла, яке сприймає частину ваги причіпної ланки з вантажем, що перевозиться, і забезпечує зв'язок між автомобілем-тягачем і причепом. У зв'язку з цим, до дишла причепа висуваються високі вимоги по міцності і довговічності. Відмінність конструкції дишла одновісного причепа від рами транспортних машин великої вантажопідйомності не дозволяє використовувати традиційні методи і способи підвищення міцності і довговічності даного елемента, які неминуче призведуть до збільшення розмірів дишла, його маси і вартості виготовлення, що абсолютно неприпустимо в умовах масового виробництва.

Викладені вище обставини вказують на актуальність методів оптимізації масових, геометричних параметрів та пружних характеристик підвіски одновісних причепів під типові умови експлуатації малотонажних автомобільних поїздів, що враховують особливості конструкції дишла.

Ключові слова: малотонажний автопоїзд, причіпна ланка, конструктивні параметри, несуча конструкція, дишло, навантажувальні режими, міцність, довговічність.

ВСТУП

Необхідні міцність і довговічність дишла можуть бути забезпечені шляхом оптимізації масових, геометричних параметрів та пружних характеристик підвіски одновісного причепа малої вантажопідйомності.

Істотний вплив на міцність і довговічність дишла надають навантажувальні режими, які визначаються рівністю дороги і швидкістю руху малотонажного автомобільного поїзда.

Накопичений досвід створення рам показує, що необхідні міцність і довговічність можуть бути досягнуті оптимізацією конструкції транспортної машини під типові умови експлуатації. Таким чином, рішення науково-технічної задачі створення високоміцної і довговічної несучої конструкції одновісних причепів неможливо без урахування типових експлуатаційних режимів малотонажних автомобільних поїздів.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Питанням дослідження міцності, довговічності і надійності несучих систем транспортних машин присвячені роботи багатьох вітчизняних і зарубіжних вчених: М.В. Аврамова, Т.В. Астахова, Альдайуб Зіяд, В.В. Болотіна, А.П. Бондаренко, І.Д. Галімянова, Б.В. Гольда, М.І. Горбацевич, Л.А. Жогова, В.Н. Зузова, А.А. Іванова, В.П. Когаєва, В.А. Колокольцева, В.П. Копрових, Р.В. Кугеля, С.Ю. Лушнікова, В.К. Магомедова, В.П. Макєєва, А.П. Мельчакова, Ж.Ю. Моїсеєнко, Л.М. Орлова, П.Д. Павленко, А.І. Панова, Ю.А. Полякова, В.А., В.В. Сафонова, Світлицького, С.В. Серенсена, К.Е. Сібгатуліна, А.Е. Січко, Ф.А. Фараджієва, В.С. Фільзенштейна, L.F. Coffina, S.S. Mansona, J. Morrow, H.J. Veermanna, D. Fucha, H. Oehlschlaegera.

Дослідження надійності і міцності напівпричепів ТМЗ 879, показали, що 92,3% напівпричепів мають втомні тріщини основи платформи, відмови рами через втомлювальні тріщини нечасті (3,5%). Експериментально було встановлено, що найбільші за величиною напруження ($\sigma=315\text{кг/см}^2$) виникали на ділянці дороги з обробленою поверхнею. Застосування додаткових опор в основі вантажної платформи дозволило зменшити величину напружень в небезпечному перерізі платформи в 1,6 рази і підвищити її ресурс з 38,95 тис. км до 122 тис. км.

При вирішенні проблеми підвищення надійності автомобільного поїзда в умовах гірської місцевості встановлено, що найменш надійними є зчіпний пристрій і зварні з'єднання рами напівпричепа. Напрацювання на відмову в цілому по напівпричепу нижче на 25,33%, для деяких вузлів - на 10,45%, в порівнянні з напівпричепом, експлуатація якого здійснюється в умовах рівнини.

Експериментальні дослідження Горбацевич М.І. [17] показали наявність гармонійної складової навантаження деталей ходової частини тягача причіпного автомобільного поїзда, частота якої визначається типом дороги. Переважною в спектрі навантажень балки ведучого моста для асфальтобетонного покриття є частота 2,5 Гц, для бруківки - 2,0 Гц. Спектральним аналізом встановлено, що для підресорених частин автомобіля характерні коливання частотою від 1,5 до 4,5 Гц, непідресорених частин - $7 \div 10$ Гц [17]. Узагальнюючи результати аналітичного і експериментального [17] досліджень, слід зробити висновок, що несуча конструкція будь-якої транспортної машини піддається навантаженням низької частоти.

Дослідження міцності рам причіпних ланок великої вантажопідйомності, як закритих просторових конструкцій, показали, що небезпечним навантажувальним режимом є скручуючий момент, що виникає при русі через нерівності під кутом. Найбільш навантаженими елементами несучої конструкції причепа великої вантажопідйомності є зчіпний шворнінь і ділянка з кронштейнами підвіски.

Характерною несправністю рами одновісних причепів вантажних поїздів є втомлювальна тріщина. Основною зоною локалізації тріщин є дишло, на яке припадає 93% їх загальної кількості. Поверхня тріщин має обриси розриву. Аналіз напруженого стану показав, що причиною виникнення тріщин є недостатня площа поперечного перерізу, форма якого не оптимальна і сприяє зниженню площі перетину.

Експериментальними дослідженнями міцності несучої системи одновісного причепа малої вантажопідйомності встановлено, що:

- закриті борти дозволяють на 20% підвищити жорсткість несучої системи одновісного причепа;
- жорстка фіксація бортів в замкових пристроях істотно знижує рівень максимальних напружень в основі платформи до 40%;
- небезпечним режимом руху причепа з точки зору виникнення максимальних напружень в поперечинах основи є рух на межі бокового ковзання коліс при максимальному значенні коефіцієнта зчеплення. Це призводить до зростання напружень в поперечинах основи в 1,5 ... 2 рази;
- застосування нероз'ємної установки крил бортів за допомогою зварювання незначною мірою зменшує величину напружень в панелях бортів (в межах 10%).

Орлов Л.Н. [7] на основі результатів експерименту рекомендує: знизити металоємність конструкції причепа без втрати міцності заміною профілю стійок бортів, а також перетину (60×40) елементів основи платформи на менший закритий профіль з розміром 40×28. Довговічність важелів підвіски причепа може бути збільшена посиленням труби в місцях концентрації напружень і збільшенням діаметра осі коліс з боку стопорної втулки. Однак питання міцності і довговічності дишла одновісного причепа малої вантажопідйомності не висвітлені в його роботі [7].

Окремо слід відзначити роботи, спрямовані на дослідження навантажувальних режимів зчіпних пристроїв і трансмісій автомобільних поїздів, тому що вони визначають навантажувальні режими зчіпних шворнів, плит, петель і дишел. Результати дослідження показують, що попередня деформація пружного елемента зчіпного пристрою практично не впливає на навантажувальні режими зчіпного гака. Динамічні навантаження зчіпного пристрою визначаються жорсткістю пружного елемента і величиною зазору. Застосування безззорного зчіпного пристрою дозволить знизити динамічні навантаження трансмісії тягача на 11-18%.

Січко А.Є. [14] показані причини зростання навантаженості трансмісії тягача при русі автомобільного поїзда, які пов'язані зі збільшенням величини власних частот трансмісії. Величину поздовжнього зусилля в зчіпному пристрої визначають крутний момент, що передається трансмісією, рівність дороги і швидкість руху автомобільного поїзда. Разом з тим вплив швидкості руху автомобільного поїзда на діапазон зусиль дещо менше.

На підставі проведеного аналізу можна зробити висновок, що:

- несуча система причіпної техніки сприймає низькочастотне навантаження. Дана обставина має бути врахована при оцінці міцності і довговічності несучої системи транспортної машини;
- основними причинами відмов причіпної техніки є втомні тріщини рам і вантажних платформ;
- найбільш навантаженими є зони розташування зчіпних шворнів, плит, зчіпних петель, дишел і лонжеронів в зоні розташування кронштейнів кріплення підвіски. Таким чином, при проведенні проектних розрахунків, необхідно в першу чергу звернути увагу на найбільш навантажені зони несучої системи причіпної ланки. Забезпечення міцності і довговічності дишел несучих систем причіпних ланок малотонажних автопоїздів є важливим завданням підвищення безпеки руху

автомобільного поїзда.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є аналіз впливу експлуатаційних факторів та конструктивних параметрів, що впливають на міцність і довговічність несучих систем одновісних причепів малотонажних автопоїздів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В процесі експлуатації одновісних причепів малої вантажопідйомності виникають руйнування і пластичні деформації елементів несучих систем (рисунок 1.1 - 1.6). Як показує досвід експлуатації, основними місцями локалізації тріщин є лонжерони, поперечини, дишло і деталі підвісок. Небезпечним перетином дишла є зона кріплення до рами причепа, в якій зафіксовано часте виникнення тріщин.



Рисунок 1.1 - Руйнування лонжерона рами одновісного причепа



Рисунок 1.2 - Руйнування просторової рами одновісного причепа



Рисунок 1.3 - Руйнування поздовжнього важеля підвіски одновісного причепа



Рисунок 1.4 - Руйнування дишла одновісного причепа в зоні з'єднання з рамою



Рисунок 1.5 - Посилення лонжерона рами одновісного причепа



Рисунок 1.6 - Посилення дишла одновісного причепа

У загальному випадку оцінка втомлювальної міцності і довговічності рами транспортної машини проводиться в три етапи: на першому виконується розрахунок показників плавності ходу транспортної машини як абсолютно твердого тіла, на другому - аналіз напружено-деформованого

стану з урахуванням пружних деформацій несучої системи транспортної машини, на третьому - безпосередньо визначаються ресурс і довговічність рами.

У роботах деяких авторів [6] при аналізі плавності ходу транспортної машини використовувався імітаційний метод, що включає побудову n-масових динамічних моделей і проведення розрахункових експериментів. Рух транспортної машини і її частин описується системою диференціальних рівнянь виду:

$$[A] \cdot \{\ddot{U}\} + [B] \cdot \{\dot{U}\} + [C] \cdot \{U\} = \sum \{f\}_i, \quad (1.1)$$

де [A] - матриця інерційних коефіцієнтів;
 [B] - матриця коефіцієнтів демпфірування;
 [C] - матриця жорсткісних коефіцієнтів;
 {U} - вектор-стовпець невідомих;
 {f} - вектор-стовпець збурень від і-ого фактора.

Перевагою даного методу є можливість дослідження будь-яких динамічних моделей без обмеження числа ступенів свободи.

Метод спектрального аналізу при дослідженні плавності ходу транспортної машини використовувався в роботі [4] та ін.. Суть методу полягає в поданні лінійної динамічної моделі машини системою автоматичного регулювання, для якої визначена амплітудно-частотна характеристика і, тим самим, встановлено зв'язок між входом коливальної системи і її виходом. У цьому випадку рух транспортної машини описується системою лінійних рівнянь (1.2):

$$\begin{cases} ([C] - w^2 \cdot [A]) \cdot \{U_1\}_i + w \cdot [B] \cdot \{U_2\}_i = \{f_0\}_i \\ -w \cdot [B] \cdot \{U_1\}_i + ([C] - w^2 \cdot [A]) \cdot \{U_2\}_i = 0 \end{cases}, \quad (1.2)$$

де [A] - матриця інерційних коефіцієнтів;
 [B] - матриця коефіцієнтів демпфірування;
 [C] - матриця жорсткісних коефіцієнтів;
 {U} - вектор-стовпець невідомих;
 {f} - вектор-стовпець збурень від і-ого фактора.

У ряді робіт плавність ходу транспортних машин розглядалася з застосуванням детермінованих і стохастичних моделей поздовжнього профілю дороги. В роботі [9] при оцінці напружено-деформованого стану рами вантажного автомобіля визначалися кути крену підресорених мас при кососиметричних навантаженнях.

Розрахунок плавності ходу вантажного одновісного причепа при нерегулярному впливі автором [13] ґрунтується на припущенні абсолютно жорсткої і беззazorної зчіпки з автомобілем-тягачем. Дане припущення не відповідає дійсності, оскільки дослідженнями [14] показано, що в зчіпному пристрої типу «гак-петля» нових автомобілів вже присутній зазор 10-12мм. В процесі експлуатації його величина має тенденцію тільки до збільшення і може досягати 25-40 мм [14]. Ця обставина робить негативний вплив на плавність ходу автомобільного поїзда, навантаженість деталей його ходової частини і несучої системи. Отже, наявність зазору в зчіпному пристрої повинно бути враховано при оцінці плавності ходу.

Математична модель зчіпного пристрою типу «гак-петля», що враховує зазор, запропонована в роботі [16]. Вирішуючи аналітично систему (1.1) відносно виникнувшої в процесі руху автомобільного поїзда деформації S пружного елемента, Щукінін М.М. отримана залежність (1.3) поздовжньої сили в зчіпному гаку P_{Γ} від компонувальних і масових параметрів ланок і характеристик зчіпного пристрою.

$$P_2 = P \cdot \left[1 + \sqrt{1 + \left(\frac{c \cdot V_{0\varepsilon}}{P \cdot \beta} \right)^2} \cdot \sin(\beta \cdot t + \varepsilon) \right], \quad (1.3)$$

де $P = [m \cdot P_a - (1 - m) \cdot P_n + m \cdot B \cdot (P_a + P_n) + B \cdot m \cdot f \cdot (G_a + G_n)] \cdot \left(\frac{1}{1 - D}\right) \cdot c$ - коефіцієнт

жорсткості пружного елемента зчіпного пристрою;

ε - вихідна фаза навантаження;

β - кутова частота власних відносних коливань ланок автомобільного поїзда;

$V_{0\varepsilon}$ - відносна швидкість ланок автомобільного поїзда до моменту вибору зазору в зчіпному пристрої автомобільного поїзда.

Автор [16] при побудові математичної моделі обмежується лише лінійною характеристикою пружного елемента зчіпного пристрою типу «гак-петля». Однак, експериментальні дані показують, що попереднє стиснення пружного елемента призводить до суттєвої нелінійності характеристики зчіпного пристрою, яка повинна бути врахована при проведенні розрахунків.

Моделюванню роботи зчіпного пристрою з урахуванням зазору і попереднього стиснення пружного елемента при спектральному аналізі плавності ходу і навантаженості деталей автомобільних поїздів присвячено працю [14]. Січко А.Є. [14] визначена передавальна функція крутного моменту трансмісії автомобіля-тягача від динамічного впливу на причіп методом статистичної лінеаризації нелінійності. Вихідна функція зчіпного пристрою з урахуванням зазору і стиснення пружного елемента дорівнює:

$$f(y) = K_0 \cdot m_x + K_{01} \cdot X^c, \quad (1.4)$$

$$K_{01} = tg \alpha \cdot \left[1 - 2 \cdot \Phi \left(\frac{\varepsilon}{\sqrt{D_x}} \right) \right] + \frac{2 \cdot P_0}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot D_x}} \cdot \exp \left\{ -\frac{\varepsilon^2}{2 \cdot D_x} \right\}^c, \quad (1.5)$$

де K_0 - статистичний коефіцієнт посилення по математичному очікуванню m_x ;

X^C - центрована випадкова складова вхідного процесу;

α - кут нахилу пружно] характеристики тягово-зчіпного пристрою;

$\Phi(\cdot)$ - інтеграл ймовірності;

ε - половина зазору тягово-зчіпного пристрою;

D_x - дисперсія тягового пристрою;

P_0 - зусилля попереднього стиснення тягово-зчіпного пристрою;

K_{01} - статичний коефіцієнт посилення по випадковій складовій.

Слід зазначити, що автором [14] враховувалися тільки вертикальні коливання підресорених і непідресорених частин автомобільного поїзда.

Дослідженнями [2, 12] встановлено, що нерівності дороги збуджують не тільки вертикальні коливання, але і горизонтальні. Таким чином, використання моделі [14] при проведенні аналізу плавності ходу і розрахунків на міцність обмежена.

Міцність і довговічність несучої системи транспортної машини визначається внутрішніми силовими факторами, що виникають в матеріалі елементів. На стадії проектування виникає необхідність в отриманні детальної інформації про напружено-деформований стан. Тому після визначення зовнішніх сил визначаються внутрішні силові фактори, методи розрахунку яких вибираються дослідниками в залежності від типу розв'язуваної задачі.

Проскураков В.Б. [9] розрахунок на міцність лонжеронів рами, навантаженої згинальним моментом, пропонує вести методом початкових параметрів. Зусилля, що передаються від підвісок, є зосередженими силами, вага рами і надбудови - розподіленим навантаженням. Згин рами описувався диференціальним рівнянням четвертого порядку, аналітичне рішення якого отримано у вигляді системи рівнянь:

$$\begin{aligned}
 f_y(z) &= f_y(0) + f'_y(0)z - \frac{M_x(0)}{2EJ_x} \cdot z^2 - \frac{Q_y(0)}{6EJ_x} \cdot z^3 - \frac{M_x(0)}{2EJ_x} \cdot (z-t)^2 - \frac{Q_y(0)}{6EJ_x} \cdot (z-t)^3 \\
 f'_y(z) &= f'_y(0) - \frac{M_x(0)}{EJ_x} \cdot z - \frac{Q_y(0)}{2EJ_x} \cdot z^2 - \frac{M_x(t)}{EJ_x} \cdot (z-t) - \frac{Q_y(t)}{2EJ_x} \cdot (z-t)^2 \\
 M_x(z) &= M_x(0) + Q_y(0) \cdot z + M_x(t) + Q_y(t) \cdot (z-t) \\
 Q_y(z) &= Q_y(0) + Q_y(t)
 \end{aligned} \tag{1.6}$$

де M_x - згинальний момент;

Q_y - діюче зусилля;

E - модуль пружності матеріалу;

x - момент інерції поперечного перерізу відносно осі ox ;

f_y - прогин несучого елемента у напрямку осі oy ;

z, t - координати перерізу несучого елемента.

Даний підхід дозволив автору визначити для рами вантажного автомобіля Урал-375 найбільш важкий режим навантаження і небезпечний переріз лонжеронів. При цьому місцеві ефекти від зміни висоти лонжеронів, з'єднань лонжеронів і поперечин (вузлів) не враховувалися. Між тим дослідження показали, що довговічність рами і корпусу транспортної машини лімітується міцністю вузлових зон, а саме міцністю з'єднання лонжеронів з поперечною. Тому при проектуванні несучої системи транспортної машини розрахунки, виконані за методикою [9], є недостатніми і повинні бути доповнені оцінкою напружено-деформованого стану вузлових зон.

Задовільні результати при аналізі напружено-деформованого стану можна отримати за допомогою кінцево-елементної розрахункової схеми, що складається з пружних пластинок. Дана методика дозволяє досліджувати тіла складної геометричної форми з нерегулярними граничними умовами. Однак, виникає необхідність проведення великої кількості обчислень, що робить метод кінцевих елементів малопридатним на початкових стадіях проектування, коли потрібно виконати структурний і параметричний аналіз конструкції несучої системи.

В даний час набув активного розвитку метод скінченних елементів для аналізу напружено-деформованого стану на початкових стадіях проектування. Дослідники рекомендують при аналізі конструкції використовувати моделі з малим числом кінцевих елементів без істотної втрати точності розрахунків. Деякі автори вважають доцільними досліджувати напружено-деформований стан рами змішаними схемами, в яких несучий елемент між вузлами моделюється однорідним тонкостінним стрижнем, вузол - тонкостінними пластинками.

Аналіз розглянутих методик розрахунку внутрішніх силових факторів дозволяє зробити висновок про те, що на початкових етапах проектування при дослідженні загального напруженого і деформованого стану можна використовувати стрижневі моделі несучих систем, на завершальних етапах необхідно застосовувати метод кінцевих елементів.

Зовнішні силові фактори в вертикальній площині визначалися для випадку резонансу, поздовжнє зусилля - для нечистого удару. Розподіл внутрішніх силових факторів дишла і лонжеронів рами досліджувалися з допомогою плоскої моделі. Навантаження лонжеронів рами скручуючими моментами, що передаються від поперечок, не враховувалось. Напруження в довільному поперечному перерізі дишла розраховувалися:

$$\sigma = \pm \frac{M_{зг}}{W} \pm \frac{A}{F}, \tag{1.7}$$

де $M_{зг}$ - згинальний момент;

A - зусилля розтягу;

W - момент опору січення;

F - площа поперечного січення.

Проте запропонована методика має ряд недоліків. По-перше, при математичному моделюванні руху автомобільного поїзда наявність пружного елемента враховується тільки динамічним коефіцієнтом для нечистого удару, пружна характеристика зчіпного пристрою і коливальний характер поздовжньої сили P_r не враховуються. По-друге, зусилля в зчіпному пристрої і реакції опорної поверхні носять екстремальний характер. Такий підхід дозволяє оцінити міцність дишла в

разі одиничних імпульсних навантажень, що призводять до динамічного руйнування, і не дозволяє провести оцінку втомлювальної міцності. Методика розрахунку дишла одновісного причепа легкового автомобіля на міцність встановлена ДСТУ ISO 7641-1-93 [3]. Відповідно до стандарту, конструкція дишла одновісного причепа до легкового автомобіля вважається міцною, якщо виконується така умова:

$$\sigma_{розр} \leq [\sigma_{доп}] = \min \begin{cases} 0,6\sigma_b \\ 0,8\sigma_T \end{cases}, \quad (1.8)$$

де $\sigma_{розр}$ - розрахункова величина напружень в перерізі дишла;
 $\sigma_{доп}$ - гранично допустима величина напружень;
 σ_b - межа міцності;
 σ_T - межа текучості.

Розрахунок лівої частини нерівності ведеться при дії на дишло максимального статичного згинального моменту $M_{зг}$, величина якого для причепа, не оснащеного інерційною гальмовою системою, і параметри дишла відповідають умові $e/l < 0,15$, визначається виразом:

$$M_{зг} = 0,24 \cdot P \cdot g \cdot l_x, \quad (1.9)$$

де $M_{зг}$ - згинальний момент;
 P - повна маса одновісного причепа;
 g - прискорення вільного падіння;
 l_x - координата небезпечного поперечного перерізу дишла.

В основному методики спрямовані на вдосконалення якої-небудь однієї системи автомобіля і не враховують вплив обраних параметрів на інші показники експлуатаційних якостей автомобільної техніки.

При оптимізації параметрів інерційної гальмової системи одновісного причепа малотонажного автомобільного поїзда може використовуватись функція бажаності Харрінгтона, яка встановлює зв'язок між суб'єктивними оцінками дослідника і об'єктивними чисельними показниками. В якості математичних моделей, що описують залежність критеріїв оптимальності від експлуатаційних і конструктивних параметрів, використовуються рівняння регресії. Узагальнена функція бажаності визначається за допомогою середньгеометричного значення частинних функцій бажаності:

$$D = \sqrt[n]{d_1 \cdot d_2 \cdot \dots \cdot d_n} \quad (1.10)$$

де D - узагальнена функція бажаності;
 d_1, d_2, \dots, d_n - частинні функції бажаності (шкали бажаності)
 $d_i = \exp(-\exp(-y_i'))$;
 n - кількість частинних функцій бажаності;
 $y_i' = b_0 + b_1 \cdot y_i$ - перетворення оціночного показника.

Однак, даний підхід є спрямованим пошуком рішення оптимізаційної задачі, використання даного методу обмежене і малоефективне.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

У науковій практиці використовують безліч математичних моделей, що дозволяють з високою точністю виконувати оцінку впливу експлуатаційних факторів та конструктивних параметрів транспортних машин великої вантажопідйомності і напружено-деформованого стану їх несучих конструкцій. Однак, розроблені математичні моделі не придатні для дослідження експлуатаційних властивостей малотонажних автомобільних поїздів, так як не враховують характерних особливостей, до яких відносяться розташування точки зчипки за межами бази автомобіля-тягача і розподіл частини маси причіпної ланки на автомобіль-тягач. Моделі МАП, що дозволяють досліджувати навантаження несучої конструкції причіпної ланки, на сучасному етапі науково-технічного прогресу відсутні. Це створює певні труднощі при оцінці втомної міцності конструкції причіпної техніки малої вантажопідйомності і вимагає якнайшвидшого її наукового вирішення.

ВИСНОВОК

В даний час при проектуванні раціональних конструкцій транспортних машин поширення набули методи багатокритеріальної параметричної оптимізації. Даний тип завдань ефективно

вирішується ітераційним алгоритмами, тобто зондуванням простору значень параметрів і визначенням для даних точок показників, які оцінюють оптимальність конструкції. Використання методів даного класу дозволяє вирішувати широкий спектр оптимізаційних задач, однак вимагає великої кількості обчислень і, відповідно, тривалості.

Порушення справного стану несучих систем транспортних машин відбувається через втомлювальне руйнування її елементів. Звідси випливає, що крім розрахунку на міцність несучої системи при одиничному імпульсному впливі слід виконувати аналіз напружено-деформованого стану в разі дії змінних навантажень. Це справедливо для несучих систем одновісних причепів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Антонов Д.А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.
2. Балакина, Е.В. Система «колесо-подвеска» и устойчивость движения автомобиля в режиме торможения: Монография / Е.В. Балакина, А.А. Ревин, А.А. Юрчевский, Н.Г. Кузнецов. – ВолгГТУ. – Волгоград, 2004. – 306 с.
3. Засоби транспортні дорожні. Каравани и легкі причепи. Розрахунок механічної міцності сталевих дисків: ДСТУ ISO 7641-1-93. – [чинний від 2009-02-16]. – Офіц. вид. – К.: Держстандарт України, 2009. – 9 с. – (Державний стандарт України).
4. Динамика длиннобазных автопоездов / В.М. Высоцкий [и др.]; под ред. В.М. Высоцкого. – Мн.: изд-во «Наука и техника». – 1987. – 204 с.
5. Динамика системы дорога - шина - автомобиль - водитель : монография / А.А. Хачатуров [и др.]; под ред. А.А. Хачатурова. – М.: Машиностроение. – 1976. – 535 с.
6. Исследование влияние ровности дорожного покрытия на плавность хода и колебания автомобиля / В.Г. Герасименко, Т.В. Москаленко, А.Г. Доля, И.В. Грицук // Вестник Донецкого института автомобильного транспорта. – Донецк, 2009. – № 2. – С.10-13.
7. Орлов, Л.Н. Комплексная оценка безопасности и несущей способности кабин, кузовов автомобилей, автобусов: дис. докт. техн. наук / Л.Н. Орлов. – Нижний Новгород, 2001. – 406 с.
8. Петрушов, В.А. Сопротивление качению автомобилей и автопоездов / В.А. Петрушов, С.А. Шуклин, В.В. Московкин. – М.: Машиностроение, 1975. – 225 с.
9. Проскуряков, В.Б. Динамика и прочность рам и корпусов транспортных машин : монография / В.Б. Проскуряков, В.С. Прозоров. – Л.: «Машиностроение». – 1972. – 232 с.
10. Прочность и долговечность автомобиля : учеб. пособие / Б.В. Гольд [и др.]; под ред. Б.В. Гольда. – М.: Машиностроение. – 1974. – 328 с.
11. Ревин, С.А. Повышение тормозных свойств малотоннажных автопоездов с АБС: автореферат дис. канд. техн. наук / С.А. Ревин. – Волгоград, 2003. – 20 с.
12. Ротенберг, Р.В. Подвеска автомобиля : монография / Р.В. Ротенберг. – изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение. – 1972. – 392 с.
13. Светлицкий, В.А. Случайные колебания механических систем / В.А. Светлицкий, С.Д. Пономарев, Н.А. Алфутов, В.Л. Бидерман, В.П. Когаев, Н.Н. Малинин. – М.: «Машиностроение». – 1976. – 216 с.
14. Сичко, А.Е. Нагруженность трансмиссии и тягово-сцепного устройства автомобиля типа 4×2 при движении с прицепом: дис. канд. техн. наук / А.Е. Сичко. – Киев, 1987. – 217 с.
15. Тарасик, В.П. Теория движения автомобиля : учеб. для вузов / В.П. Тарасик. – СПб.: БХВ-Петербург. – 2006. – 478 с.
16. Щукин, М.М. Сцепные устройства автомобилей и тягачей. Конструкция, теория и расчет : монография / М.М. Щукин. – М.: МАШГИЗ, 1931. – 205 с.
17. Горбачевич, М.И. Обработка конструкции и прогнозирование усталостной долговечности несущих деталей ходовой части транспортных средств: дис. канд. техн. наук / М.И. Горбачевич. – Мн., 1984. – 176 с.
18. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання: ДСТУ 3649:2010. – [Чинний від 2011-07-01]. – Офіц. вид. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 28 с. – (Національний стандарт України).

REFERENCES

1. Antonov, D.A. (1978). Teoriya ustoychivosti dvizheniya mnogoosnykh avtomobiley [The theory of

stability of motion of multi-axle vehicles]. *Moscow: Mashinostroenie* [in Russian].

2. Balakina, E.V., & Revin, A.A., & Yurchevsky, A.A., & Kuznetsov, N.G. (2004). Sistema «koleso-podveska» i ustoychivost' dvizheniya avtomobilya v rezhime tormozheniya [The "wheel-suspension" system and the stability of the vehicle in the braking mode]. *Volgograd: VolgSTU* [in Russian].

3. Zasoby transportni dorozhni. Karavany y lehki prychepty. Rozrakhunok mekhanichnoyi mitsnosti stalevoho dyshla [Road vehicles. Caravans and light trailers. Calculation of mechanical strength of steel drawbar] (2009). *DSTU ISO 7641-1-93 from 16th February 2009*. Kyiv: Derzhstandart Ukraine, [in Ukrainian].

4. Vysotsky, V.M. (1987). Dinamika dlinnobaznykh avtopoyezdov [Dynamics of long-wheelbase road trains]. *Minsk: Publishing House "Science and Technology"* [in Belarus].

5. Khachaturov, A.A. (1976). Dinamika sistemy doroga - shina - avtomobil' - voditel' [Dynamics of the road - tire - car - driver system]. *Moscow: Mashinostroenie* [in Russian].

6. Gerasimenko, V.G., & Moskalenko, T.V., & Dolya, A.G., & Gritsuk, I.V. (2009). Issledovaniye vliyaniye rovnosti dorozhnogo pokrytiya na plavnost' khoda i kolebaniya avtomobilya [Investigation of the influence of the flatness of the road surface on the smoothness and vibration of the car]. *Vestnik Donetskoy akademii avtomobil'nogo transporta - Bulletin of the Donetsk Academy of Motor Transport*, 2, 10-13 [in Ukrainian].

7. Orlov, L.N. (2001). Kompleksnaya otsenka bezopasnosti i nesushchey sposobnosti kabin, kuzovov avtomobiley, avtobusov [Comprehensive assessment of safety and bearing capacity of cabins, car bodies, buses]. *Doctor's thesis. Nizhny Novgorod* [in Russian].

8. Petrushov, V.A., & Shuklin, S.A., & Moskovkin, V.V. (1975). Soprotivleniye kacheniyu avtomobiley i avtopoyezdov [Rolling resistance of cars and road trains]. *Moscow: Mashinostroenie* [in Russian].

9. Proskuryakov, V. B., & Prozorov, V.S. (1972). Dinamika i prochnost' ram i korpusov transportnykh mashin [Dynamics and strength of frames and bodies of transport machines]. *Leningrad: Mashinostroenie* [in Russian].

10. Gold, B.V. (1974). Prochnost' i dolgovechnost' avtomobilya [Strength and durability of the car]. *Moscow: Mashinostroenie* [in Russian].

11. Revin, S.A. (2003). Povysheniye tormoznykh svoystv malotonnazhnykh avtopoyezdov s ABS [Improving the braking properties of low-tonnage road trains with ABS]. *Extended abstract of candidate's thesis. Volgograd* [in Russian].

12. Rothenberg, R.V. (1972). Podveska avtomobilya [Car suspension]. *Moscow: Mashinostroenie* [in Russian].

13. Svetlitsky, V.A., & Ponomarev, S. D., & Alfutov, N.A., & Biderman, V.L., & Kogaev V.P., & Malinin, N.N. (1976). Sluchaynyye kolebaniya mekhanicheskikh sistem [Random vibrations of mechanical systems]. *Moscow: Mashinostroenie* [in Russian].

14. Sichko, A.E. Nagruzhenost' transmissii i tyagovo-stsepnogo ustroystva avtomobilya tipa 4×2 pri dvizhenii s pritsepom [Load of transmission and towing device of a 4 × 2 car when driving with a trailer]. *Candidate's thesis. Kiev* [in Ukrainian].

15. Tarasik, V.P. (2006). Teoriya dvizheniya avtomobilya [The theory of car movement]. *St. Petersburg: BHV-Petersburg* [in Russian].

16. Shchukin, M.M. (1931). Stsepnyye ustroystva avtomobiley i tyagachey. Konstruktsiya, teoriya i raschet [Coupling devices for cars and tractors. Design, theory and calculation]. *Moscow: Mashgiz* [in Russian].

17. Gorbatshevich, M.I. (1984). Obrabotka konstruktsii i prognozirovaniye ustalostnoy dolgovechnosti nesushchikh detaley khodovoy chasti transportnykh sredstv [Processing of the structure and prediction of the fatigue life of the load-bearing parts of the undercarriage of vehicles]. *Candidate's thesis. Minsk* [in Belarus].

18. Kolisni transportni zasoby. Vimogi schodo bezpechnosti tekhichnogo stanu ta metodi kontrolyuvannya [Wheeled vehicles. Requirements for safety of technical condition and control methods] (2011). *DSTU 3649:2010 from 01th July 2011*. Kyiv: Derzhstandart Ukraine, [in Ukrainian].

M. Handziuk, D. Handziuk The influence of operational factors and constructive parameters of low-weight trains on the strength and reliability of the frames uniaxial trailers

The development of small business and entrepreneurship in the country has led to an increase in the need for trailers used in conjunction with cars and light-duty vehicles. This circumstance sets the task of increasing the production of trailers of this type, reducing the design time and start production of new models. At the same time the bearing design of each product has to possess high durability, durability and to provide safe movement of the low-tonnage automobile train as a whole.

A feature of the supporting structure of a single-axle trailer is the presence of a drawbar, which receives part of the weight of the trailer link with the transported load, and provides a connection between the tractor and the trailer. In this regard, the drawbar of the trailer has high requirements for strength and durability. The difference in the design of the drawbar of a single-axle trailer from the frame of heavy-duty vehicles does not allow the use of traditional methods and ways to increase the strength and durability of this element, which will inevitably increase the size of the drawbar, its weight and cost, which is absolutely unacceptable in mass production.

The above circumstances indicate the relevance of methods for optimizing the mass, geometric parameters and elastic characteristics of the suspension of single-axle trailers under typical operating conditions of low-capacity road trains, taking into account the design features of the drawbar.

Keywords: low-tonnage road train, trailer link, design parameters, LOADING MODES, drawbar, loading modes, strength, durability.

ГАНДЗЮК Микола Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: Gandzyuk64.MG@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-3552-4256>.

ГАНДЗЮК Дмитро Миколайович, магістр із спеціальності «Автомобілі і автомобільне господарство», аспірант Луцького національного технічного університету, e-mail: Gandzyukd@gmail.com.

Mykola HANDZIUK, Ph.D in Engineering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University, e-mail: Gandzyuk64.MG@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-3552-4256>.

Dmitriy HANDZIUK, Magistr of Transport, Postgraduate Student of Lutsk National Technical University, e-mail: Gandzyukd@gmail.com.

DOI 10.36910/automash.v1i16.506

Гладченко В.С., Оверченко Ю.М.
Національний транспортний університет, Київ, Україна
ДП "ДЕРЖАВТОТРАНСПОРТПРОЕКТ", Київ, Україна

МЕТОДИКА СКЛАДАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ РУХУ ПЕРЕОБЛАДНАНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КТЗ КАТЕГОРІЇ М1 В ЇЗДОВОМУ ЦИКЛІ

У роботі запропонована методика складання та результати розрахунку за математичною моделлю. Проблема математичного опису функціональних елементів електричних колісних транспортних засобів (ЕКТЗ) ускладнюється необхідністю опису електричних процесів що відбуваються та впливом системи керування на силову установку. Розроблена методика є оригінальною, розглядається система «Силовa акумуляторна батарея – Тяговий електродвигун – Трансмісія» в умовах руху за їздовим циклом. Для складання математичної моделі був обраний математичний пакет OpenModelica, це відкрите середовище моделювання та моделювання на основі Modelica. Модель має блок «Водій», який представляє собою замкнений контур контролера керування. Він відслідковує фактичну швидкість електромобіля і порівнює її з необхідною, заданою їздовим циклом.

Визначені тягово-швидкісні та енергетичні показники переобладнаного автомобіля категорії М1 в батарейний електромобіль. За допомогою розробленої методики, можливо прогнозувати експлуатаційні показники електричного колісного транспортного засобу до виконання переобладнання. В якості вихідних числових значень параметрів переобладнаного автомобіля для проведення числового експерименту з використанням ПК, було обрано серійний автомобіль категорії М1 ЗА3–965 «Запорожець». Методика проведення числового експерименту передбачає проведення великої кількості обчислень в різних поєднаннях вихідних параметрів. В подальшому на ньому передбачено проведення дорожніх та стендових випробувань.

Технічний рівень переобладнання визначається питомою масою та питомою вартістю як окремих агрегатів так і всього електронного обладнання в цілому. Однак, показник вартості обладнання має сильну волатильність, тож його важко оцінити об'єктивно. В роботі пропонується критерій можливості збереження величини повної маси переобладнаного ЕКТЗ, умова обмеження за габаритними розмірами, максимальної кутової швидкості ротора тягового електродвигуна, максимального струму та напруги в силових елементах системи керування.

Ключові слова: електромобіль, переобладнання, ефективність, математична модель, контролер, числовий експеримент, енергетична ефективність.

ВСТУП

Екологічні, економічні та транспортні проблеми міст спонукають людство до пошуку нових типів колісних транспортних засобів (КТЗ) і способів організації міських перевезень. На сьогоднішній день, частка використання електромобілів (ЕМ) та гібридних автомобілів в розвинених країнах поступово збільшується, це підтверджується прогнозом розвитку від Allen Fuhs у своїй монографії [1] та сучасними станом електричних КТЗ (ЕКТЗ) [2...5]. Питання утилізації існуючих автомобілів обладнаних ДВЗ враховуючи їх велику кількість по всьому світу створює значну суспільну проблему. Одним із способів її вирішення є їх переобладнання в ЕКТЗ [6]. Дуже часто таке переобладнання здійснюється власниками старих серійних автомобілів з ДВЗ, при цьому не проводиться жодних досліджень щодо його доцільності. Відсутність рекомендацій щодо вибору функціональних елементів ЕКТЗ та методики розрахунку експлуатаційних властивостей переобладнаних ЕКТЗ ускладнює цей процес. Явище переобладнання КТЗ є характерним для країн всього світу, а не тільки для України. До країн в яких широко розповсюджене переобладнання належать: США, Канада, країни Європи, Індія та Китай. Виконувати роботи з переобладнання можуть спеціалізовані фірми або індивідуальні власники автомобілів купуючи набори для переобладнання чи створюючи свої власні розробки. Перевіркою безпечності виконаних робіт займаються державні або сертифіковані органи з оцінки відповідності конструкції КТЗ.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Проблеми дослідження та визначення показників тягово-швидкісних властивостей та енергетичної ефективності ЕКТЗ присвячено багато робіт, оскільки вони є важливими характеристиками, які визначають його поведінку під впливом зовнішніх факторів. Відомо багато робіт вітчизняних вчених: проф. Сахно В.П., доц. Поляков В.М., доц. Тімков О.М., проф. Клепіков В.Б., проф. Павлов В.Б., доц. Сітовський О.П., доц. Дембіцький В.М., проф. Двадненко В.Я., проф. Туренко А.М., проф. Гнатів А.В., проф. Богомолів В.А., проф. Абрамчук Ф.І., проф. Бажинов А.В. і багато інших вчених.

Аналіз сучасного стану досліджень ЕКТЗ показав, що роль аналітичних методів залишається надзвичайно великою. Висока їх роль і в кількісному визначенні параметрів експлуатаційних властивостей, але точність розрахунків при цьому обмежена. Кількісні характеристики, що одержують за допомогою аналітичних методів, в основному є першими оцінками, які надають уявлення про порядок досліджуваних параметрів і про напрямок розвитку процесу. Точність таких оцінок не варто збільшувати за рахунок ускладнення аналітичного апарату — для точних розрахунків краще користуватися чисельними методами з використанням ПК. В останньому випадку аналітичні методи не можуть конкурувати з ними.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розробка методики складання математичної моделі (ММ) силової установки (СУ) і показників руху переобладнаного ЕКТЗ категорії М1 є актуальним завданням сьогодення. За допомогою якої, було б можливим прогнозування його експлуатаційних показників до виконання переобладнання.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Моделювання ЕКТЗ — це складне завдання, яке потребує цілого комплексу знань та навичок. Необхідно вирішувати завдання моделювання обертального руху, механіки поступального руху, електричних машин і перетворювачів, гідравлічних компонентів і систем та багато іншого. Зокрема, моделювання ЕКТЗ не може бути повним без сполучення електричної і механічної частин та їх систем контролю та керування.

OpenModelica це відкрите середовище моделювання та моделювання на основі Modelica, призначене для промислового та академічного використання. Вона доступна безкоштовно, на різних платформах (Windows, Mac, Unix) зі свого офіційного сайту, <http://www.openmodelica.org> [7].

Всі зображення інструменту Modelica, включені в цю роботу, взяті з OpenModelica. Modelica дозволяє виконувати роботи, подібні до тих, що можна виконати в лабораторії, проводячи тести на натурному транспортному засобі. З тією перевагою, що можливо все виміряти без необхідності будувати складні вимірювальні комплекси. Також можливо все змінити в фізичній та контрольній частинах нашої системи, не витрачаючи великі кошти або ризикуючи пошкодженням обладнання. Використовуючи основні положення з роботи [8], була створена та реалізована в середовищі Modelica математична модель переобладнаного ЕКТЗ [9].

Спрощене уявлення про силову установку ЕКТЗ з використанням компонентів MSL і схеми Modelica наведено на рис. 1, це імітаційна модель.

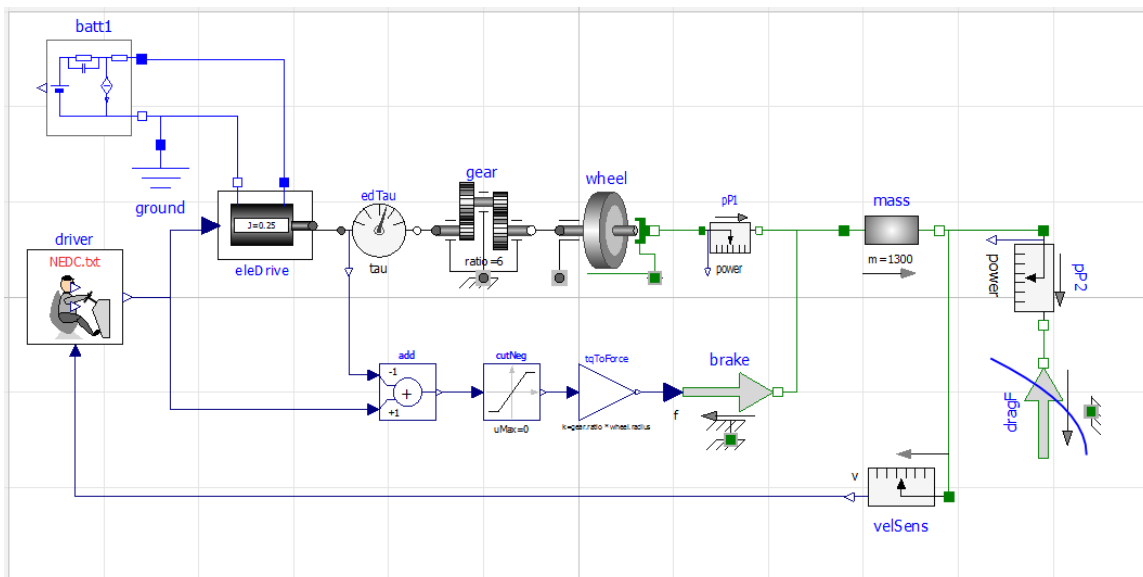


Рисунок 1 – Структурна модель переобладнаного ЕКТЗ в середовищі OpenModelica

Водій (driver). Неможливо з високою точністю змоделювати транспортний засіб, не включивши в нього модель водія. У своїй роботі будемо використовувати модель водія, яка здатна забезпечувати швидкісний режим руху заданий умовами їздового циклу.

Датчик швидкості автомобіля (velSens) створює комунікаційний зв'язок між фізичною та віртуальною частинами нашої імітаційної моделі. Інакше кажучи, він відіграє функцію панелі приладів автомобіля. Водій має бачити кінематичний цикл, який він хоче виконати, і для цього він діє

як замкнутий контур контролера керування. Тому він відслідковує фактичну швидкість через приладову панель (яка в нашій свідомості відображає швидкість, виміряну датчиком), порівнює її з необхідною, заданою їздовим циклом. Контролер діє на органи керування (гальмо та акселератор) таким чином, щоб зменшити або звести нанівець похибку керування.

В якості вихідних числових значень параметрів ЕКТЗ для проведення числового експерименту з використанням ПК, було обрано наступні вихідні параметри переобладнаного в ЕМ серійного автомобіля категорії М1 ЗАЗ–965 «Запорожець», (табл. 1), технічні показники якого було взято з джерела [10]. Цей автомобіль був обраний для розрахунків, тому що, в подальшому на ньому передбачається проведення дорожніх та стендових експериментальних досліджень.

Таблиця 1 – Технічна характеристика ЗАЗ –965 «Запорожець»

Параметр	Величина	
Двигун	бензиновий V-подібний 0,887 л при 4000–4200 об/хв	
Коробка передач	4 передачі; I – 3,73; II – 2,29; III – 1,39; IV – 0,964; 3.X. – 4,76	
Головна передача	одинарна; 4,63	
Лобова площа	1,43 м ²	
Коефіцієнт обтічності	0,47...0,52	
Габаритні розміри	довжина	3330 мм
	ширина	1395 мм
	висота	1450 мм
Колісна база	2023 мм	
Колія	передня	1150 мм
	задня	1160 мм
Максимальна швидкість	100 км/год	
Маса автомобіля	споряджена	693 кг
	повна	950 кг
Шин:	тип	безкамерні
	розмір	175/70 R13 «Rosava»
	радіус	0,282 м
	кочення	

Повною мірою задачу вибору та обґрунтування параметрів силової установки (СУ) ЕКТЗ можливо вирішити якщо розрахунки засновано на раціонально обраних вихідних даних, що об'єктивно відображають особливості роботи СУ в системі «САКБ – ТЕД – Трансмсія» (САКБ – силова акумуляторна батарея, ТЕД – тяговий електродвигун). Практика проектування свідчить, що саме знаходження вихідних даних та внутрішніх параметрів системи є найбільш складною задачею. Маючи в якості початкових даних такі параметри переобладнаного ЕКТЗ як, геометричні та масові параметри серійного КТЗ, передаточне відношення головної передачі, яка в більшості випадків не змінюється та умови руху в їздовому циклі, якому має відповідати переобладнаний ЕКТЗ. Кожному набору вихідних даних СУ може відповідати множина параметрів САКБ (тип акумуляторного елемента (АЕ), їх кількість, тип їх з'єднання, повна ємність, вага та ін.), ТЕД (номінальна напруга, частота струму, перевантажувальна здатність, максимальна напруга та струм тощо) та ін. Завдання що слід вирішити представлені на рис. 2.

Методика проведення числового експерименту передбачає проведення великої кількості обчислень в різних поєднаннях вихідних параметрів. Загальна кількість варіантів n_{EM} , що мають бути розглянуті в процесі переобладнання ЕКТЗ складатиме:

$$n_{EM} = n_{САКБ} n_{ТЕД} n_U \quad (1)$$

де $n_{САКБ}$ – число варіантів параметрів САКБ;

$n_{ТЕД}$ – число варіантів параметрів ТЕД;

n_U – передаточне відношення головної передачі.



Рисунок 2 – Множина вхідних та вихідних параметрів ММ

Враховуючи це, можна зробити висновок, що вибір вихідних даних для переобладнання ЕКТЗ є вельми громіздка та складна задача, розв’язати яку можливо лише при наявності певної методики. Маючи вхідні параметри та впливаючи на них, можна отримати комплексні вихідні величини за якими можна оцінити ступінь відповідності проведеного переобладнання поставленим критеріям.

В якості прикладу, наведені результати розрахунків за ММ в графічному вигляді при русі переобладнаного ЕМ за їздовим циклом WLTP клас 1. Отримані різні залежності, а саме, рівень заряду САКБ (рис. 3), залежність фактичної та бажаної швидкості ЕМ (рис. 4). На ньому, фактична швидкість (червона) і бажана швидкість (синя) знаходяться дуже близько одна від одної. Зміна напруги на САКБ (рис. 5).

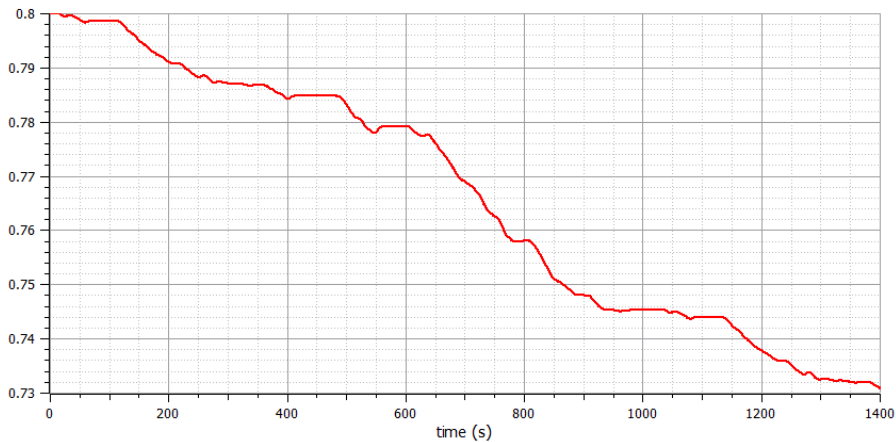


Рисунок 3 – Графік рівня заряду САКБ (SOC)

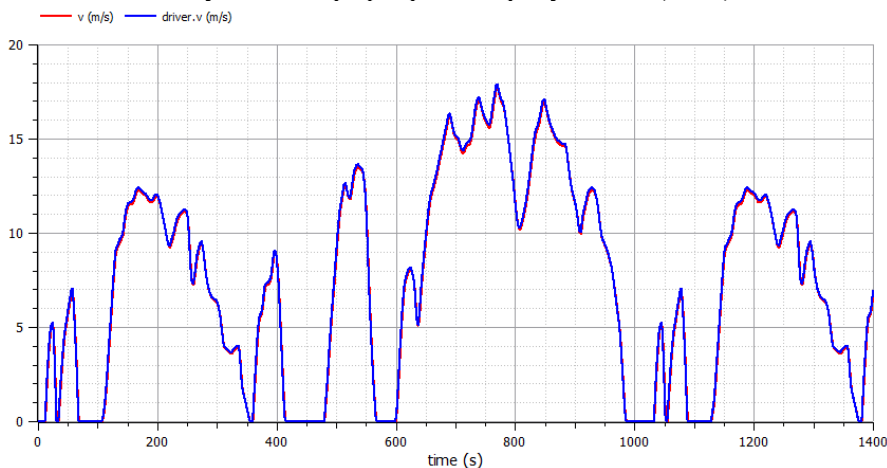


Рисунок 4 – Графік фактичної та бажаної швидкості ЕМ

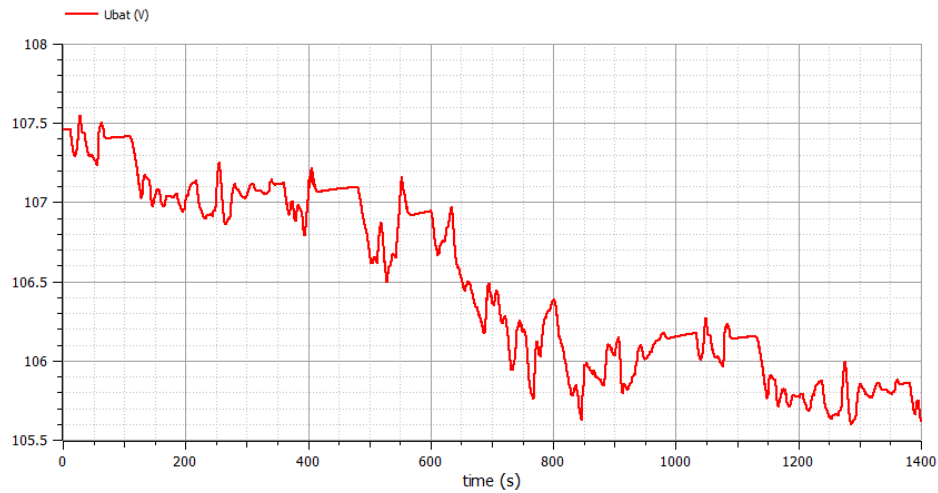


Рисунок 5 – Графік зміни напруги на САКБ

Зміна крутних моментів (рис. 6), показує потрібний крутний момент (червоний), дійсний крутний момент, що розвиває ТЕП (синій), крутний момент, що відповідає електричному гальмівному зусиллю (зелений).

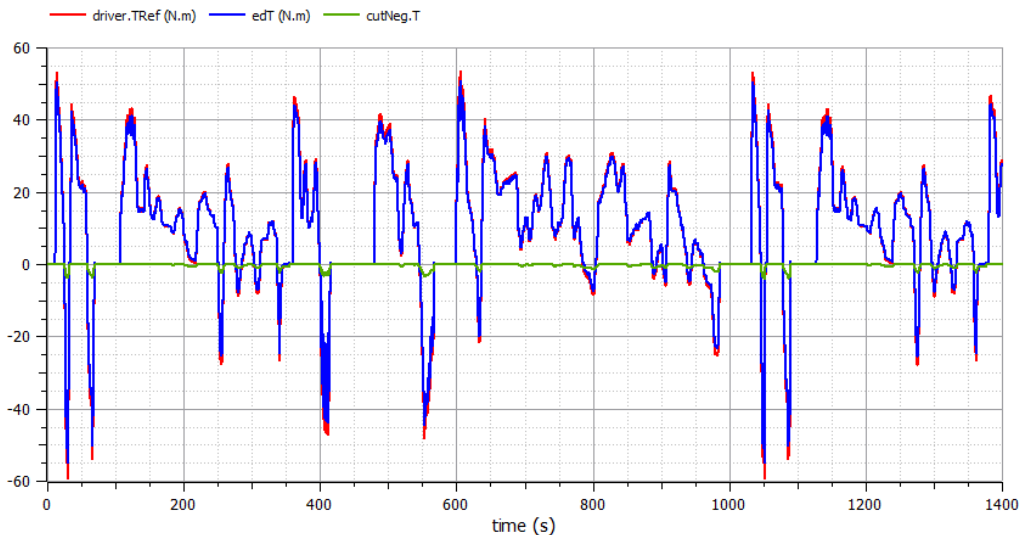


Рисунок 6 – Графік зміни крутних моментів

Аналізуючи графічні залежності можна зазначити, що:

– додатні крутні моменти, більше ніж 40 Нм потрібні для повного виконання умов їздового циклу. В реалізованій ММ їх запитує водій, але, СУ не може їх реалізувати. Це звичайне явище для КТЗ, коли водій вимагає крутний момент, що перевищує максимально можливий, в цьому випадку, це практично не впливає на бажану швидкість КТЗ.

– негативні крутні моменти майже завжди реалізуються при електричному гальмуванні. Механічне гальмування тут відбувається тільки при повному гальмуванні. Особливо це помітно для класів 2 та 3 де є позаміська частина їздового циклу (ділянки з високою та надзвичайно високою швидкістю). Однак на практиці реальні ЕМ частіше використовують механічне гальмування. Витрати енергії при русі переобладнаного ЕМ за їздовим циклом WLTP клас 1 (рис. 7).

Змінна $enDTdel$ – це енергія, що подається силовою передачею, в той час як $enP1Del$ – це енергія, що подається на лівий фланець маси: дві сили відрізняються одна від одної тільки при зміні швидкості: область між кривими – це кінетична енергія, запасена в інерції трансмісії, вона компенсує одна одну.

Загальна ефективність ЕМ не дуже висока, через передбачувану карту ефективності; нарешті, синя крива показує енергію, втрачену всередині батареї, в її внутрішньому опорі та інших елементах розсіювання. Однак для оцінки ефективності циклу роботи акумулятора його слід спочатку

підзарядити. Зелена крива – енергія яка була втрачена при механічному гальмуванні в гальмівних механізмах ЕМ.

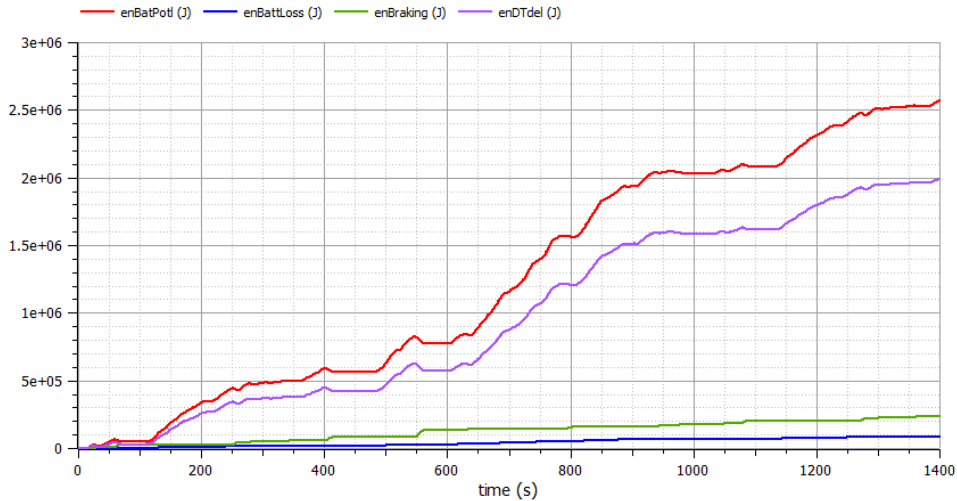


Рисунок 7 – Витрата енергії переобладнаного ЕМ

Діаграма фактичних крутних моментів тягового електропривода (рис. 8) та обмеження крутного моменту що накладає використаний тип ТЕД представлено у параметричному вигляді. Графік показує робочі точки СУ ЕМ при русі в їздовому циклі. Всі точки знаходяться в середині, що свідчить про наявний надлишковий крутний момент ТЕП.

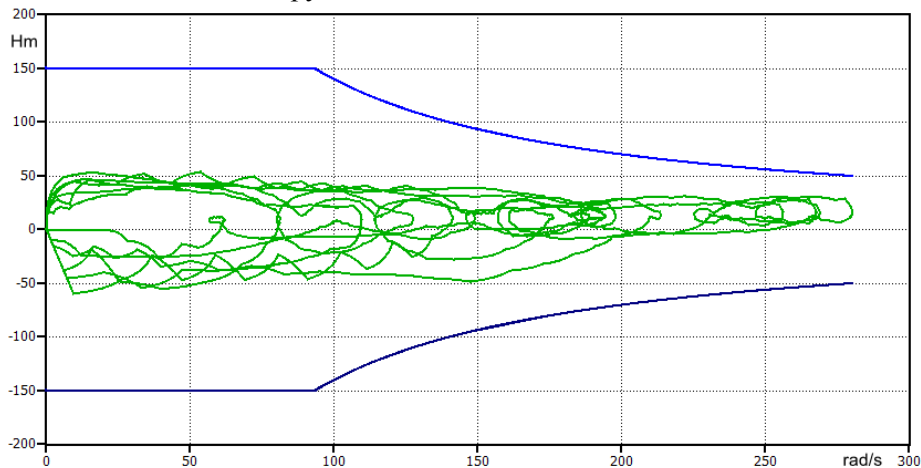


Рисунок 8 – Робоча карта фактичних крутних моментів ТЕП (зелені) та обмежень (сині)

Сині криві – це максимальний і мінімальний допустимі крутні моменти ЕД. Крива запиту водієм, завжди залишається всередині і відображається зеленим кольором; коли вона виходить за межі, вона відображається червоним кольором, це трапляється для класів 2 та 3 або при недостатній потужності електродвигуна.

Дослідження переобладнаного ЕМ полягає в оцінці фактичних робочих точок СУ (тобто точок, що належать зеленій кривій на робочій карті вище). Їх порівняння з картами ефективності ЕД дозволяє оцінити його ККД, у випадках, якщо ККД занадто часто залишається низьким, це свідчить про необхідність зміни вихідних параметрів моделі, а саме в конструкції силової установки.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вибір та обґрунтування раціональних параметрів системи «САКБ – ТЕД – Трансмісія» є складною задачею. В залежності від категорії КТЗ, його призначення та умов експлуатації, критерії раціональності можуть бути різні. Тобто, слід надавати більшу вагу різним показникам системи переобладнаного ЕКТЗ. Найбільш поширеним та універсальним критерієм раціональності вибору є мінімум приведених витрат, пов'язаних через розрахункову потужність з масою та вартістю обладнання. Технічний рівень переобладнання визначається питомою масою та питомою вартістю як окремих агрегатів так і всього електронного обладнання в цілому. Однак, показник вартості обладнання має сильну волатильність, тож його важко оцінити об'єктивно.

В роботі пропонується критерій можливості збереження величини повної маси переобладнаного ЕКТЗ, умова обмеження за габаритними розмірами, максимальної кутової швидкості ротора ТЕД, максимального струму та напруги в САКБ та силових елементах САУ.

ВИСНОВКИ

Проблема математичного опису функціональних елементів електромобіля та гібридних автомобілів різних типів ускладнюється описом електричних процесів що відбуваються та впливом системи керування на силову установку.

Одним з шляхів вирішення цієї проблеми є використання математичних пакетів прикладних програм які мають у своєму складі готові бібліотеки механічних, електричних та комунікаційних елементів систем. Задачею дослідника в цьому випадку є правильне поєднання та налаштування елементів та подальша перевірка адекватності розробленої математичної моделі з результатами натурних досліджень на КТЗ.

Розроблена та використана методика вибору і обґрунтування раціональних параметрів системи «САКБ – ТЕД – Трансмісія» переобладнаного ЕКТЗ категорії М1, на підставі моделювання процесів розряду САКБ при русі в ізодовому циклі WLTP клас 1 за допомогою елементів теорії планування експерименту.

В подальшому планується проведення дорожніх та стендових випробовувань переобладнаного ЕКТЗ за обраними вихідними даними для автомобіля ЗАЗ – 965 «Запорожець». На основі результатів дослідження буде проведена перевірка адекватності розробленої математичної моделі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1.Allen Fuhs E. Hybrid vehicles and the future of personal transportation. *CRC Press Taylor&Francis Group*. Boca Raton. Vol. Hybrid electric cars. 505 p.
- 2.Мировой рынок электромобилей в 2020 году вырос на 43%. [Electronic resource] // TAdviser.ru. URL: /index.php/Статья:Электромобили_(мировой_рынок) (accessed: 15.02.2021).
- 3.Toyota Mirai. Вікіпедія. 2021. [Electronic resource] // URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Toyota_Mirai (accessed: 15.02.2021).
- 4.Lightyear One — Long Range Solar Car [Electronic resource]. URL: <https://lightyear.one/> (accessed: 15.02.2021).
- 5.Larminie J., Lowry J. Electric Vehicle Technology Explained, 2nd Edition / Wiley. John Wiley & Sons, 2003.
- 6.Гришук О.К. Щодо переобладнання автомобіля шляхом заміни двигуна внутрішнього згоряння на електромотор / О.К. Гришук, В.С. Гладченко, Ю.М. Оверченко // *Перевізник UA* № 1/2020, С. 20–22/
- 7.Welcome to OpenModelica – OpenModelica [Electronic resource]. URL: <https://www.openmodelica.org/> (accessed: 29.06.2020)
- 8.Тімков О.М. Методика розробки математичної моделі електромобіля у відповідності до його компонуванняльної схеми / О.М. Тімков, В.С. Гладченко, М.М. Гордієнко// *Вісник ЖДТУ, Серія. Автомобільний транспорт*. № 2 (84) 2019, С. 10–15. DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2019-2\(84\)-10-15](https://doi.org/10.26642/ten-2019-2(84)-10-15) ISSN 2706-5847.
- 9.Побудова математичної моделі електромобіля в середовищі Modelica / В.С. Гладченко, О.К. Гришук // *Матеріали II Всеукраїнська конференція молодих вчених «Молодь і наука. Практика інноваційного пошуку»* (17.12. 2020 р., м. Дніпро, Україна), – С. 250 – 253. ISBN 978-617-7891-06-1.
- 10.Автомобиль “Запорожець” моделей ЗАЗ-965А и ЗАЗ-965АВ. Руководство по эксплуатации и ремонту. 4th ed. Днепропетровск: Промінь, 1968. 217 с.

REFERENCES

- 1.Allen Fuhs E. Hybrid vehicles and the future of personal transportation. *CRC Press Taylor&Francis Group*. Boca Raton. Vol. Hybrid electric cars. 505 p.
- 2.Mirovoy ryok elektromobyley v 2020 hodу vyros na 43%. [Electronic resource] // TAdviser.ru. URL: /index.php/Статья:Электромобили_(мировой_рынок) (accessed: 15.02.2021).
- 3.Toyota Mirai. Vikipediia. 2021. [Electronic resource] // URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Toyota_Mirai (accessed: 15.02.2021).
- 4.Lightyear One — Long Range Solar Car [Electronic resource]. URL: <https://lightyear.one/> (accessed: 15.02.2021).

5. Larminie J., Lowry J. *Electric Vehicle Technology Explained*, 2nd Edition / Wiley. John Wiley & Sons, 2003.
6. Hryshchuk O.K. Shchodo pereobladnannia avtomobilia shliakhom zaminy dvyhuna vnutrishnoho zghoriannia na elektromotor / O.K. Hryshchuk, V.S. Hladchenko, Yu.M. Overchenko // *Pereviznyk UA* № 1/2020, P. 20–22/
7. Welcome to OpenModelica – OpenModelica [Electronic resource]. URL: <https://www.openmodelica.org/> (accessed: 29.06.2020)
8. Timkov O.M. Metodyka rozrobky matematychnoi modeli elektromobilia u vidpovidnosti do yoho komponovalnoi skhemy / O.M. Timkov, V.S. Hladchenko, M.M. Hordiienko // *Visnyk ZhDTU, Seriya. Avtomobilnyi transport*. № 2 (84) 2019, P. 10–15. DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2019-2\(84\)-10-15](https://doi.org/10.26642/ten-2019-2(84)-10-15) ISSN 2706-5847.
9. Pobudova matematychnoi modeli elektromobilia v seredovyshchi Modelica / V.S. Hladchenko, O.K. Hryshchuk // *Materialy II Vseukrainska konferentsiia molodykh vchenykh «Molod i nauka. Praktyka innovatsiinoho poshuku»* (17.12.2020 r., m. Dnipro, Ukraina), – P. 250 – 253. ISBN 978-617-7891-06-1.
10. Avtomobyl “Zaporozhets” modelei ZAZ-965A y ZAZ-965AB. Rukovodstvo po ekspluatatsyy y remontu. 4th ed. Dnepropetrovsk: Promin, 1968. 217 p.

Hladchenko V., Overchenko U. Method of compilation of the mathematical model and results of calculation of movement indicators of the re-equipped electromobile of category M1 in road test procedure

The method of addition and results of calculation according to the mathematical model are offered in the article. The problem of mathematical description of the functional elements of electric wheeled vehicles (EWV) is complicated by the need to describe the electrical processes that occur and the influence of the control system on the power plant.

The developed method is original, the system "Power accumulator battery – Traction electric motor – Transmission" in the conditions of movement on a driving cycle is considered.

The OpenModelica mathematical package, an open modeling and modeling environment based on Modelica, was chosen to compile the mathematical model. The model has a "Driver" unit, which is a closed loop control controller. It monitors the actual speed of the electric car and compares it with the required, set driving cycle.

The traction-speed and energy indicators of the converted M1 vehicle into a battery electromobile are determined. With the help of the developed technique, it is possible to predict the performance of EWV before the conversion. As initial numerical values of parameters of the re-equipped vehicle for carrying out numerical experiment with use of the personal computer, the common vehicle of the M1 ZAZ-965 "Zaporozhets" category was chosen. The method of conducting a numerical experiment involves a large number of calculations in different combinations of initial parameters. In the future, it provides for road and bench tests.

The technical level of re-equipment is determined by the specific weight and unit cost of both individual units and all electronic equipment as a whole. However, the cost of equipment is highly volatile, so it is difficult to assess it objectively. The paper proposes the criterion of the possibility of preserving the value of the total mass of the converted ECT, the condition of limitation in overall dimensions, the maximum angular velocity of the rotor of the traction motor, the maximum current and voltage in the power elements of the control system.

Key words: electromobile, re-equipment, efficiency, mathematical model, controller, numerical experiment, energy efficiency.

ГЛАДЧЕНКО Володимир Сергійович, аспірант кафедри туризму Національного транспортного університету e-mail: v.glad4enko@ukr.net . <https://orcid.org/0000-0001-5783-4880>

ОВЕРЧЕНКО Юрій Миколайович, провідний інженер ДП «ДержавтотрансНДІпроект» e-mail: yoverchenko@insat.org . <https://orcid.org/0000-0001-6307-3459>

Volodimir HLADCHENKO, graduate student of the Department of Tourism the National Transport University e-mail: v.glad4enko@ukr.net . <https://orcid.org/0000-0001-5783-4880>

Uriy OVERCHENKO, Senior Engineer of the Department of Scientific and Technical Expertise, the State Road Transport Research Institute e-mail: yoverchenko@insat.org.ua . <https://orcid.org/0000-0001-6307-3459>

DOI 10.36910/automash.v1i16.507

Дзядикевич Ю.В.¹, Захарчук О.П.¹, Прогній П.Б.¹, Маяк М.М.², Попович П.В.¹,
Шашкевич О.Л.¹, Коваль Ю.Б.³

¹Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна; ²Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна; ³Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, Тернопіль, Україна

ПОШУКОВЕ КОНСТРУЮВАННЯ КОЛІСНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Розвинуто дослідження проблематики щодо вироблення критеріїв оцінки показників надійності та довговічності несучих конструкцій колісних транспортних засобів з позицій механіки руйнування виходячи з факторів їх початкової дефектності у поєднанні з експлуатаційними дослідженнями в реальних умовах експлуатації. Проведено структурний аналіз відказів транспортних засобів, що є складовою системи з дотримання надійності несучих систем колісних транспортних засобів. Розглянуто концептуальні підходи пошукового конструювання несучих рам засобів транспорту в АПК з прогнозуванням ресурсу роботи, обґрунтовано ефективність при вирішенні вказаних аналітично – пошукових і експериментально – дослідницьких проблем. Проведено ряд випробувань для визначення динамічних показників у найбільш характерних умовах експлуатації машин. Отримані статистичні дані, які дозволяють, за допомогою аналітичних досліджень, визначити компоненти напруженого стану і характер їх зміни в часі (середні значення, максимальні і мінімальні напруження, їх частоту і т.п.) у відповідності до умов експлуатації. Відносно до отриманих результатів проведено синтез несучих конструкцій через формування таких моделей ресурсу роботи, які адекватно описують процеси, що відбуваються при експлуатації с/г техніки. Такий підхід забезпечує перенесення отриманої експериментальної бази даних (з використанням напрацьованих алгоритмів в динамічній і нелінійній постановці задач) не тільки на проектування розглядуваної конструкції, але і на аналогового типу машин. Забезпечує, в комплексі, прогнозування довговічності з оптимізацією ресурсу роботи, також при модернізації і удосконаленні даного типу конструкцій.

Ключові слова: пошукове конструювання, надійність, прогнозування, ресурс, навантаженість, засоби транспорту.

ВСТУП

Структурний аналіз набору поломок є важливою частиною комплексної системи забезпечення надійності та живучості опорної рами причепа. Зі стратегічної точки зору концепція конструювання несучих систем колісних транспортних засобів з прогнозуванням ресурсу їх роботи, досягає ефекту при проведенні на належному рівні комплексного аналізу несучої здатності несучих металоконструкцій у багатокритеріальному аспекті. Ця концепція є складним науковим завданням, що вимагає великих експериментальних досліджень стандартних характеристик із використанням методів моделювання при аналізі НДС. Складність у формулюванні стандартів для оцінки міцності та прогнозування терміну служби полягає в у різнопрофільному наборі складових елементів металоконструкцій в поєднанні з специфікою їхніх з'єднань. Оптимізувати такі конструкції складно через відсутність практичних характеристик періодичної стійкості до дефектів, спричинених структурними змінами матеріалів у зоні з'єднання відповідно до конкретних технологій виготовлення (особливо складних зварних стикових з'єднань), а також геометрії поперечних перетинів тонкостінних елементів, відкритого та замкнутого профілю.

АНАЛІЗ ВІДОМИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Технічні ресурси-показники довговічності, що використовуються для характеристики можливої тривалості робочого часу об'єктів. Відповідно до ГОСТ 27.002-89, ресурс позначається як робота об'єкта з самого початку, або від операції відновлення до початку граничного стану. Відповідно до того, як вибрати час початку, в якій одиниці виміряти тривалість роботи та значення граничного стану, поняття ресурсу приймає різні інтерпретації об'єкта. Як міра тривалості можна вибрати параметр, що характеризує тривалість часу роботи об'єкта. Якщо час роботи вимірюється кількістю виробничих циклів, ресурс отримає дискретні значення. З точки зору загальної методології універсальною одиницею є одиниця часу. Перш за все, загалом час роботи технічного об'єкта включає не тільки ефективний час роботи, але й час переривання, протягом якого загальний час роботи

не збільшується. У цьому процесі руйнування об'єкт буде підданий впливу навколишнього середовища, а навантаження буде створюватися під час транспортування. Крім того, під час процесу руйнування характеристики матеріалу можуть змінюватися (процес старіння матеріалу скорочує загальний термін служби тощо) [1-4, 12, 13]. По-друге, виділені ресурси тісно пов'язані з виділеним терміном служби. Термін служби визначається як календарний термін до зписання об'єкта та вимірюється в календарних одиницях часу. Виділений термін служби багато в чому пов'язаний з науково-технічним прогресом у цій галузі. Використання економічної та математичної моделі, щоб переконатись, що виділені ресурси потрібно не тільки вимірювати з точки зору часу, але й вимірювати ресурси з точки зору календарного часу. По-третє, завдання прогнозування роботи об'єкта в задачі прогнозування решти ресурсів на сегменті є випадковим процесом, а його параметром є час. Отже, ця операція отримує вміст випадкової функції в момент часу [5, 6, 12, 13].

Розглядаючи питання ресурсів сільськогосподарської (сільськогосподарської) техніки, слід враховувати, що більшість сільськогосподарських машин працює в умовах великих динамічних навантажень, вібрації, коливань температури та вологості та підвищеного забруднення. Сезонність сільськогосподарських робіт може спричинити великі навантаження за відносно короткий робочий час. У міжсезоння існує проблема тривалого зберігання. Рівень контролю технологічного процесу та приймання не завжди забезпечує високий рівень точності з'єднання та високий ступінь безвідмовності. Якість умов утримання та зберігання в сільському господарстві нижча, ніж в інших галузях. Ці фактори зменшили тривалість життя більшості сільськогосподарських машин. Крім того, хоча розрахунки, проектування, виготовлення та технічне обслуговування повинні забезпечувати узгодження цих показників, довговічність окремих компонентів сильно варіюється. Тому збільшення ресурсів являє собою значну економію коштів, матеріальних та енергетичних запасів. Отже, збільшення ресурсів автопарку в середньому на 10% еквівалентно економії близько 10% на виробництві нових машин. Ресурси значною мірою залежать від навантаження, що діє на машину або елемент конструкції. Правильний підбір матеріалів і правильні розрахунки є основними джерелами збільшення ресурсів без істотного збільшення вартості механічного проектування. Оскільки прогнозування ресурсів передбачає встановлення залежності від усіх зовнішніх та внутрішніх факторів, розробку методів прогнозування слід розглядати як одну з найважливіших наукових галузей загальних ресурсних проблем [5, 7, 8, 12, 13]. Одним з найважливіших, а також найскладніших завдань теорії та практики машинобудування (включаючи сільське господарство) є підвищення надійності (довговічності) конструкції [1-4, 7, 9, 10, 12,13]. На етапі експлуатації прогнозування ресурсів займе особливе становище. На відміну від фази проектування, при прогнозуванні ресурсів загального набору загальнотехнічних об'єктів, які ще не створені, прогнозування буде виконуватися щодо конкретних існуючих об'єктів на етапі експлуатації. При цьому оцінці підлягають залишковий ресурс і (або) залишковий термін служби.

Залишковий строк корисного використання визначає період очікуваного грошового потоку, тому його вартість буде сильно впливати на оціночну вартість ринку. Більше того, визначення залишкових ресурсів необхідно для визначення залишкової вартості та відповідно визначення вартості заміщення об'єкта. Тому точність оцінки ринкової вартості машин та обладнання значною мірою залежить від того, як правильно визначити залишковий ресурс (залишковий термін служби) об'єкта, що оцінюється. Індивідуальне прогнозування ресурсів відкриває інші шляхи отримання економічних ефектів [10, 12-26]. При прогнозованому проектуванні несучої системи транспортних засобів, що використовуються у сільськогосподарському виробництві, важливо враховувати корозійний вплив металеві конструкції машини [10, 12 -26] за складних умов експлуатації, включаючи транспортні засоби в агресивних сільськогосподарських середовищах, особливо мінеральних речовин. І транспортні засоби з суворим середовищем, органічні добрива, реагенти, засобів для протруювання, ін. [7, 8, 10, 12, 13 -20, 25]

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Через природні відмінності в атрибутах об'єктів та різні умови, в яких вони функціонують (включаючи історію завантаження кожного об'єкта), різні показники ресурсів є великими. У парку із 108 автомобілів фактичні ресурси для першого капітального ремонту обмежені - від 1,55 до 370 000 кілометрів. Окреме прогнозування ресурсів може не тільки

запобігти можливим збоям та непередбачуваним граничним станам, але також покращити режим роботи, запобіжні заходи та постачання запасних частин. Крім того, перехід до єдиного прогнозу збільшує середній термін служби машини, оскільки це зменшує частку машин, які передчасно вивозяться для ремонту, і відкриває шлях для розумного вибору найкращого терміну експлуатації. У деяких випадках економічно ефективні операції можуть продовжуватися при низьких навантаженнях. Отже можемо розглядати прогнозування індивідуального залишкового ресурсу в якості системи управління процесом експлуатації і технічного обслуговування. Однак запровадження окремих прогнозів вимагає додаткових витрат на технічну діагностику, обладнання для реєстрації рівнів навантаження та стану об'єкта, створення мікропроцесорів для обробки основної інформації, розробку математичних методів та програмного забезпечення для обґрунтування висновків на основі зібраної інформації [5, 7, 9, 12,13]. На цій основі необхідно розробити концептуальний метод пошуку та проектування несучої рами транспортних засобів у сільськогосподарських та промислових парках, прогнозування робочих ресурсів та визначення ефективності певних аналітичних проблем пошуку та експериментальних досліджень.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження надійності тракторного причепа ММЗ-771Б та ММЗ-768Б базується на відповідних експериментальних даних машинної випробувальної станції під час перевірки транспортування. Робоче навантаження становить 2000 годин, і воно становить 50% загального навантаження при 3500 циклах навантаження – розвантаження. Дослідження проведені на основі 47 напівпричепів ММЗ-771 та 15 напівпричепів ММЗ-771Б, а також 13 причепів ММЗ-768 та 7 причепів ММЗ-768Б, які використовуються для перевезення органічних та мінеральних добрив, а також інших вантажів. У цих таблицях наводяться дані про середній час роботи при відмові основних компонентів цих причепів [7, 8, 10, 12,13].

Таблиця 1. Середній наробіток на відмову основних елементів причепів [12,13].

Середнє напрацювання на відмову ММЗ-771Е і відсоток елементів, які відмовили при експлуатації						
Підвіска	Рама	Ходова	Гідравліка	Гальма	Кузов	Електрообл
436 (100%)	391 (100%)	373 (100%)	467 (73%)	528 (66%)	240 (100%)	473 (86%)
Середнє напрацювання на відмову ММЗ-771 і відсоток елементів, які відмовили при експлуатації (у дужках)						
Підвіска	Рама	Ходова	Гідравліка	Гальма	Кузов	Електрообл
400 (53%)	437 (80%)	335 (93%)	406 (80%)	512 (49%)	284 (100%)	695 (35%)
Середнє напрацювання на відмову ММЗ-768Б і відсоток елементів, які відмовили при експлуатації						
Підвіска	Рама	Ходова	Гідравліка	Гальма	Кузов	Електрообл
789 (53%)	753 (77%)	514 (100%)	785 (100%)	646 (85%)	302 (100%)	820 (100%)

У табл. 1 наведені дані про середній час відмови основних елементів, а також відсотковий еквівалент відмов при напрацюванні в межах 4000 годин.

Тому серед усіх агрегатів найбільше турбує опорна рама, яка є основною одиницею причепа (що становить 12% -48% ваги сільськогосподарської техніки), що знижує загальну продуктивність причепа.

У таблиці 2 узагальнено показники, які забезпечують інформацію про надійність кожного причепа при роботі від 0 до 4000 годин [7,8,10, 12,13].

З табл. 2, бачимо, що фактично на всіх причепах рівень відмов несучої системи становить 22-30% від терміну служби до основного робочого часу технічного обслуговування. Різні причини переходу металеві конструкції в стан руйнування дозволяють робити висновки про причинність, що веде до руйнування. Основними причинами руйнування металеві конструкції є дефекти на стадії

виробництва та конструктивні помилки. Відсоток руйнувань через недостатню якість виробництва може досягати більше 60%. Причинами несправності сільськогосподарської техніки є структурні дефекти на стадії проектування (20-30%), несправності через низьку якість механічного виготовлення та збірки (20-30%), низького технічного рівня та якості матеріалів, елементної бази комплектуючих (35-40%), відмови через порушення правил експлуатації техніки в господарствах та низьку кваліфікацію обслуговуючого персоналу (10%), інші причини – 5-10%. [12,13].

Таблиця 2. Показники надійності несучих систем причепів [12,13]

п/п	Назва показника	ММЗ-77ІБ	ММЗ-77І	ММЗ-768Б	ММЗ-768
	Середнє напрацювання на відмову, год.	545	833	1176	889
	Середня кількість відмов на 1 причіп при напрацюванні 4000 год.	7,34	4,8	3,4	4,5
	Відсоток причепів, що мали відмови.	100	85	77	100

У стратегічному плані прогнозування ресурсів навантаження на проектування несучої системи мобільних сільськогосподарських машин результати були досягнуті на необхідному рівні комплексного аналізу несучої здатності несучих металевих виробів у багатостандартних аспектах [7, 8, 10, 12,13].

1. Проблема проектування та виготовлення основних одиниць сільського господарства на сучасному рівні, особливо проблема переміщення основних одиниць, пов'язана з оптимізацією елементів з точки зору основності, базової схематичної геометрії та прогнозування терміну служби. Як ми всі знаємо, практика в сучасному світі полягає головним чином у забезпеченні фіксованої ймовірності відмов для обмежених стійких ресурсів машинної системи, тим самим значно збільшуючи вимоги до точних оцінок похибок ресурсів, може призвести до спонтанного передчасного руйнування, або до завищеної металоємності металоконструкції;
2. Вирішуючи на належному рівні наступні аналітично – пошукові і експериментально – дослідницькі проблеми, концепція пошукового конструювання засобів транспорту з прогнозуванням ресурсу роботи, досягає ефекту в стратегічному плані;
3. Розвиток нових і систематизація існуючих аналітичних напрацювань з позиції ресурсу роботи конструктивних структур, виходячи з енергетичного балансу структури мобільної с/г машини: за механізмами навантаженості металоконструкції формується типологія вузлів і для кожного, на основі першого закону термодинаміки, будуються розрахункові моделі з складанням балансу енергії та зміни швидкості енергії для металоконструкції, подальшим обчисленням швидкості руйнування і, прогнозуванням ресурсу роботи з врахуванням стану матеріалу, його дефектності і всіх фізико-хімічних факторів, які діють на нього при експлуатації машини. Для вирішення проблеми в динамічній формулі необхідно враховувати енергію деформації, спричинену випаданням елементів конструкцій відкритого та закритого профілів. Інтегрований метод, який дозволяє вирішити нелінійну проблему в динамічному процесі залежно від природи ґрунту, жорсткості підвісу сільськогосподарської техніки тощо;
4. Визначення реальної динаміки навантаженості розглядуваного об'єкта, шляхом проведення ґрунтовних експериментальних досліджень в умовах експлуатації машин у найбільш характерних рельєфах і кліматичних зонах, з вибором особливостей оброблюваних площ, що є найбільш трудомісткою і дороговартісною експериментально-дослідницькою проблемою. Наступним процесом є статистична обробка та систематизація отриманих цифрових фактів за допомогою трикомпонентних динамічних характеристик та величини навантаження;
5. Встановлення відповідної основи, тобто формулювання критеріїв для оцінки міцності конструкції або "живучості". Іноземні компанії, що розробляють та виробляють сільськогосподарську техніку з США, Великобританії, Італії, Франції та Німеччини, починають з позиції довговічності проектного циклу та оцінюють довговічність конструкції при втомному руйнуванні на основі факторів їх дефектності (на кафедрі технічної механіки і с/г

машинобудування ТДГУ проводяться такі трудомісткі і дорогі аналітичні та лабораторні випробування та поєднуються з експлуатаційними);

- б. Видача оптимізованих параметрів конструкцій (відповідно ефективності вирішення проблеми, п.1, 2, 3) за геометрією поперечних перетинів їх елементів і побудовою принципів схем, з прогнозованим ресурсом роботи в цілому на графопобудову, або верстати з ЧПК; формування пакету робочих проектних документів.

Для того, щоб оцінити характер напруженого стану елемента конструкції та визначити метод пошуку його оптимальних параметрів, теоретичний метод визначення коефіцієнта сили в перерізі елемента при повному напруженні є дуже важливим.

При розробці теоретичної основи для аналізу та вирішення складних статично невизначених структур та усунення невідомих зв'язків несучої системи метод, заснований на принципі мінімальної потенційної енергії деформації, та модифікація методу враховують енергію деформації, що генерується вище, у поєднанні з варіаційним принципом Лагранжа, узагальненим принципом додаткової енергії Холлінгена-Рейзнера, методом скінченних елементів, теоремою Кастільяно, мінімальною теоремою роботи, підінтегральною функцією Лейбніца розрахунок закону статичного та динамічного закону [7, 12, 13]:

$$U_{\omega} = \sum \int_l \frac{B_{\omega}^2 ds}{2EI_{\omega}} \text{ при системі рівнянь } \frac{\partial U_{\omega}}{\partial B_{\omega_i}} = 0, \quad (1)$$

де B_{ω} - згинально – крутний бімомент, $H \cdot M^2$;

I_{ω} - секторіальний момент інерції, M^6 ,

У випадку дії на стрижневу систему динамічного навантаження значення невідомих узагальнених зусиль і переміщень величини визначають з рівнянь [3, 12, 13]

$$\frac{\partial \Pi}{\partial Q_i} = 0; \quad \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = m_i \cdot \frac{d^2 q_i}{dt^2}, \quad (2)$$

m_i - інерційні характеристики мас (маси і моменти інерції) вузлів системи;

Потім задача вирішується у варіанті для пошуку узагальненої системи переміщень, яка забезпечує найменшу функціональну повну потенційну енергію. Якщо схема розрахунку складається із скінченного елемента та вузла +1, то для збіжності всіх осей скінченних елементів функція сумарної потенційної енергії буде мати такий вигляд [7, 12, 13]:

$$\begin{aligned} \Phi = & \sum_{i=0}^{i=1} (U_{3z}^{(i,i+1)} + U_{np}^{(i,i+1)} + U_{cmk}^{(i,i+1)}) - \sum_{i=1}^m ((N_i - N_i^{(i,i-1)} - N_i^{(i,i+1)}) \bullet U_{xi} + (Q_{yi} - Q_{yi}^{(i,i-1)} - Q_{yi}^{(i,i+1)}) \bullet U_{yi} \\ & + (Q_{zi} - Q_{zi}^{(i,i-1)} - Q_{zi}^{(i,i+1)}) \bullet U_{zi} + (M_{xi} - M_{xi}^{(i,i-1)} - M_{xi}^{(i,i+1)}) \bullet \gamma_{xi} + (M_{yi} - M_{yi}^{(i,i-1)} - M_{yi}^{(i,i+1)}) \bullet \gamma_{yi} + \\ & (M_{zi} - M_{zi}^{(i,i-1)} - M_{zi}^{(i,i+1)}) \bullet \gamma_{zi} + (-B_i^{(i,i-1)} - B_i^{(i,i+1)}) \bullet \chi_i) \end{aligned} \quad (3)$$

де Q_{zi} , N_i , M_{yi} , M_{zi} , M_{ki} , V_i -компоненти векторів зовнішнього навантаження, приведеного до базового вузла;

i - номер вузла.

Для визначення фактичного навантаження деталей та конструкцій машини на стадії проектування та випробування зразків в реальних умовах експлуатації дуже важливі експериментальні методи досліджень, які дозволяють отримати надійні дані для оцінки терміну служби машини в умовах випадкового зміни умов [7, 12, 13].

Зазвичай сучасні експерименти повинні одночасно реєструвати такі величини, як рух, сила, час, тиск, температура та інші параметри. Тому широко використовується багатоканальна інформаційно-

вимірювальна система може отримувати та обробляти інформацію від різних датчиків у режимі реального часу.

Для того, щоб визначити динамічне навантаження, що генерується в реальних робочих умовах машини, розроблено та виготовлено спеціальне вимірювальне обладнання [3,12,13], стандартні та природні зразки, а також обладнання для випробувань на загальному обладнанні (рис. 1). Таким чином, можна скласти тестову програму для визначення динамічних параметрів в найбільш типових робочих умовах. Метод експериментального дослідження в основному реалізується шляхом встановлення спеціального динамометра, наприклад, під опорою основної маси, на осі ходової частини та під опорою штока, насоса, силового агрегату, обприскувача вентилятора, акселерометрів кутових швидкостей (АКШ), акселерометрів прискорень (АП) в центрах мас секцій, а також динамометричних тяг для с\г причепів, плугів, сівалок, тощо (рис. 2). Виміряні значення записуються в пам'ять мікрокомп'ютера, а потім систематизуються статистична обробка та результати (табл. 3).

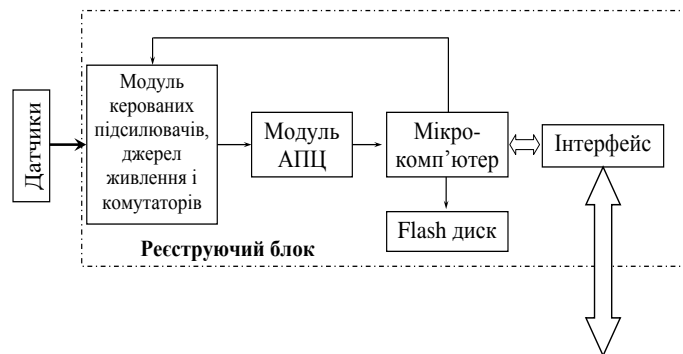
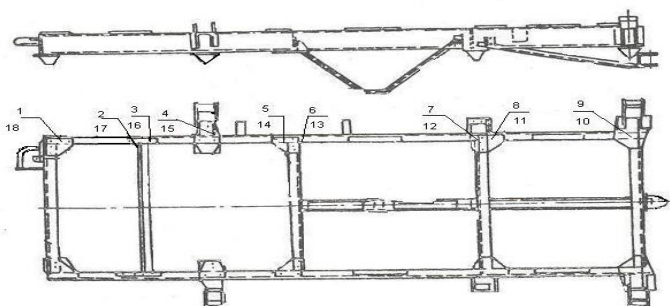


Рисунок 1. Загальний вигляд і принципова схема універсальної вимірюваної системи для дослідження навантаженості мобільних машин [12, 13]



а)

б)

Рисунок 2. Схема розміщення динамометрів (а) і тензодатчиків (б) у тракторному причепі 2ПТС -4 моделі 887Б (ОАО “Механический завод “Калачинский””) [12, 13]

Таблиця 3. Амплітуди змінних напружень тримкої рами причепа тракторного 2ПТС -4 (887Б) [12, 13]

№ датчика	Амплітуди напружень, МПа			№ датчика	Амплітуди напружень, МПа		
	Макс.	Середн.	Мін.		Макс.	Середн.	Мін.
1.	<30	-	-	10	98	57	33
2.	38	36	31	11	140	80	35
3.	43	32	30	12	105	52	24
4.	170	77	36	13	127	53	31
5.	118	61	39	14	98	54	26
6.	140	69	35	15	178	87	38

7.	117	58	37	16	390	380	360
8.	161	70	38	17	360	340	310
9.	84	49	31	18	<300	-	-

Випадкові величини реєструються на лазерному диску (можливо, на стрічці), а потім цифрові дані вводяться в пам'ять комп'ютера, а результати статистично обробляються та систематизуються в наступному порядку [7, 12,13]:

-визначити тричастинні динамічні характеристики певних опор, опорних точок, тяг та інших необхідних частин триточкової підвіски трактора;

-згідно з розробленим проектом, провести комплексне вивчення динаміки навантаження способом виконання процесу машинно-тракторного агрегату;

-визначити фактичне напруження кожної контрольної частини шляхом прямого скріплення тензорезистора, тим самим визначаючи, чи достатньо значення аналізу, отримане відповідно до методу;

-аналіз та статистична обробка отриманих результатів для визначення номінального значення динамічних факторів дослідження.

Отримані статистичні дані можуть бути проаналізовані та досліджені для визначення складових напруженого стану та характеру його змінних у часі (середнє значення, максимальне та мінімальне напруження, їх частота тощо) відповідно до умов експлуатації.

На наступному етапі розрахунку дуже зручно аналізувати та вивчати ПДВ конструкції з дефектами у вибраному перетині та визначити основні характеристики загального перерізу конструкції проти циклічних дефектів за допомогою експериментів.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Складність розробки стандартів для оцінки міцності та прогнозування терміну служби полягає головним чином у різнопрофільних наборах компонентів цих конструкцій та деталях їх зв'язку між собою. Такі конструкції непросто оптимізувати так як відсутні практичні характеристики періодичної дефектної стійкості, спричиненої структурними змінами матеріалів в районі шва відповідно до конкретних технологій виготовлення (особливо складних зварних стикових стиків).

Впровадження методу формулювання критеріїв оцінки міцності конструкції та прогнозування строку служби конструкції схематично здійснюється в наступному порядку [12, 13]:

1. Вивчити динаміку розвитку дефектів природних елементів конструкції (таких як розрідженість каркаса).
2. Отримати аналітичну кореляцію opening-розриву руйнування, що використовується для визначення коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН), δ - розкриття тріщин.
3. Визначити дефектні характеристики металевої конструкції.
4. Побудувати діаграми руйнування натурних профілів, наприклад. лонжеронів рам з поперечинами;
5. Беручи до уваги особливості структури та зміну властивостей металу в процесі розвитку тріщини (межа міцності тощо), отримують залежність прогнозованої міцності.
6. Беручи до уваги залишкове напруження від додаткового коефіцієнта сили, отримаємо теоретичну залежність критеріїв оцінки для визначення тонкостінних відкритих і закритих контурів елемента конструкції; побудова емпіричної моделі подібності.

Відповідно до отриманих параметрів, проводиться машинне конструювання, включаючи особливості:

1. взаємозв'язок між процедурами формування та читання креслень;
2. метод єдиного параметра для опису геометричних об'єктів та їх зображень;
3. у процесі алгоритмічного зв'язку існують основні категорії геометричних та графічних задач.
4. Опублікуйте оптимізовані параметри для графічного побудови та сформуєте набір робочих проектних документів.

Викладені матеріали ефективно спрацювали при розробці найскладнішої с/г техніки в динамічній постановці задач.

ВИСНОВКИ

Аналітичні дослідження НДС структурних елементів всієї конструкції з застосуванням МКЕ можуть бути Основними етапами комплексного аналізу тримкої здатності. Успішно застосовано вдосконалений метод мінімізації потенційної енергії деформації, що дало можливість для ПДВ-

моделювання міцних каркасів з урахуванням усіх типів навантаження. Для кожного компонента у багатокритеріальному твердженні розраховано комплексний індекс навантаження.

Метод формування стандарту для оцінки несучої здатності та прогнозування терміну служби конструкції повинен бути реалізований у наступному порядку:

- отримати аналітичну кореляцію для визначення коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН) і дельта-розкриття тріщин для відкритих та замкнутих холодноформованих і гарячекатаних тонкостінних профілів;

- чітко визначити залежність КІН для тріщин, що утворюються в зоні впливу теплоти, яка є функцією структурної концентрації напруги, залишкового зварювального напруження та неоднорідності зварювальних матеріалів;

Щодо отриманих результатів, несуча конструкція синтезується шляхом формування такої моделі терміну служби, яка повністю описує процеси, що відбуваються під час роботи сільськогосподарської техніки.

Обклеювання певних конструкцій (наприклад авіаторів, автомобілістів та інших проектних організацій мобільного машинобудування) і визначення їх напружено – деформівного стану не раціонально і малоефективно. Найбільш раціональним та ефективним процесом є визначення реальної циклічної навантаженості в опорах або кріпленнях конструктивної системи, за допомогою встановлення спеціальних вимірювальних пристроїв, з паралельною наклеюванням тензорезисторів лише у контрольних перетинах. Цей метод може не тільки перенести отриману експериментальну базу даних (використовуючи розроблений алгоритм у динамічному та нелінійному поданні задачі) на структурну конструкцію, але також і на аналогового типу машин. У складних ситуаціях прогнози довговічності можуть бути надані шляхом оптимізації робочих ресурсів, а також модернізації та вдосконалення таких конструкцій.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гуков Я.С. Проблеми вітчизняного сільськогосподарського машинобудування та шляхи їх вирішення // Техніка АІ ІК. 2006. - № 5. - С. 12.

2. Шибанін В.С. Перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування в Україні // Вісник агра науки Причорномор'я. - 2007. - № 2 (41). - С. 3-10.

3. Кравчук В. Пріоритетні напрямки наукових досліджень при прогнозуванні, випробуванні та сертифікації техніки і технологій АПК // Техніка АПК. - 2008. - № 1. - С. 6-7.

4. Погорельий Л.В., Анилович В.Я. Испытания сельскохозяйственной техники: научно-методические основы оценки прогнозирования надежности сельскохозяйственных машин. Феникс, 2004. - 208 с.

5. В.В. Болотин. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. – М. Машиностроение, 1984. - 312 с. :ил.

6. М. Черновол, С. Гранкін, В. Малахов, В. Черкун. Надійність с/г техніки. - К.: Урожай, 1998. - 208 с.: іл.

7. Рибак Т.І. Пошукове конструювання на базі оптимізації ресурсу засобів транспорту . Підручник-посібник. Тернопіль. “Збруч”, 2003. - 332 с.

8. Щурин К.В. Прогнозирование и повышение усталостной долговечности несущих систем сельскохозяйственных транспортных средств. // Автореф. дис. докт. техн. наук. 05.20.01. Оренбург. - 1994. – 46 с.

9. Тимочко В. О. Ідентифікація транспортних засобів у проектах сільськогосподарського виробництва / В. О. Тимочко, Р. І. Падюка, І. М. Городецький // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic management, portfolio, program and project management : зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2018. – № 1 (1277). – С. 75-79.

10. Попович П.В. Комплексний аналіз надійності несучих систем тракторних причепів при їхній експлуатації // Попович П.В, Рибак Т.І./ Механізація сільськогосподарського виробництва. - Вісник ХНТУСГ, Вип. 93 Харків, 2010. – С. 411-414.

11. Попович П.В. Алгоритм оцінки базових експлуатаційних властивостей колісних сільськогосподарських транспортних засобів / Попович П., Шевчук О., Ляшук О.Л., Матвіїшин А.Й. // Вісник ХНТУСГ. – Харків, 2017. – Вип. № 181. – С. 198 - 203.

- 12.Т. І. Рибак. Концепція пошукового конструювання мобільної техніки в АПК / Т. І. Рибак, П. В. Попович, М. Я. Сташків // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. - 2009. - Вип. 39. - С. 40-47. - Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/2591/1/7.pdf>
- 13.Рибак Т. І. Аналіз надійності несучих систем тракторних причепів [Електронний ресурс] / Т. І. Рибак, П. В. Попович, Ю. В. Грицай, Н. Рубінець // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. - 2014. - Вип. 151. - С. 18-20. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2014_151_5
14. YA. DOROSHENKO, V. ZAPUKHLIAK, YA. GRUDZ, et al., Numerical simulation of the stress state of an erosion-worn tee of the main gas pipeline. Archives of Materials Science and Engineering 101/2 (2020) 63-78. ISSN 1897-2764. Available from: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.1192>
15. POPOVYCH P, LYASHUK O, SHEVCHUK O, et al. Influence of organic operation environment on corrosion properties of metal structure materials of vehicles. INMATEH – Agric Eng. 2017;52(2):113–118. ISSN 2068-4215, eISSN 2068-2239. Available from: <https://inmateh.eu/volumes/old-volume/volume-52-no-2-2017/article/influence-of-organic-operation-environment-on-corrosion-properties-of-metal-structure-materials-of-vehicles>.
16. POPOVYCH P, LYASHUK O, MUROVANYI I, et al. The service life evaluation of fertilizer spreaders undercarriages. INMATEH – Agric Eng. 2016;50(3):39–46. ISSN 2068-4215, eISSN 2068-2239. Available from: <https://inmateh.eu/volumes/old-volume/volume-50-no-3-2016/article/the-service-life-evaluation-of-fertilizer-spreaders-undercarriages>
17. LYTUVYENKO, I.V., MARUSCHAK, et al., Modeling of the Ordered Surface Topography of Statically Deformed Aluminum Alloy. Mater Sci (2016) 52: 113-122. Materials Science [online]. 2016, 52, p. 113-122. ISSN 1068-820X, eISSN 1573-885X. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11003-016-9933-1>
18. BARNA R. A., POPOVICH P. V. Influence of Operating Media on the Fatigue Fracture of Steels for Elements of Agricultural Machines. Materials Science. – 2014.– Vol. 50, 3. – pp. 377-380. ISSN 1068-820X, eISSN 1573-885X. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11003-014-9729-0>
19. HEVKO B.M., DIACHUN A.Y., LYASHUK O.L., et al. (2015), The study of bulk material kinematics in a screw conveyor-mixer, INMATEH Agricultural Engineering, vol.47, no.3., pp. 156-163
20. P POPOVYCH, L POBEREZHZNY, O SHEVCHUK, I MUROVANYI, et al. (2020). Evaluation of strength of carrying metal structures of trailers. Journal of Achievements of Materials and Manufacturing Engineering 2(100): 58-69. Available from: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.3345>.
21. POPOVYCH, P.; SHEVCHUK, O.; DZYURA, V.; et al: Assessment of the influence of corrosive aggressive cargo transportation on vehicle reliability. International Journal of Engineering Research in Africa 2018, 38, 17-25. ISSN 1663-3571, eISSN 1663-4144. Available from: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.38.17>
22. POPOVYCH PV, DZYURA V, & SHEVCHUK OS. Reliability estimation of transport means elements under the action of cyclic loads and corrosive environment. Int. J. of Automotive and Mechanical Engineering 2018;15(4):5793 -5802. ISSN: 2229-8649 (Print); 2180-1606 (Online) Available from: <https://doi.org/10.15282/ijame.15.4.2018.6.0443>
23. B. SOKIL, O. LYASHUK, M. SOKIL, et al. Dynamic Effect of Cushion Part of Wheeled Vehicles on Their Steerability", International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, vol. 15, no. 1, pp. 4880-4892, 2018. Available from: <https://doi.org/10.15282/ijame.15.1.2018.1.0380>
24. P POPOVYCH, L POBEREZHZNY, O SHEVCHUK, et al. (2020), Corrosion-fatigue failure of tractor trailers metal materials in aggressive environments, Korozje a Ochrana Materialu 64/2 (2020) 45-51. Online ISSN: 1804-1213. Available from: <https://doi.org/10.2478/kom-2020-0007>
25. Popovych, P.V., Mahladyuk, L.A. & Kupovych, R.B. Influence of Organic Fertilizers on the Corrosion-Electrochemical Characteristics of Low-Carbon Steels. Mater Sci 50, 284–289 (2014). <https://doi.org/10.1007/s11003-014-9719-2>

26. Popovych, P.V., Slobodyan, Z.B. Corrosion and Electrochemical Behaviors of 20 Steel and St.3 Steel in Ammonium Sulfate and Nitrophoska. *Mater Sci* 49, 819–826 (2014). <https://doi.org/10.1007/s11003-014-9679-6>

27. Barna, R.A., Popovych, P.V. & Vovk, R.I. Influence of the Working Media on the Cyclic Crack Resistance of Steels for Elements of Agricultural Machines. *Mater Sci* 50, 621–625 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11003-015-9762-7>

REFERENCES

1. Gukov Ya.S. (2006). Problemy vitchyznyanoho sil's'kohospodars'koho mashynobuduvannya ta shlyakhy yikh vyrishennya. *Tekhnika AI IK*, 5, 12.

2. Shebanin V.S. (2007). Perspektyvy rozvytku sil's'kohospodars'koho mashynobuduvannya v Ukraini. *Visnyk ahra nauky Prychornomor'ya*, 2 (41), 3-10.

3. Kravchuk V. (2008). Priorytetni napryamky naukovykh doslidzen' pry prohnozuvanni, vyprovuvanni ta sertyfikatsiyi tekhniki i tehnolohiy APK. *Tekhnika APK*, 1, 6-7.

4. Pogorelyy L.V. & Anilovich V.YA. (2004). Ispytaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki: nauchno-metodicheskiye osnovy otsenki prognozirovaniya sel'skokhozyaystvennykh mashin. *Feniks*, 208.

5. Bolotin V.V. (1984). Prognozirovaniye resursa mashin i konstruktsiy. *M. Mashinostroyeniye*, 312.

6. Chernovol M., Hrankin S., Malakhov V., & Cherkun V. (1998). Nadiynist' s/h tekhniki, *Urozhay*, 208.

7. Ribak T.I. (2003) Poshukove konstruyuvannya na bazi optimizatsii resursu zasobiv transportu. *Zbruch*, 332.

8. Shchurin K.V. (1994). Prognozirovaniye i povysheniye dolgovechnosti nesushchikh sistem sel'skokhozyaystvennykh transportnykh sredstv. *dis. dokt. tekhn. nauk. 05.20.01. Orenburg*. 469s.

9. Timochko V.O., Padyuka R. Í. & Gorodets'kiy Í. M. (2018). Identifikatsiya transportnykh sredstv v proyektakh sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva. *Visnyk natsional'noho tekhnichnoho universytetu "KHPI". Seriya: Stratehichne upravlinnya, upravlinnya portfelyamy, prohramamy ta proektamy = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Strategic management, portfolio, program and project management : zb. nauk. pr. - Kharkiv: NTU "KHPI", 1 (1277), 75-79.*

10. Popovych P.V. & Rybak T.I. (2010). Kompleksnyy analiz nadiynosti nesuchykh system traktornykh prycheviv pry yikhniy ekspluatatsiyi. *Mekhanizatsiya sil's'kohospodar- s'koho vyrobnytstva. Visnyk KHNTUS·H*, 93, 411-414.

11. Popovych P.V., Shevchuk O., Lyashuk O.L. & Matviyishyn A.Y. (2017). Alhorytm otsinky bazovykh ekspluatatsiynykh vlastyovostey kolisnykh sil's'kohospodars'kykh transportnykh zasobiv. *Visnyk KHNTUS·H*, 181, 198 - 203.

12. TI Rybak. Koncepciya poshukovogo konstruyuvannya mobil'noyi texniki` v APK / TI Rybak, PV Popovych, M. Ya. *Stashkiv // Design, production and operation of agricultural machines. - 2009. - Vip. 39. - P. 40-47. - Access mode: http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/bitstream/123456789/2591/1/7.pdf*

13. Rybak TI Analiz nadiynosti nesuchy`x sy`stem traktorny`x pry`chepiv / TI Rybak, PV Popovych, Yu. V. Hrytsai, N. Rubinets // *Visnyk of Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasylenko. - 2014. - Vip. 151. - P. 18-20. - Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2014_151_5*

14. YA. DOROSHENKO, V. ZAPUKHLIAK, YA. GRUDZ, et al., Numerical simulation of the stress state of an erosion-worn tee of the main gas pipeline. *Archives of Materials Science and Engineering* 101/2 (2020) 63-78. ISSN 1897-2764. Available from: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.1192>

15. POPOVYCH P, LYASHUK O, SHEVCHUK O, et al. Influence of organic operation environment on corrosion properties of metal structure materials of vehicles. *INMATEH – Agric Eng. 2017;52(2):113–118. ISSN 2068-4215, eISSN 2068-2239. Available from: https://inmateh.eu/volumes/old-volume/volume-52-no-2-2017/article/influence-of-organic-operation-environment-on-corrosion-propertiesof-metal-structure-materials-of-vehicles.*

16. POPOVYCH P, LYASHUK O, MUROVANYI I, et al. The service life evaluation of fertilizer spreaders undercarriages. *INMATEH – Agric Eng.* 2016;50(3):39–46. ISSN 2068-4215, eISSN 2068-2239. Available from: <https://inmateh.eu/volumes/old-volume/volume-50-no-3-2016/article/the-service-life-evaluation-of-fertilizer-spreaders-undercarriages>

17. LYTUVYENKO, I.V., MARUSCHAK, et al., Modeling of the Ordered Surface Topography of Statically Deformed Aluminum Alloy. *Mater Sci* (2016) 52: 113-122. *Materials Science* [online]. 2016, 52, p. 113-122. ISSN 1068-820X, eISSN 1573-885X. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11003-016-9933-1>

18. BARNA R. A., POPOVICH P. V. Influence of Operating Media on the Fatigue Fracture of Steels for Elements of Agricultural Machines. *Materials Science.* – 2014.– Vol. 50, 3. – pp. 377-380. ISSN 1068-820X, eISSN 1573-885X. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11003-014-9729-0>

19. HEVKO B.M., DIACHUN A.Y., LYASHUK O.L., et al. (2015), The study of bulk material kinematics in a screw conveyor-mixer, *INMATEH Agricultural Engineering*, vol.47, no.3., pp. 156-163

20. P. POPOVYCH, L. POBEREZHZNY, O. SHEVCHUK, I. MUROVANYI, et al. (2020). Evaluation of strength of carrying metal structures of trailers. *Journal of Achievements of Materials and Manufacturing Engineering* 2(100): 58-69. Available from: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.3345>.

21. POPOVYCH, P.; SHEVCHUK, O.; DZYURA, V.; et al: Assessment of the influence of corrosive aggressive cargo transportation on vehicle reliability. *International Journal of Engineering Research in Africa* 2018, 38, 17-25. ISSN 1663-3571, eISSN 1663-4144. Available from: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.38.17>

22. POPOVYCH PV, DZYURA V, & SHEVCHUK OS. Reliability estimation of transport means elements under the action of cyclic loads and corrosive environment. *Int. J. of Automotive and Mechanical Engineering* 2018;15(4):5793 -5802. ISSN: 2229-8649 (Print); 2180-1606 (Online) Available from: <https://doi.org/10.15282/ijame.15.4.2018.6.0443>

23. B. SOKIL, O. LYASHUK, M. SOKIL, et al. Dynamic Effect of Cushion Part of Wheeled Vehicles on Their Steerability", *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 15, no. 1, pp. 4880-4892, 2018. Available from: <https://doi.org/10.15282/ijame.15.1.2018.1.0380>

24. P. POPOVYCH, L. POBEREZHZNY, O. SHEVCHUK, et al. (2020), Corrosion-fatigue failure of tractor trailers metal materials in aggressive environments, *Koroze a Ochrana Materialu* 64/2 (2020) 45-51. Online ISSN: 1804-1213. Available from: <https://doi.org/10.2478/kom-2020-0007>

25. Popovych, P.V., Mahladyuk, L.A. & Kupovych, R.B. Influence of Organic Fertilizers on the Corrosion-Electrochemical Characteristics of Low-Carbon Steels. *Mater Sci* 50, 284–289 (2014). <https://doi.org/10.1007/s11003-014-9719-2>

26. Popovych, P.V., Slobodyan, Z.B. Corrosion and Electrochemical Behaviors of 20 Steel and St.3 Steel in Ammonium Sulfate and Nitrophoska. *Mater Sci* 49, 819–826 (2014). <https://doi.org/10.1007/s11003-014-9679-6>

27. Barna, R.A., Popovych, P.V. & Vovk, R.I. Influence of the Working Media on the Cyclic Crack Resistance of Steels for Elements of Agricultural Machines. *Mater Sci* 50, 621–625 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11003-015-9762-7>

Y. Dziadykevych, O. Zakharchuk, P. Prohny, M. Maiak, O. Shashkevych, Y. Koval. Search design of vehicles in agro-industrial complex

The research of problems on estimation criteria development of reliability indicators and durability of transport unibody constructions for agricultural production from the point of view of destruction mechanics proceeding from factors of their initial defect in combination with field investigations under actual operating conditions has been developed. It has been carried out the structural analysis of failures of vehicles which are system components on observance of reliability of transport unibody constructions of wheeled vehicles. Conceptual approaches of search design of construction frames of transport means in agrarian and industrial complex with work resource forecasting are considered, efficiency at the decision of the specified analytical and research and experimental and research problems is proved. A number of tests were performed to determine the dynamic parameters in the most characteristic operating conditions of machines. The obtained

statistical data, which allow, with the help of analytical studies, to determine the components of the stress state and the nature of their change over time (average values, maximum and minimum stresses, their frequency, etc.) in accordance with operating conditions. According to the obtained results, the synthesis of load-bearing structures through the formation of such models of service life, which adequately describe the processes occurring during the operation of agricultural machinery was conducted. This approach ensures the transfer of the obtained experimental database (using the developed algorithms in the dynamic and nonlinear formulation of problems) not only to the design of the structure, but also to the analog type of machines. It provides, in combination, forecasting durability optimization of resources, and the modernization and improvement of this type of structures.

Key words: search design, reliability, forecasting, resource, load, transport means.

ДЗЯДИКЕВИЧ Юрій Володимирович, доктор технічних наук, професор, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: yu.dziadykevych@wunu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3737-9347>

ЗАХАРЧУК Олена Павлівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: olenaskyba8500@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-9452-9850>

ПРОГНІЙ Павло Богданович, кандидат технічних наук, ст.викл. кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: PPopovuch@gmail.com

МАЯК Микола Михайлович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна, e-mail: maiak48@mail.ru

ПОПОВИЧ Павло Васильович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: PPopovich@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-5516-852X>

ШАШКЕВИЧ Олександр Любомирович, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри фінансів ім. С.І. Юрія, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: o.shashkevych@wunu.edu.ua . <http://orcid.org/0000-0003-3642-1643>

КОВАЛЬ Юрій Богданович, аспірант кафедри транспортних технологій та механіки, Тернопільський національний технічний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: PPopovich@ukr.net.

Yurii DZIADYKEVYCH, Doctor of Sciences, Professor, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: yu.dziadykevych@wunu.edu.ua. <https://orcid.org/0000-0002-3737-9347>

Olena ZAKHARCHUK, Doctor of Philosophy, Associate Professor of Transport and Logistics department, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: olenaskyba8500@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-9452-9850>

Pavlo PROHNII, Doctor of Philosophy, Senior Lecturer of Specialized Computer Systems department, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: PPopovuch@gmail.com

Mykola MAIAK, Doctor of Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Transport Technologies, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine, e-mail: maiak48@mail.ru&. <https://orcid.org/0000-0002-9749-980X>

Pavlo POPOVYCH, Doctor of Sciences, Professor, Professor of Transport and Logistics department, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: PPopovich@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-5516-852X>

Oleksandr SHASHKEVYCH, Doctor of Philosophy, Associate Professor, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: o.shashkevych@wunu.edu.ua . <http://orcid.org/0000-0003-3642-1643>

Yurii KOVAL, Master's student of the Department of Transport Technologies and Mechanics Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine, e-mail: PPopovich@ukr.net.

DOI 10.36910/automash.v1i16.508

Кищун В. А.
Луцький національний технічний університет

АВАРІЙНІСТЬ НА ДОРОГАХ УКРАЇНИ: ОЧІКУВАННЯ, ЩО НЕСПРАВДИЛИСЯ

Метою дослідження у роботі стало визначення фактичних показників стану аварійності на вітчизняних дорогах та порівняння їх з очікуваними, що були затверджені у Державних програмах підвищення рівня безпеки дорожнього руху на періоди до 2016 і 2020 років, а також аналіз очікуваних показників, наведених у Державній програмі підвищення рівня безпеки дорожнього руху на період до 2023 року.

Стан аварійності оцінювався за такими показниками, як кількість загиблих і травмованих на 100 тис. населення (соціальний ризик), кількість загиблих на 100 тис. транспортних засобів (транспортний ризик), а також трьома показниками, що характеризують тяжкість пригоди: кількість загиблих на 100 постраждалих та кількість загиблих і травмованих на 100 дорожньо-транспортних пригод (ДТП). У процесі досліджень визначалися фактичні показники аварійності в Україні у 2015-2020 роках. Як наслідок було встановлено, що фактичні показники соціального і транспортного ризиків у ці роки були гірші за очікувані і лише кількість загиблих внаслідок ДТП на 100 постраждалих була меншою або знаходилася на одному рівні.

Певне неузгодження запланованих очікуваних результатів спостерігається у Державній програмі підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2023 року. Якщо порівняти числа суміжних 2020 і 2021 років, то очікувані результати за трьома показниками не виправдано зросли і лише кількість загиблих внаслідок ДТП на 100 постраждалих у 2021 і наступних роках передбачається меншою. Ще більша неузгодженість спостерігається, коли порівняти фактичні показники 2020 року з очікуваними 2021-го; прогнозується гірша ситуація на українських дорогах ніж та, що є у дійсності. Аналогічно неузгодженими виглядають два нових показники, що оцінюють рівень тяжкості наслідків пригод – це кількість загиблих і травмованих на 100 ДТП.

В Україні статистика щодо загибелі і травмування людей внаслідок дорожньо-транспортних пригод залишається достатньо високою, як для європейського регіону. Аналіз стану аварійності на вітчизняних дорогах за 2015-2020 роки показав, що за трьома показниками з чотирьох Державні програми з підвищення рівня БДР не були виконані, а закладені на майбутнє показники аварійності не сприятимуть покращенню ситуації у сфері забезпечення безпеки дорожнього руху.

Ключові слова: безпека дорожнього руху, транспортна стратегія, державні програми, зниження аварійності, очікувані показники аварійності, фактичні показники аварійності.

ВСТУП

Проблема підвищення безпеки автомобільного транспорту є надзвичайно важливою, оскільки аварійність на дорогах супроводжується значними збитками для економіки України. Соціально-економічні втрати (прямі і побічні, пов'язані із тимчасовим або повним припиненням трудової діяльності людини) через дорожньо-транспортні пригоди – це майже 70 млрд гривень на рік, що становить приблизно 2% валового внутрішнього продукту [1].

Смертність внаслідок дорожньо-транспортних пригод (ДТП) в Україні є достатньо високою у європейському регіоні, що також викликає стурбованість. За останні шість років (2015-2020 рр.) в Україні зареєстровано 938,74 тис. ДТП, із них 156 тис. пригод відбулося з постраждалими, у яких загинуло 21190 осіб та травмовано майже 195,5 тис. учасників дорожнього руху [2].

Разом з тим, сфера забезпечення безпеки дорожнього руху (БДР) не залишалася поза увагою держави продовж років незалежності, а особливо останні десять років. Було схвалено ряд стратегій та затверджено кілька Державних програм, виконання яких забезпечило б досягнення конкретних очікуваних результатів.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

20 жовтня 2010 року КМ України була схвалена «Транспортна стратегія України на період до 2020 року», метою якої стало визначення концептуальних засад формування та реалізації державної політики щодо забезпечення стабільного та ефективного функціонування галузі транспорту, створення умов для соціально-економічного розвитку країни, підвищення конкурентоспроможності національної економіки і рівня життя населення [3].

У документі зазначалося, що пріоритетами розвитку, зокрема, автомобільного транспорту є підвищення безпеки дорожнього руху та енергоефективності шляхом затвердження та виконання Державної цільової програми підвищення рівня БДР. Програмою передбачалося зниження рівня аварійності та важкості наслідків дорожньо-транспортних пригод, створення безпечних і комфортних умов руху транспортних засобів на вулично-дорожній мережі, а також удосконалення системи державного управління безпекою дорожнього руху на період до 2016 року [4].

Виконання передбачених заходів у повному обсязі мало б наблизити стан безпеки дорожнього руху до середньоєвропейського рівня шляхом зниження показників аварійності щодо соціального ризику (зменшення кількості загиблих унаслідок ДТП з 11,1 до 7,5 на 100 тис. населення), транспортного ризику (зменшення кількості загиблих унаслідок ДТП з 35 до 18 на 100 тис. транспортних засобів) і зниження тяжкості наслідків ДТП (кількість загиблих унаслідок дорожньо-транспортних пригод на 100 постраждалих) з 15,3 до 13,4 [2, 4]. Очікувані результати виконання Державної цільової програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2016 року у 2015 і 2016 роках наведені у таблиці 1 [4].

У лютому 2017 року міжвідомчою робочою групою з реформування державної системи безпеки дорожнього руху був запропонований до обговорення проект Стратегії з підвищення рівня безпеки дорожнього руху. Проект розроблявся на виконання положень вищезгаданих «Транспортної стратегії України на період до 2020 року» та грудневих Рекомендацій парламентських слухань на тему: «Стан і перспективи забезпечення в Україні безпеки дорожнього руху», схвалених Постановою Верховної Ради України від 13 квітня 2016 року [5].

Метою Стратегії стало зниження рівня смертності внаслідок ДТП щонайменше на 30% до 2020 року, ступеня тяжкості наслідків ДТП для учасників дорожнього руху та зменшення соціально-економічних втрат України від дорожньо-транспортного травматизму, а також запровадження ефективної системи управління безпекою дорожнього руху для забезпечення захисту життя та здоров'я населення. Розпорядженням КМ України від 14 червня 2017 р. №481-р Стратегія підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року була схвалена [6].

Пізніше, Постановою КМ України від 25 квітня 2018 р. № 435 була затверджена Державна програма підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року [7]. Метою програми передбачалося зниження в Україні рівня аварійності та ступеня тяжкості наслідків дорожньо-транспортних пригод, насамперед соціально-економічних, відповідно до цілей, визначених Стратегією підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року та Генеральною Асамблеєю ООН у рамках Десятиліття дій з безпеки дорожнього руху 2011-2020 років. Зокрема, зниження на 30% рівня смертності внаслідок дорожньо-транспортних пригод, а також створення безпечних і комфортних умов усім учасникам дорожнього руху.

Програмою запроваджувався також додатковий показник аварійності, віднесений до групи соціального ризику – кількість травмованих внаслідок дорожньо-транспортних пригод на 100 тис. населення. Очікувані результати виконання Державної програми підвищення рівня БДР в Україні на період до 2020 року наведені також у таблиці 1.

Таблиця 1 – Очікувані результати виконання Державних програм підвищення рівня БДР у 2015-2023 роках [4, 7, 14]

Найменування завдання	Найменування показників виконання завдання	Значення очікуваного показника									
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	
1. Зниження рівня соціального ризику	Кількість загиблих внаслідок дорожньо-транспортних пригод на 100 тис. населення	8,7	7,5	6,4*	6,5	5,0	4,0	11,3	10,1	8,8	
	Кількість травмованих внаслідок дорожньо-транспортних пригод на 100 тис. населення	-	-	-	69,4	64,7	60,0	119,3	106,1	92,8	
2. Зниження рівня транспортного ризику	Кількість загиблих внаслідок дорожньо-транспортних пригод на 100 тис. транспортних засобів	24,0	18,0	14,0*	19,9	18,8	18,2	34,1	30,3	26,5	
3. Зменшення тяжкості наслідків ДТП	Кількість загиблих внаслідок дорожньо-транспортних пригод на 100 постраждалих	14,4	13,4	12,5*	9,8	9,6	9,3	7,8	6,9	6,1	

*Очікувані показники за 2017 рік були отримані шляхом побудови лінійних трендів за даними 2013-2016 років наведених у Державній програмі підвищення рівня БДР на період до 2016 року.

ЦІЛІ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження стало визначення фактичних показників стану аварійності на вітчизняних дорогах та порівняння їх з очікуваними, що були зазначені у Державних програмах підвищення рівня безпеки дорожнього руху на періоди до 2016 і 2020 років, а також аналіз очікуваних показників, наведених у Державній програмі підвищення рівня безпеки дорожнього руху на період до 2023 року.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Департамент Патрульної поліції України кожного року публікує у вигляді таблиць Excel статистику дорожньо-транспортних пригод (ДТП) за період з 01 січня по 31 грудня [1].

Статистичні дані у регіонах України відображаються у таблицях 27 позиціями серед яких 24 області, два міста (Київ і Сімферополь) і АР Крим. Присутня також графа «загалом». Починаючи з 2015 року два рядки «АР Крим» і «Сімферополь» заповнюються «нулями», ще у двох областях – Донецькій і Луганській, дані наводяться неповні, а лише з підконтрольних Україні територій.

Аварійність на дорогах може оцінюватися абсолютними, відносними, питомими та іншими показниками. До абсолютних показників відносяться загальна кількість дорожніх пригод, кількість загиблих і травмованих. До відносних показників зараховують кількість загиблих і травмованих на 100 тис. населення (соціальний ризик), кількість загиблих на 100 тис. транспортних засобів (транспортний ризик), а також показники, що характеризують важкість ДТП, зокрема кількість загиблих на 100 постраждалих. Для подальших досліджень були визначені фактичні відносні показники та показник важкості пригод в Україні за 2015-2020 роки. Результати розрахунків наведені у таблиці 2.

Під час формування таблиці 2 чисельність населення і автомобільного парку України з 2015 по 2020 роки бралися, відповідно, з джерел [8] і [9, 10, 11]. Слід також зауважити, що у доступних джерелах наводиться суперечлива інформація про чисельність вітчизняного парку автомобілів, тому показник кількості загиблих на 100 тис. транспортних засобів може відображати не зовсім реальний стан на вітчизняних дорогах [12].

Таблиця 2 – Відносні показники і показники важкості ДТП

Рік	Загиблих на 100 тис. населення	Травмованих на 100 тис. населення	Загиблих на 100 тис. транспортних засобів	Загиблих на 100 постраждалих
2015	9,36	73,90	27,73	11,24
2016	8,01	78,93	22,18	9,21
2017	8,10	81,81	23,64	9,00
2018	7,95	73,27	26,10	9,79
2019	8,24	78,12	25,90	9,54
2020	8,51	76,81	23,26	9,97

Для проведення порівняння були побудовані графіки за даними таблиць 1 і 2, що зображені на рисунку 1. Аналіз графіків засвідчив, що запланована кінцева мета Державних програм підвищення рівня БДР на період, як до 2016, так і до 2020 року залишилася недосяжною (див. рис. 1, а; б; в). Виняток становить лише такий показник, як кількість загиблих внаслідок ДТП на 100 постраждалих де фактичні показники в останні три роки близькі до очікуваних (див. рис. 1, г). Однак слід зауважити, що ці числа були апріорі завищені у Державній програмі 2010 року, тому отримати позитивний результат було не складно.

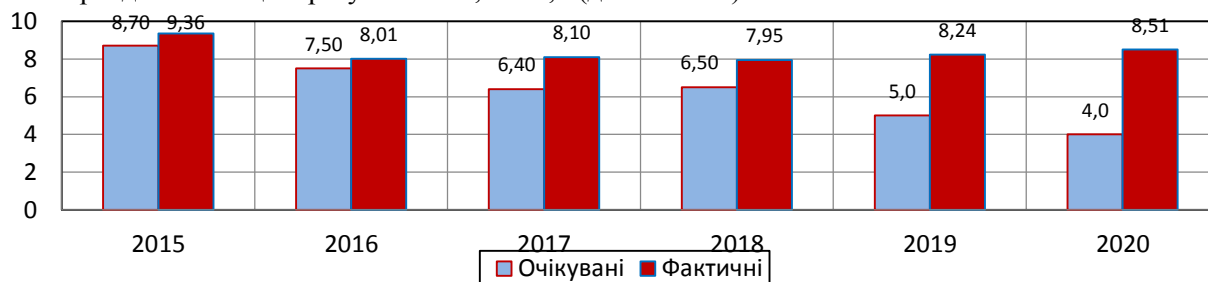
Відкориговані Державною програмою у 2018 році у напрямку збільшення фактичні показники кількості загиблих внаслідок ДТП на 100 тис. транспортних засобів, навіть при недоліках підрахунку автомобільного парку, перевищують очікувані на 31,2...37,8% (див. рис. 1, в). Таким чином, аналіз стану аварійності на дорогах України у 2016-2020 роках показав, що за трьома показниками з чотирьох Державні програми з підвищення рівня БДР на кінець 2020 року не були виконані.

21 жовтня 2020 року Кабінет Міністрів на засіданні схвалив чергову Стратегію підвищення рівня безпеки дорожнього руху до 2024 року [13]. Метою стратегії передбачалося зниження рівня смертності внаслідок дорожньо-транспортних пригод щонайменше на 30% до 2024 року, зниження ступеня тяжкості наслідків ДТП для учасників дорожнього руху та зменшення соціально-економічних втрат від дорожньо-транспортного травматизму, а також запровадження ефективної системи управління безпекою дорожнього руху для забезпечення захисту життя та здоров'я населення.

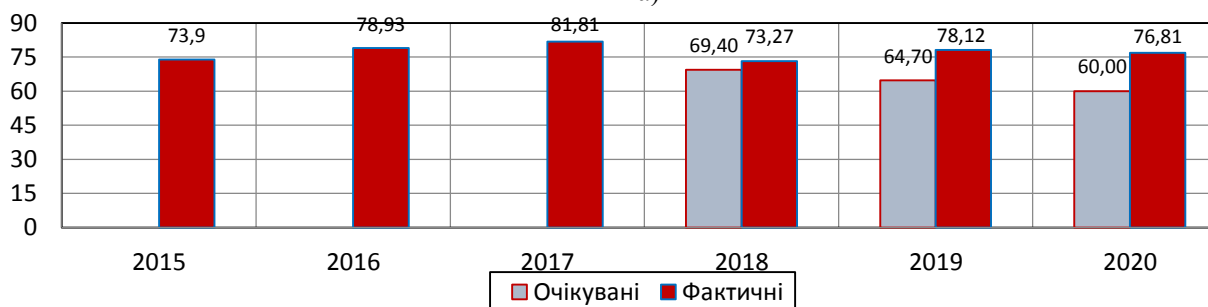
На основі прийнятої стратегії було розроблено і затверджено у грудні 2020 року Державну

програму підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2023 року, у якій було перераховано заходи та очікувані результати у разі її виконання (див. табл. 1) [14]. Натомість, останні викликали певне здивування. Якщо порівняти числа у таблиці 1 суміжних 2020 і 2021 років, то очікувані результати за першими трьома показниками зросли і лише кількість загиблих внаслідок дорожньо-транспортних пригод на 100 постраждалих у 2021 і наступних роках передбачається меншою. Ще більша неузгодженість спостерігається, коли порівняти фактичні показники 2020 року з очікуваними 2021-го (див. табл. 1 і 2). Прогнозується (щоб не сказати планується) гірша ситуація на українських дорогах, ніж та, що є у дійсності.

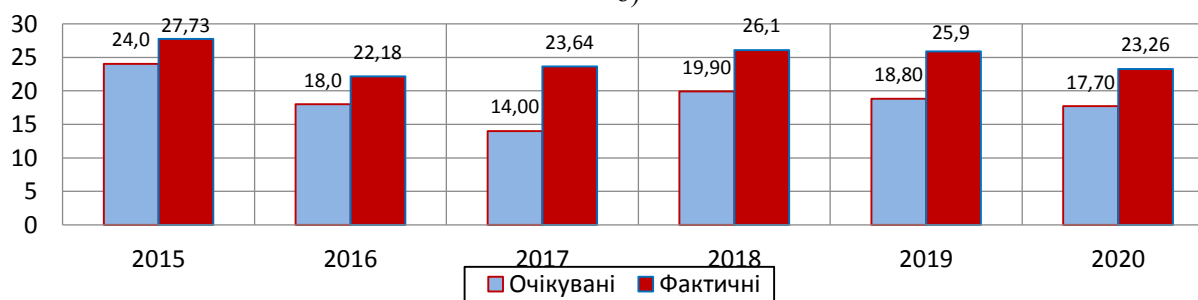
Також суперечливими виглядають два нових показники, що оцінюють рівень тяжкості наслідків дорожньо-транспортних пригод – це кількість загиблих і травмованих на 100 ДТП. За розрахунками останніх п'яти років їх фактичні значення знаходяться у межах, відповідно, 2,1...2,2 і 19,0...21,3, що досить легко можна було вирахувати, однак у 2021 році очікуються чомусь невинувато завищені результати 3,1 і 31,9 (див. табл. 3).



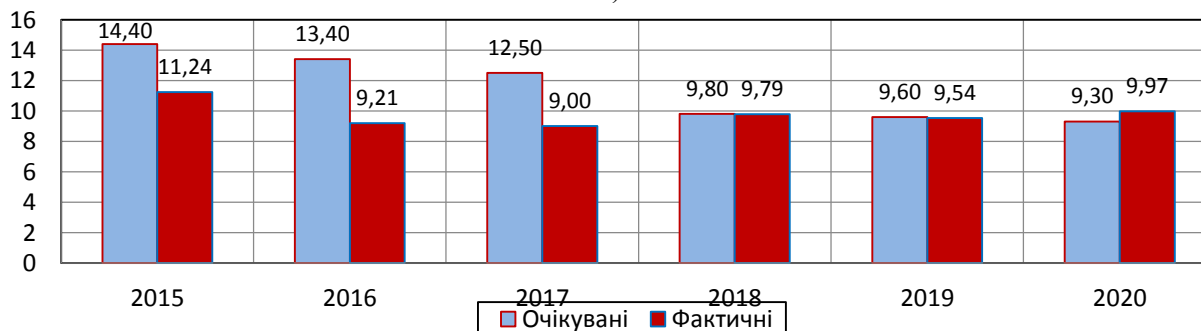
а)



б)



в)



г)

Рисунок 1 – Порівняння очікуваних і фактичних відносних показників аварійності: а – кількість загиблих внаслідок ДТП на 100 тис. населення; б – кількість травмованих внаслідок ДТП на 100 тис.

населення; в – кількість загиблих внаслідок ДТП на 100 тис. транспортних засобів; г – кількість загиблих внаслідок ДТП на 100 постраждалих

Таблиця 3 – Фактичні і очікувані показники рівня тяжкості наслідків дорожньо-транспортних пригод за роками [14].

Найменування завдання	Найменування показників виконання завдання	Значення фактичного показника					Значення очікуваного показника		
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Зменшення рівня тяжкості наслідків дорожньо-транспортних пригод	Кількість загиблих внаслідок дорожньо-транспортних пригод на 100 дорожньо-транспортних пригод	2,2	2,1	2,2	2,2	2,1	3,1	2,7	2,4
	Кількість травмованих внаслідок дорожньо-транспортних пригод на 100 дорожньо-транспортних пригод	21,2	21,3	20,6	20,4	19,0	31,9	28,4	24,9

Складається враження, що таблиця очікуваних показників для Державної програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2023 року формувалася у зворотному порядку: значення 2020 року приймалися на 30% більшими від значень 2023 року. Звичайно, за таких умов чергова програма підвищення рівня безпеки дорожнього руху може бути виконана.

Подібні висновки можна також зробити аналізуючи Національну транспортну стратегію України на період вже до 2030 року, що була схвалена розпорядженням КМ України від 30 травня 2018 р. №430-р [15]. Внаслідок запровадження стратегії очікується зменшення до 2030 року на 50% рівня смертності та кількості травмованих у ДТП на 100 тис. населення. Іншими словами, якщо брати за базу 2017 рік, то число загиблих має складати 4, а травмованих 40-41 особа. Власне, це плани 2020 року, які не були виконані і перенесені на наступне десятиліття.

Разом з тим, варто відзначити, що ситуація на українських дорогах не найгірша у порівнянні з іншими країнами. Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) у 2018 році склала черговий рейтинг країн за смертністю у ДТП. З цією метою вони вираховували кількість смертей в аваріях на 100 тисяч населення і, як наслідок, поставили Україну з результатом 13,7 на 104 місце [16].

Згідно з отриманими результатами, показник України становить насправді 7,95 смертей на 100 тисяч населення, тому Україну можна віднести до країн з «низькою» кількістю смертей у ДТП і розмістити її у рейтингу на 137 місці між Литвою (8,0) і Угорщиною (7,8). Гірша ситуація, ніж в Україні, у сусідніх Польщі – 9,7 смертей і 125 місце, Білорусі – 8,9 і 132; краща в Чехії – 5,9 смерті і 149 місце, Франції – 5,51 і 155, Німеччині – 4,1 і 162. Найкраща ситуація у 2018 році була на Мальдівах, де на 100 тис. населення припадало 0,9 смертей, відповідно, 174 місце, найгірша – у Ліберії – 35,9 смертей і перше місце у рейтингу ВООЗ [16].

Можна зрештою вітати прагнення України досягти показників ФРН навіть через 10 років, якби не було прикладу Японії. У 2015 році на її дорогах загинуло менше 4 тисяч, а у 2020 році 2839 осіб та трапилося 320 тис. ДТП [17]. Це при тому, що населення Японії станом на 2020 рік становило 125,6 млн мешканців, а на 1000 японців припадає 591 автомобіль. Як зазначається у повідомленні: «...підвищення рівня безпеки на дорогах стало результатом роботи уряду і пов'язаних з ним організацій, а також зусиль кожного громадянина Японії» [17].

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Упродовж останніх десяти років сфера забезпечення безпеки дорожнього руху не залишалася поза увагою держави про що свідчить ряд прийнятих документів, перелік яких наведено у таблиці 4.

Таблиця 4 – Перелік документів прийнятих, в Україні з метою підвищення рівня БДР

Дата прийняття	Назва документа
Жовтень 2010 р.	Транспортна стратегія України на період до 2020 року
Жовтень 2010 р.	Державна цільова програма підвищення рівня безпеки дорожнього руху до 2016 року

Червень 2017 р.	Стратегія підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року
Квітень 2018 р.	Державна програма підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року
Травень 2018 р.	Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року
Травень 2019 р.	План заходів на 2019-2021 роки з реалізації Національної транспортної стратегії на період до 2030 року
Жовтень 2020 р.	Стратегія підвищення рівня безпеки дорожнього руху до 2024 року
Грудень 2020 р.	Державна програма підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2023 року

Однак проведений аналіз показав, що досягти запланованих результатів, за окремим виключенням, не вдалося. Більше того, дивним виглядає невідповідність між запланованими показниками аварійності і отриманими фактичними, коли перші перевищують останні, що повертає рівень аварійності у державі на кілька років назад.

Особливо це помітно на прикладі Японії, де навпаки останніми роками спостерігається прогрес. Так, в Україні станом на 01.01.2021 р. проживало 41,59 млн осіб, а на 1000 мешканців припадало 245 легковіки [8, 11]. Натомість, результати роботи українського уряду, пов'язаних з ним організацій та кожного українця зокрема, як видно з аналізу відносних показників аварійності, неспівмірні з японськими.

ВИСНОВКИ

Політика держави у сфері забезпечення БДР в останні десять років не призвела до відчутних результатів щодо зниження рівня аварійності на вітчизняних дорогах. Прийняті Стратегії та, на їх виконання, Державні програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні, судячи за результатами проведеного аналізу, не були виконані. Фактичні показники соціального і транспортного ризиків у 2015-2020 роках були гірші за очікувані і лише кількість загиблих внаслідок ДТП на 100 постраждалих було меншою або знаходилася на одному рівні.

Запровадження двох нових очікуваних показників оцінки рівня важкості наслідків ДТП на 2021-2023 роки викликають певне здивування: чомусь їх значення гірші за фактичні показники отримані у 2016-2020 роках. Так само дивують шляхи підвищення рівня безпеки дорожнього руху, закладені у Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року, за якою очікується зменшення до 2030 року на 50% рівня смертності та кількості травмованих у ДТП на 100 тис. населення. За своєю суттю – це плани 2020 року, що не були виконані і перенесені на наступні десять років.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Україна через ДТП в рік втрачає 70 млрд грн – МІУ. URL : <https://prm.ua/ukrayina-cherez-dtp-v-rik-vtrachaye-70-mlrd-grn-miu/> (дата звернення: 11.12.2020).
2. Статистика ДТП в Україні. URL : <http://patrol.police.gov.ua/statystyka/> (дата звернення: 10.02.2021).
3. Транспортна стратегія України на період до 2020 року. *Офіційний вісник України*. 2010 р. № 92. С. 3280.
4. Державна цільова програма підвищення рівня безпеки дорожнього руху. *Урядовий кур'єр*. 2013. 08 трав. (№ 82).
5. Постанова Верховної Ради України Про Рекомендації парламентських слухань на тему: «Стан і перспективи забезпечення в Україні безпеки дорожнього руху». URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1091-19#Text> (дата звернення: 10.02.2021).
6. Стратегія підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 14.06.2017 р. №481-р. *Офіційний вісник України*. 2017 р. № 59. С. 1808.
7. Постанова від 25 квітня 2018 р. № 435 «Про затвердження Державної програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року». URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/en/435-2018-%D0%BF> (дата звернення: 10.02.2021).
8. Чисельність населення України з 2015 по 2020 рр. URL :

<https://index.minfin.com.ua/ua/reference/people/> (дата звернення: 11.03.2021).

9. Возраст автомобильного парка Украины на начало 2017 года. URL : <http://carinfo.kiev.ua/vozrast-avtomobilnogo-parka-ukrainy-2017> (дата звернення: 11.03.2021).

10. Чому бреше статистика ДТП в Україні. URL : <https://www.autocentre.ua/ua/news/sobytie/chomu-breshe-statistika-dtp-v-ukrayini-45188.html> (дата звернення: 11.03.2021).

11. В Киеве уровень автомобилизации превысил 400 авто на 1000 жителей. Когда будет как в Европе? URL : <http://www.autoconsulting.com.ua/article.php?sid=48496> (дата звернення: 16.03.2021).

12. Міжнародний конгрес з безпеки на транспорті – ДП «ДержавтотрансНДІпроект». URL : <https://www.insat.org.ua/phpfiles/other/news/111119/> (дата звернення: 15.03.2021).

13. Стратегія підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2024 року. *Урядовий кур'єр* від 04.11.2020 – № 214.

14. Державна програма підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2023 року. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1287-2020-%D0%BF#Text> (дата звернення: 11.02.2021).

15. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80> (дата звернення: 11.02.2021).

16. Рейтинг стран по уровню смертности в ДТП. URL : <https://nonews.co/directory/lists/countries/mortality-road-traffic> (дата звернення: 11.03.2021).

17. Скарбик Павло. Японія домоглася найнижчого рівня смертності в ДТП у світі. URL : <https://uamotors.com.ua/news/38940> (дата звернення: 16.03.2021).

REFERENCES

1. Ukrayina cherez DTP v rik vtrachaye 70 mlrd hrn – MIU. URL : <https://prm.ua/ukrayina-cherez-dtp-v-rik-vtrachaye-70-mlrd-grn-miu/> (data zvernennya: 11.12.2020).

2. Statystyka DTP v Ukrayini. URL : <http://patrol.police.gov.ua/statystyka/> (data zvernennya: 10.02.2021).

3. Transportna stratehiya Ukrayiny na period do 2020 roku. *Ofitsiynyy visnyk Ukrayiny*. 2010 r. № 92. S. 3280.

4. Derzhavna tsilova prohrama pidvyshchennya rivnya bezpeky dorozhnoho rukhu. *Uryadovyy kurier*. 2013. 08 trav. (№ 82).

5. Postanova Verkhovnoyi Rady Ukrayiny Pro rekomendatsiyi parlamentskikh slushaniy na temu: «Stan ta perspektyvy zabezpechennya v Ukrayini bezpeky dorozhnoho rukhu». URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1091-19#Text> (data zvernennya: 10.02.2021).

6. Stratehiya pidvyshchennya rivnya bezpeky dorozhnoho rukhu v Ukrayini na period do 2020 roku: Rozporyadzhennya Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 14.06.2017 r. №481-r. *Ofitsiynyy visnyk Ukrayiny*. 2017 r. № 59. S. 1808.

7. Postanova vid 25 kvitnya 2018 r. № 435 «Pro zatverdzhennya Derzhavnoyi prohramy pidvyshchennya rivnya bezpeky dorozhnoho rukhu v Ukrayini na period do 2020 roku». URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/en/435-2018-%D0%BF> (data zvernennya: 10.02.2021).

8. Chyselnist naseleennya Ukrayiny z 1990 po 2019 rr. URL : <https://index.minfin.com.ua/ua/reference/people/> (data zvernennya: 11.03.2021).

9. Vik avtomobilnogo parku Ukrayiny na pochatok 2017 roku. URL : <http://carinfo.kiev.ua/vozrast-avtomobilnogo-parka-ukrainy-2017> (data zvernennya: 11.03.2021).

10. Chomu breshe statystyka DTP v Ukrayini. URL : <https://www.autocentre.ua/ua/news/sobytie/chomu-breshe-statistika-dtp-v-ukrayini-45188.html> (data zvernennya: 11.03.2021).

11. V Kiyeve uroven avtomobilizatsii prevysil 400 avto na 1000 zhiteley. Kogda budet kak v Yevrope? URL : <http://www.autoconsulting.com.ua/article.php?sid=48496> (data zvernennya: 16.03.2021).

12. Mizhnarodnyy konhres z bezpeky na transporti - DP «DerzhavtотransNDIproekt». URL : <https://www.insat.org.ua/phpfiles/other/news/111119/> (data zvernennya: 15.03.2021).

13. Stratehiya pidvyshchennya rivnya bezpeky dorozhnoho rukhu v Ukrayini na period do 2024 roku. *Uryadovyy kurier* vid 04.11.2020 – № 214.

14. Derzhavna prohrama pidvyshchennya rivnya bezpeky dorozhnoho rukhu v Ukrayini na period do

2023 roku. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1287-2020-%D0%BF#Text> (data zvernennya: 11.02.2021).

15. Natsionalna transportna stratehiya Ukrainy na period do 2030 roku. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80> (data zvernennya: 11.02.2021).

16. Reytynh krayin za rivnem smertnosti v DTP. URL : <https://nonews.co/directory/lists/countries/mortality-road-traffic> (дата звернення: 11.03.2021).

17. Skarbyk Pavlo. Yaponiya domohlasya naunyzhchoho rivnya smertnosti v DTP u sviti. URL : <https://uamotors.com.ua/news/38940> (data zvernennya: 16.03.2021).

V.Kyshchun. The accident rate on Ukrainian roads: expectations that did not come true

The study aimed to determine the actual accidents' state indicators on domestic roads and compare them with the expected, which were approved in the State programs to improve road safety for the periods up to 2016 and 2020, as well as analysis of expected indicators given in the State program level of road safety for the period up to 2023.

The state of the accident was assessed by such indicators as the number of dead and injured per 100 thousand population (social risk), the number of dead per 100 thousand vehicles (transport risk), as well as three indicators that characterize the severity of the accident: the number of deaths per 100 injured and the number of fatalities and injuries per 100 traffic accidents. In the process of research, were determined the actual accident rates in Ukraine in 2015-2020. As a result, it was found that the actual indicators of social and transport risks in these years were worse than expected except only the number of deaths due to road accidents per 100 victims was less or was at the same level.

Some irrelevances between the planned expected results are observed in the State Program for Improving Road Safety in Ukraine for the period up to 2023. If we compare the numbers of adjacent 2020 and 2021, the expected results on three indicators have increased unjustifiably and only the number of deaths due to road accidents per 100 victims in 2021 and subsequent years is expected to be lower. An even greater irrelevance is observed when comparing the actual figures for 2020 with the expected ones for 2021; the Ukrainian roads' situation predicts to become worse than it is. Similarly irrelevant are the two new indicators that assess the severity of the accidents' consequences - the number of dead and injured per 100 accidents.

In Ukraine, the statistics on the death and injury of people as a result of road traffic accidents remains quite high, as for the European region. Analysis of the state of accidents on domestic roads for 2015-2020 showed that three out of four State road safety improving programs' indicators have not been implemented, and the planned accident indicators will not help improve the situation in the field of road safety.

Keywords: road safety, transport strategy, state programs, accident reduction, expected accident rates, actual accident rates.

КИЩУН Володимир Андрійович, кандидат економічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет, e-mail: kyshchun52@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0003-4019-8034>.

Volodymyr KYSHCHUN, PhD. in Economic, Assoc. Professor of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: kyshchun52@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0003-4019-8034>.

DOI 10.36910/automash.v1i16.509

Кочина А.А.

*Харківський національний автомобіль-дорожній університет***ОЦІНКА ВПЛИВУ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ**

Робота присвячена розробці ефективних методів прогнозування інтенсивності руху транспортних потоків поблизу населених пунктів різних груп поселень. Аналіз літературних джерел показав, що розробка техніко-економічних обґрунтувань та проектів будівництва та реконструкції автомобільних доріг, формування проектів організації дорожнього руху ґрунтується на закономірностях формування транспортних потоків. Точність прогнозування інтенсивності транспортних потоків може значно знижуватись поблизу великих міст, це пов'язано з особливостями формування вантажних та пасажирських потоків на підходах до великих міст, величина яких зростає по мірі наближення до міста. Пошук залежності між фактичним значенням інтенсивності руху та місцем визначення її відносно розташування ділянки до центру міста (населеного пункту) дозволяє оцінити ступень впливу міста на її величину. Результат досліджень полягає в встановленні математичного опису залежності між інтенсивністю транспортних потоків і відстані до центру міста, який надано у вигляді перетворення з використанням відстані, як основи, що приводить до збільшення зв'язку між ними. Тіснота зв'язку між інтенсивністю руху транспортних потоків і відстанню до центру міста встановлена не тільки для великих міст, а також для середніх і малих міст. Встановлений взаємозв'язок носить показниковий характер для всіх груп поселень з різною чисельністю населення та підтверджує вплив населених пунктів на інтенсивність руху транспортних потоків поблизу них. Дослідження показали, що результат оцінки впливу населених пунктів на інтенсивність руху транспортних потоків з достатньою точністю описується регресійними рівняннями, в яких як змінні виступають параметри, які характеризують населені пункти, а саме віддаленість від центру населеного пункту та чисельність населення. Статистична оцінка отриманих моделей свідчить про допустимість їх використання для прогнозування інтенсивності транспортних потоків поблизу населених пунктів.

Ключові слова: інтенсивність руху, транспортний потік, ступень впливу, відстань, кореляція, група поселень, чисельність населення, модель.

ВСТУП

В даний час збільшується взаємовплив та взаємозв'язок міста з його оточенням, який характеризується тим, що ділянки автомобільних доріг (АД) на підходах до великих міст відчують підвищене транспортне навантаження, яке збільшується у мірі наближення до межі міста. Особливістю формування транспортних потоків на цих ділянках викликано наявністю рекреаційних зон, розміри яких залежать від величини міста. Наявність таких зон формує маятниковий рух, який пов'язаний з переселенням міських жителів за місто, від транспорту, який використовується для поїздок у місто, виключно легковий, рівень автомобілізації цієї частини населення, як правило, може удвічі перевищує середній рівень автомобілізації у регіоні. Маятниковий рух призводить до нерівномірності руху протягом доби в різних напрямках і виникнення заторів у години пік. Поряд з цим, АД на підходах до великих міст, як правило, є ділянками найважливіших автомагістралей нашої країни, що зв'язують найбільші транспортні вузли та забезпечують транзитні, в тому числі міжнародні, транспортні зв'язки.

Прогнозування величини інтенсивності руху (ІР) транспортних потоків (ТП) на підходах до великих міст створює основу для розробки техніко-економічних обґрунтувань будівництва та реконструкції АД, формування проектів з організації дорожнього руху та прогнозування попиту на пересування, як мешканців прилеглих зон до міської території так і для мешканців міста.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

На величину ІР ТП може впливати багато факторів, які повинні бути направлені на визначення ролі і місця міста в системі міжнародних, державних і регіональних соціально-економічних, культурно-історичних і ін. сферах. Важливим є характер і зміст системи розселення населення і місць праці в зоні впливу міста – центру і його оточення, рівень автомобілізації населення і його транспортна рухомість, рівень розвитку транспортної інфраструктури та ін. Частина цих факторів визначає умовно постійну складову частку завантаження автомобільних доріг в будні дні тижня, частина з них – змінну частку, яка визначається нерівномірністю ІР по сезонам року, дням тижня, годинам доби та напрямкам руху. Величина ІР пасажирського транспорту залежить від цілі поїздки та визначає вибір виду транспорту і часу поїздки. Величина ІР вантажного транспорту в значному ступені залежить від виду вантажу, що вносить суттєву невизначеність у процеси їхнього формування.

В роботах [1, 2, 3, 4] визначення величини ІР засновано на використанні факторів, які враховують характеристики населених пунктів такі, як чисельність мешканців населених пунктів та їх адміністративна значимість, яка визначає мобільність населення. При визначенні кореспонденцій між населеними пунктами враховується відстань та зона впливу кожного населеного пункту. Серед узагальнених показників використовується рівень автомобілізації, експлуатаційні показники вантажних автомобілів і автобусів та характеристика технічного стану ділянок автодоріг. Усі перераховані показники визначаються як середні, або табличні (еталони), що суттєво знижує точність прогнозування ІР при відсутності фактичних значень, отримати об'єктивну оцінку яких далеко не завжди можливо.

В підході [5] прогнозне значення ІР визначається в залежності від середнього потоку на конкретній ділянці і відстані від міста на основі регресійної моделі. Максимальне зростання інтенсивності безпосередньо біля міста за моделлю складає приблизно 3 рази, хоча фактичні значення можуть бути як значно меншими, так й навпаки, значно більшими. Це обумовлене не досить високим, щодо цілей прогнозування, коефіцієнтом детермінації, який складає лише 38,2 %. Пояснення недостатньої прогностичної можливості моделі полягає у наявності інших факторів, що здійснюють вплив на величину ТП в околицях міст.

У приведених методиках враховується закономірності формування величини ІР ТП тільки для маятникового руху, але не враховуються закономірності формування транзитного та місцевого руху, який визначається загальними обсягами перевезень вантажів та пасажирів.

Згідно з [6] ІР на АД загального користування суттєво залежить від відстані до центру міста. Статистичні характеристики моделі є дуже високими, що підтверджує залежність інтенсивності ТП від відстані до центру міста. Для отримання моделі використані дані величини ІР лише магістральних АД загального користування, що потребує розширення на увесь спектр автомобільних доріг на національному та регіональному рівні. Це вочевидь потребуватиме збільшення кількості факторних ознак, що здійснюють вплив на величину ТП.

Отримані моделі в роботі [7] дозволили врахувати характеристики населених пунктів для різних видів транспортних засобів. З точки зору ступені впливу міста в залежності від його приналежності до групи поселень, цей вплив може бути різний в кожній групі, або взагалі його може не бути для невеликих поселень. Відповідно до такої характеристики доцільно дослідити залежність ІР від встановлених факторів для кожної групи поселень для встановлення їх впливу на її величину.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є формалізація математичного опису впливу характеристик населених пунктів на інтенсивність руху транспортних потоків на мережі міжнародних, національних та регіональних дорогах загального користування для різних груп поселень. Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні завдання:

- встановити взаємозв'язок між величиною інтенсивності руху та місцем її визначення відносно населеного пункту для визначення ступеню впливу;
- виявлення факторів, що впливають на величину інтенсивності руху для різних груп поселень;
- математична формалізація впливу параметрів, які характеризують населені пункти, на інтенсивність руху транспортних потоків на автомобільних дорогах загального користування для різних груп поселень.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Оцінити вплив міста та його характеристик можливо на основі статистичних даних інтенсивності транспортних зв'язків [8]. Одним з показників, який характеризує інтенсивність транспортних зв'язків, є ІР ТП. Встановити взаємозв'язок між ІР ТП та, наприклад, кількістю мешканців населених пунктів, можливо за умови використання даних для різних груп міст. Необхідною умовою для встановлення взаємозв'язку між ІР ТП та містом також повинні бути дані ІР ТП по мережі доріг різних категорій, до яких повинні відноситись не тільки міжнародні та національні автомобільні дороги загального користування, а й регіональні дороги, які певною мірою характеризують як приміське сполучення так маятниковий рух в напрямку міста та навпаки.

Важливе значення має характеристика ділянки визначення ІР, яка повинна мати точні дані про розташування місця заміру ІР відносно населеного пункту, а саме відстань від межі міста або адміністративного чи історичного центру міста. У роботі [7] вдалося знайти ефективне логарифмічне перетворення з використанням відстані до центру міста як основи, що приводить до збільшення кореляційного зв'язку між фактичним значенням ІР ТП та відстанню:

$$N^i = \text{Log}_L N, \quad (1)$$

де L – відстань між центром населеного пункту та місцем визначення ІР ТП на ділянці автомобільної дороги загального користування, км;

N – фактичне значення ІР ТП, авт./доб;

N' – перетворення ІР ТП залежно від відстані L .

При дослідженні розглядалися ділянки поблизу населених пунктів районного та обласного значення з чисельністю населення більш 7 тис. осіб. Потреба в застосуванні запропонованого підходу на прикладі міст для різних груп населених пунктів надасть можливість визначити наявність цього зв'язку не тільки для великих міст, а також для середніх та малих населених пунктів, які не відносяться до обласних центрів й можуть не утворювати вплив на ІР. Фактичні значення інтенсивності, отримані за допомогою натурних обстежень, були надані Держаним агентством автомобільних доріг України. Склад транспортних потоків на автомобільних дорогах загального користування включає в себе 9 категорій ТЗ: легкові, вантажні легкі, вантажні середні, вантажні важкі, автобуси середні, автобуси важкі, тягачі, автопоїзди, мотоцикли та інші. Транспортні потоки визначались протягом доби на визначених місцях автомобільної дороги відповідної категорії. Обстеження проводились для різних категорій доріг, які мають різні характеристики. Відстані були визначені між ділянкою автомобільної дороги в місці її фіксації (відстань від початку відповідної траси) та центру найближчого міста до цієї ділянки. Значення відстаней було отримано за допомогою сервісу [9]. У результаті було отримано 713 значень для 81 населеного пункту на території України.

На рисунку 1 представлено кореляційне залежність між ІР ТП та L для фактичних значень ІР поблизу міст відповідно до групи поселень, яка має не яскраво виражену щільність та направленість, а також перетворених значень згідно залежності (1) на якій спостерігається збільшення щільності та направленості.

Відповідно до отриманих N та розрахованих значень N' було визначено значення коефіцієнту кореляції (табл.1), який характеризує ступень впливу відстані L до центру міста на величину ІР ТП. Підтвердження збільшення зв'язку між величинами N та L після перетворення згідно залежності (1) надає можливість стверджувати о впливі міста на величину ІР ТП для різних груп населених пунктів та можливості прогнозування її величини для кожної групи окремо, враховуючи що цей вплив може мати різний ступень.

Таблиця 1 – Оцінка ступеню впливу відстані до міста для різних груп поселень на ІР ТП

Групи поселень	Чисельність населення, тис. осіб	Кількість спостережень, од.	Лінійний коефіцієнт кореляції	
			Відстань L , км та фактична N , авт./доб	Відстань L , км та перетворена N'
Найзначніші (крупніші)	Понад 1000	89	-0,41	-0,767
Значніші (крупні)	Понад 500 до 1000	111	-0,47	-0,684
Великі	Понад 250 до 500	182	-0,41	-0,683
Середні	Понад 100 до 250 Понад 50 до 100	133	-0,41	-0,69
Малі	Понад 20 до 50 Понад 10 до 20 До 10	198	-0,24	0,607

Можливо стверджують, що величина ІР ТП на ділянках автомобільних доріг поблизу міст визначаються численними факторами і залежностями, як внутрішнього, так і зовнішнього характеру.

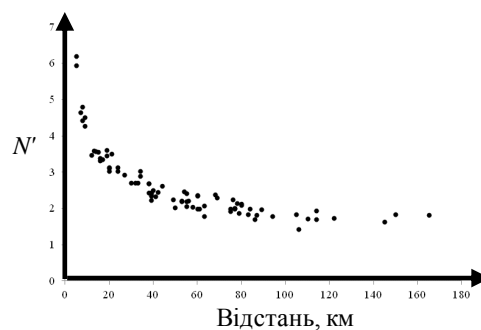
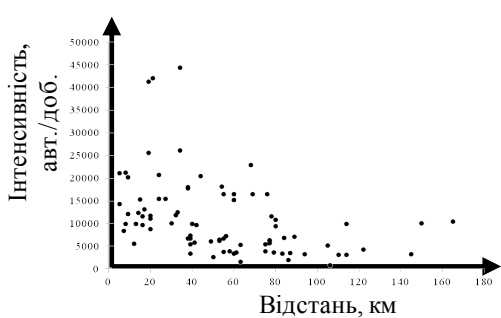
При визначенні факторів, які впливають на ІР ТП було обрано параметри, які можливо поділити на дві групи: перша – характеризує дорожні умови, в яких здійснюється рух ТП; друга – характеристики міст (населених пунктів), які знаходяться поблизу. До першої групи можливо віднести:

- кількість смуг руху n , од.;
- швидкість руху на ділянці дороги V , км/год.;
- середня інтенсивність руху N_{cp} , авт./доб.

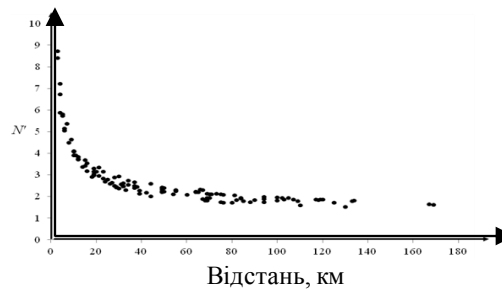
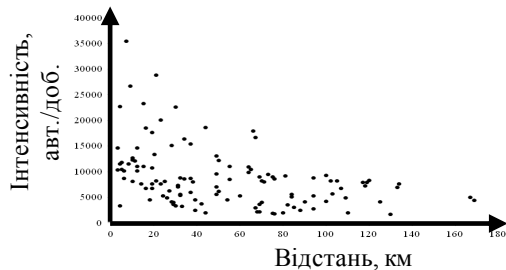
До другої групи віднесено:

- чисельність населення P , осіб;

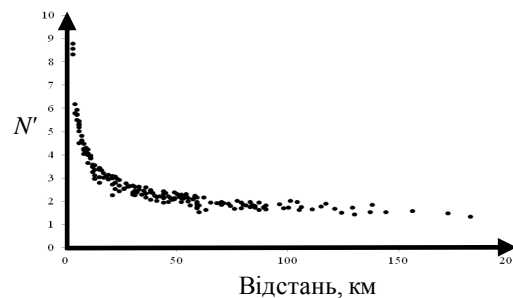
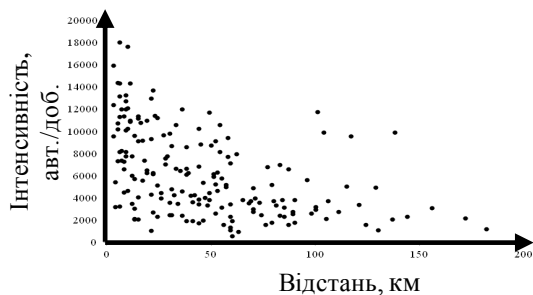
– віддаленість від населеного пункту $\frac{1}{L}$, км.



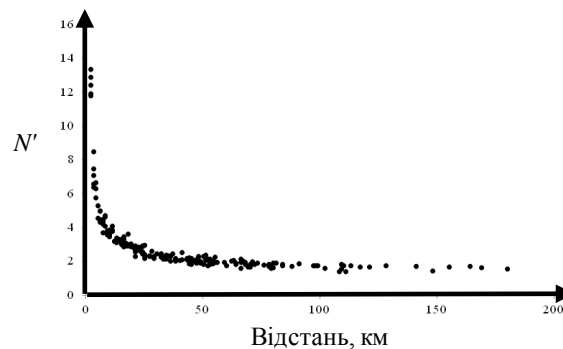
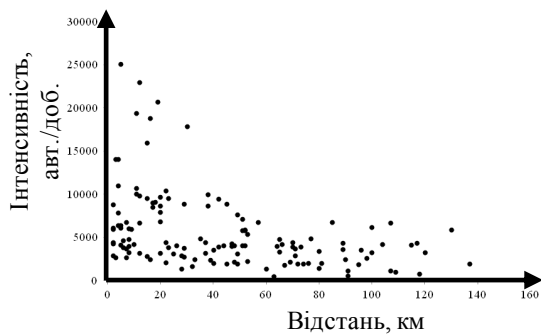
а)



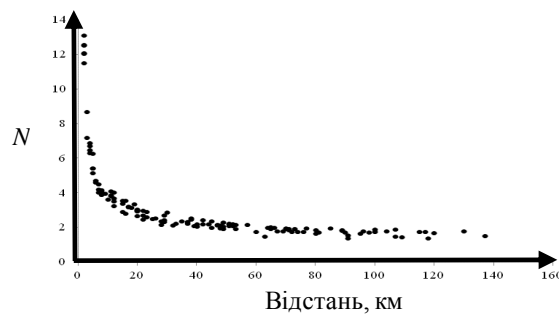
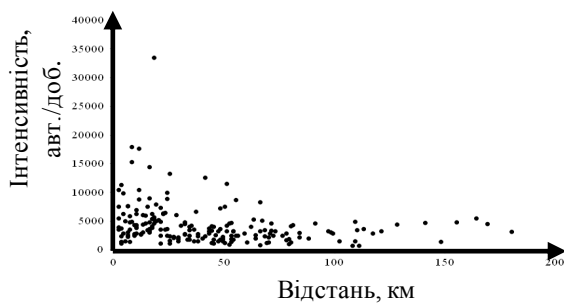
б)



в)



г)



д)

Рисунок 1 – Розподіл інтенсивності руху в залежності від відстані до центру населеного пункту різних груп поселень: а – найзначніші (крупніші) міста; б – значніші (крупні) міста; в – великі міста; г – середні міста; д – малі міста

В результаті розрахунків параметри N_{cp} , V та n згідно регресійного аналізу [10] були визначені, як фактори які не здійснюють вагомому впливу на ІР ТП. Відповідно до результатів розрахунків були отримані моделі для усіх груп поселень:

– Крупніші міста

$$N' = \text{Log}_L N = 1,7108 + 0,00004 \cdot P + 22,969 \cdot \frac{1}{L}; \quad (2)$$

– Крупні міста

$$N' = \text{Log}_L N = 1,535 + 0,00037 \cdot P + 20,645 \cdot \frac{1}{L}; \quad (3)$$

– Великі міста

$$N' = \text{Log}_L N = 1,644 + 0,00023 \cdot P + 20,592 \cdot \frac{1}{L}; \quad (4)$$

– Середні міста

$$N' = \text{Log}_L N = 1,624 + 0,00018 \cdot P + 20,768 \cdot \frac{1}{L}; \quad (5)$$

– Малі міста

$$N' = \text{Log}_L N = 1,462 + 0,00288 \cdot P + 20,043 \cdot \frac{1}{L}. \quad (6)$$

Після розробки регресійних моделей (2) – (6) була проведена статистична оцінка моделей. Результати розрахунків наведені в таблиці 2. Результати досліджень показали, що при оцінці впливу міста на ІР ТП з усіх досліджуваних факторів значимими виявилися тільки віддаленість від міста та чисельність населення, які характеризують населений пункт. Про це свідчить розрахункове значення критерію Стьюдента, яке більше табличного значення. Тіснота зв'язку між залежною змінною і факторами, що впливають на її рівень, визначалася коефіцієнтом множинної кореляції. Його значення свідчить про високий ступінь тісноти зв'язку між значеннями перетвореної ІР ТП і відібраними факторами. Оцінка адекватності розробленої моделі проводилася за показником середньої помилки апроксимації. Її значення відповідає допустимим межах

Таблиця 2 – Результати оцінки моделей впливу населених пунктів різних груп поселень на інтенсивність руху транспортних потоків

Показники	Значення				
	Групи поселень				
	Найзначніші (крупніші)	Значніші (крупні)	Великі	Середні	Малі
Коефіцієнт множинної кореляції	0,966	0,984	0,984	0,992	0,983
Коефіцієнт детермінації	0,935	0,969	0,968	0,983	0,967
Середня похибка апроксимації	0,234	0,241	0,233	0,309	0,356
Критерій Фішера	618,17	1686,42	2751,63	3860,72	2841,63

Результати розрахунків вказують на значно кращій результат між параметрами моделей, що дозволяє зробити висновок о можливості застосування запропонованого підходу для прогнозування ІР.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Визначені фактори згідно експериментальних досліджень, які впливають на величину ІР ТП свідчать про доцільність використання характеристик населених пунктів для прогнозування величини ІР ТП. Застосування запропонованої методики доцільно розглядати для міст різної категорії, які мають різну чисельність населення та підпорядкованість (обласний та районний центр).

Відповідно до отриманих моделей 2 – 6 для моделювання ІР ТЗ необхідно виконати математичні перетворення для отримання значення величини транспортного потоку. Як було зазначено згідно теоретичних досліджень для отримання величини ІР перехід до змодельованого значення N можливо за допомогою математичного виразу цієї величини згідно отриманої регресійної моделі враховуючи параметри моделі, які виявились значимими згідно регресійного аналізу.

Відповідно до цього для отримання змодельованої величини N для різних груп населених пунктів буде мати наступний вигляд:

$$N = e^{(1,7108+0,00004P+22,969\frac{1}{L})LnL} \quad (7)$$

$$N = e^{(1,535+0,00037P+20,645\frac{1}{L})LnL} \quad (8)$$

$$N = e^{(1,644+0,00023P+20,592\frac{1}{L})LnL} \quad (9)$$

$$N = e^{(1,624+0,00018P+20,768\frac{1}{L})LnL} \quad (10)$$

$$N = e^{(1,462+0,00288P+20,043\frac{1}{L})LnL} \quad (11)$$

В таблиці 3 представлені максимальні та середні значення розрахункових даних для різних груп поселень.

Таблиця 3 – Результати моделювання інтенсивності руху

Групи поселень	Величина N по моделі, авт./доб.		
	Максимальна	Середня	Мінімальна
Найзначніші (крупніші)	23697	10828	6589
Значніші (крупні)	20957	9035	4165
Великі	14783	6245	4724
Середні	9182	5617	4924
Малі	8151	4293	2070

Максимальне відхилення на окремих ділянках перевищує 20 %, що пояснюється відповідності фактичним даних о завантажених ділянках на яких пропускна здатність менш ніж потік транспортних засобів. Такі ситуації не можуть бути враховані при моделюванні з використанням тільки чисельності населення. Для цього необхідно розширення параметрів, які будуть враховувати об'єкти тяжіння для транспортного потоку на рівні місцевих органів управління при наявності більш детальної інформації.

Не зважаючи на значні відхилення на окремих ділянках загальна тенденція зросту IP по мірі наближення до міста була отримана для різних категорій доріг на яких розташовані міста з різною чисельністю населення.

ВИСНОВКИ

В роботі було виявлено, що на інтенсивність руху транспортного потоку на автомобільних дорогах загального користування суттєво впливає наявність населених пунктів та їх характеристики, але характер цього зв'язку є дуже випадковим та не може бути описаний без ефективного перетворення змінних. Дослідження показало, що вплив населених пунктів на інтенсивність руху найбільш ефективно описує логарифмічне перетворення з використанням відстані від центру міста за основою та з достатньою точністю описується регресійним рівнянням, в якому як змінні виступають характеристики населених пунктів за віддаленістю та чисельністю населення. Також доцільно розглядати результат регресійного аналізу для кожної групи поселень окремо для врахування обмежень по чисельності населення, що дозволяє отримати більш точний результат. Статистична оцінка отриманих моделей свідчить про допустимість їх використання для прогнозування величини транспортних потоків при розробки техніко-економічного обґрунтування та проектів будівництва та реконструкції автомобільних доріг, формування проектів організації дорожнього руху.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1.Методичні рекомендації з визначення існуючої та прогнозування перспективної інтенсивності руху: МР А.2.1-218-02070915-729. Київ, 2008. – 25 с.

- 2.Методика економічних вишукувань для проектування автомобільних доріг: М 218-05416892-409. Київ, 2004. – 34 с.
- 3.Методические рекомендации по проектированию автомобильных дорог на подходах к крупным городам: ОДМ 2010. Москва 2010. – 263 с.
- 4.Dmitriy Dzhuruk, Anton Zedgenizov \ Forecasting of traffic intensity on suburban routes \ Thirteenth International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities (SPbOTSIC 2018) Transportation Research Procedia 36 (2018) 135–140
- 5.Розроблення методики прогнозування автотранспортних потоків на автомобільних дорогах загального користування державного значення та розроблення вимог до даних, що використовуються при прогнозуванні, порядку їх збирання і обробки, вимоги до вихідних даних прогнозів для занесення до Єдиної інформаційної геобазы даних автомобільних доріг України: Звіт про ДКР (проміжний) / Державне агентство автомобільних доріг України, ХНАДУ; № держ. реєстрації 0114U004631. – Харків, 2015. – 99 с.
- 6.Горбачов П.Ф., Кочина А.А. Вплив поїздок у приміському сполученні на інтенсивність руху на автомобільних дорогах загального/ Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Сборник научных трудов. –Х.: Изд-во ХНАДУ, 2016 – Вып. 72. – С. 83-87.
- 7.Горбачов П.Ф. Оцінка впливу населених пунктів на інтенсивність руху транспортних потоків у приміському сполученні. /П.Ф.Горбачов, А.А. Кочина // Автомобільний транспорт. – Харків. – 2017. – № 40. – С. 48-55.
- 8..Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие / Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А., Холодов Я.А., Шамрай Н.Б.; приложения: Бланк М.Л., Гасникова Е.В., Замятин А.А. и Малышев В.А., Колесников А.В., Райгородский А.М //; под ред. А.В. Гасникова. – М.: МФТИ, 2010. – 362 с.
- 9.Картографічні дані [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://www.google.com.ua/maps/>.
- 10.Галушко В.Г. Вероятностно-статистические методы на автотранспорте. – Изд. объединение «Вища школа», 1976. - 232 с.

REFERENCES

- 1.Metodychni rekomendatsiyi z vyznachennya isnuyuchoyi ta prohnozuvannya perspektivnoyi intensivnosti rukhu. (2008) MR A.2.1-218-02070915-729, 25.
- 2.Metodyka ekonomichnykh vyshukuvan' dlya proektuvannya avtomobil'nykh dorih (2004): M 218-05416892-409, 34.
- 3.Methodical recommendations for designing highways in approaches to large cities. (2010), 263.
- 4.Dmitriy Dzhuruk, Anton Zedgenizov \ Forecasting of traffic intensity on suburban routes \ Thirteenth International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities (SPbOTSIC 2018) Transportation Research Procedia 36 (2018) 135–140.
- 5.Rozroblennya metodyky prohnozuvannya avtotransportnykh potokiv na avtomobil'nykh dorohakh zahal'noho korystuvannya derzhavnoho znachennya ta rozroblennya vymoh do danykh, sheho vykorystovuyut'sya pry prohnozuvanni, poryadku yikh zbyrannya i obrobky, vymohy do vykhidnykh danykh prohnoziv dlya zanesennya do Yedynoyi informatsiyanoi heobazy danykh avtomobil'nykh dorih Ukrayiny: Zvit pro DKR (promizhnyy) / Derzhavne ahent-stvo avtomobil'nykh dorih Ukrayiny. (2015) KHNADU, № derzh. reyestratsiyi 0114U004631, 99.
- 6.Gorbachov P.F., Kochina A.A. (2016) Influence of commuting trips on traffic intensity on public highways. HNADU, 72, 83-87.
- 7.Gorbachov P.F., Kochina A.A. (2017) Otsinka vplyvu naselenykh punktiv na intensyvniyt' rukhu transportnykh potokiv u prymis'komu spoluchenni. Avtomobil'nyy transport № 40, 48-55.
- 8.Gasnikov A.V., Klenov S.L., Nurminskiy Ye.A., Kholodov YA.A., Shamray N.B.; prilozheniya: Blank M.L., Gasnikova Ye.V., Zamyatin A.A. i Malyshev V.A., Kolesnikov A.V., Raygorodskiy A.M. (2010) Vvedeniye v matematicheskoye modelirovaniye transportnykh potokov: ucheb. posobiye. pod red. A.V. Gasnikova. MFTI, 362.
9. Kartografichni dani [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu <https://www.google.com.ua/maps/>.
10. Galushko V.G. (1976) Veroyatnostno-statisticheskiye metody na avtotransporte. Izd. Vishcha shkola, 232.

A. Kochina. Assessment of the influence of settlements on the intensity of traffic flows on public roads of public use

The work is devoted to the development of effective methods for forecasting the traffic intensity of transport flows near the settlements of different groups of settlements. The analysis of literature sources showed that the development of feasibility studies and projects for the construction and reconstruction of highways, the formation of projects for the organization of road traffic is based on the laws of formation of traffic flows. The accuracy of forecasting the intensity of traffic flows can be significantly reduced near large cities, this is due to the peculiarities of the formation of freight and passenger flows on the approaches to large cities, the value of which increases as you approach the city. Finding the relationship between the actual value of traffic intensity and the place of its determination in relation to the location of the site to the city center (settlement) allows you to assess the degree of influence of the city on its value. The result of the research is to establish a mathematical description of the relationship between the traffic intensity of transport flows and the distance to the city center, which is provided in the form of a transformation using distance as a basis, which increases the relationship between them. The closeness of the connection between the traffic intensity of transport flows and the distance to the city center is established not only for large cities, but also for medium and small cities. The established relationship is indicative of all groups of settlements with different populations and confirms the impact of settlements on the intensity of traffic near them. Studies have shown that the result of assessing the impact of settlements on the intensity of traffic flows is described with sufficient accuracy by regression equations, in which the variables are parameters that characterize settlements, namely the distance from the center of the settlement and population. Statistical evaluation of the obtained models indicates the admissibility of their use to predict the intensity of traffic flows near settlements.

Keywords: traffic intensity, traffic flow, degree of influence, distance, correlation, group of settlements, population, model.

КОЧИНА Анастасія Анатоліївна, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри транспортних системи і логістики, Харківський національний автомобіль-дорожній університет e-mail: kochina.tsl@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-8377-4770>

Anastasia KOCHINA, PhD in Engineering, senior lecturer of Department Transport Systems and Logistics, Kharkiv National Automobile and Highway University e-mail: kochina.tsl@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-8377-4770>

DOI 10.36910/automash.v1i16.510

Кристопчук М.Є.¹, Хітров І.О.¹, Цьонь О.П.², Почужевський О.Д.³

¹Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна;

²Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, Україна;

³Криворізький національний університет, Кривий Ріг, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ КООРДИНОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ В ЦЕНТРАЛЬНІЙ ЧАСТИНІ МІСТА

Проблеми, пов'язані з погіршенням функціонування вулично-дорожньої мережі суттєво впливають на роботу всього транспортного комплексу міста. Затримки транспорту в процесі руху, виникнення заторів, які характеризуються збільшенням часу на переміщення, погіршення транспортного обслуговування, підвищення рівня забруднення міського середовища внаслідок збільшення шкідливих викидів і підвищення рівня шуму, зростання кількості дорожньо-транспортних пригод свідчать про невідповідність пропускну здатності вулично-дорожньої мережі міст сучасному рівню автомобілізації. Найбільші труднощі з раціональною організацією дорожнього руху виникають на перехрестях вулиць, оскільки вони є «вузькими місцями» на вулично-дорожній мережі з погляду ефективного та безпечного обслуговування транспортних та пішохідних потоків. Для управління дорожнім рухом на перехрестях найчастіше використовують світлофорне регулювання, яке дає змогу підвищити безпеку дорожнього руху, скоротити затримки учасників дорожнього руху, зменшити споживання енергоресурсів та негативний вплив на довкілля, що, в свою чергу, має істотний вплив якості життя у містах.

Створюючи умови для оптимізації роботи регульованих перехресть потрібно враховувати технічний стан транспортних засобів, стан дорожнього покриття та технічні засоби регулювання дорожнього руху. Зменшення витрат часу на пересування, мінімізація фінансових і матеріальних витрат, забезпечення безпеки руху автомобілів і пішоходів, комфорт та зручність при пересуваннях є основними вимогами до функціонування вулично-дорожньої мережі та транспортної інфраструктури. В багатьох випадках, інтенсивність руху транспортних засобів перевищує пропускну здатність вулично-дорожньої мережі, тому важливим є питання підвищення ефективності її функціонування із найменшими капітальними фінансовими витратами.

У роботі розглянуто результати дослідження впливу координованого управління транспортними потоками в центральній частині міста Рівне на зниження транспортних затримок при проїзді перехресть транспортними засобами та запропоновано технічні рішення щодо підвищення безпеки дорожнього руху шляхом обладнання перехресть додатковими технічними засобами регулювання дорожнього руху.

Ключові слова: інтенсивність транспортних потоків, склад транспортного потоку, координоване управління, потік насичення, регульоване перехрестя, цикл світлофорного регулювання.

ВСТУП

Постійне зростання кількості міського транспорту неминуче призводить до збільшенням їх затримок на перехрестях доріг, збільшує транспортну втомлюваність, негативно впливає на довкілля.

Покращення організації дорожнього руху транспортної мережі міста можна досягти шляхом перерозподілу пропускну здатності перехресть, зменшення часу затримок транспорту, покращення режимів регулювання світлофорних об'єктів. Перспективним в цьому плані є реалізація світлофорного регулювання за принципом «зеленої хвилі» на перехрестях доріг. Для координованого регулювання міста Рівне необхідно дослідити інтенсивність транспортних потоків та їх склад, пропускну здатність проїзної частини та режими роботи світлофорного об'єкта.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Актуальність і необхідність досліджень режимів світлофорного підтверджено багатьма вітчизняними і закордонними вченими.

Дослідником О. М. Грицуном [1] описано залежність довжини черги рухомого складу від рівня завантаження смуг руху, вплив світлофорного регулювання на затримку руху транспорту і поведінку пішоходів.

Аналіз літературних джерел [2-7] свідчить про недоцільність застосування світлофорного регулювання вулично-дорожньої мережі нижчого рівня.

Необхідність застосування примусового світлофорного регулювання транспортних потоків детально описано в «Системології на транспорті. Організація дорожнього руху» [6].

При збільшенні інтенсивності транспортних потоків і наближенні значень, наведених у [6, 8], можна організувати рух транспортних засобів через перехрестя в одному рівні тільки застосувавши світлофорне регулювання.

Запропоновано методи визначення тривалості фаз світлофорного регулювання шляхом оцінки довжини черги транспортних засобів (транспортних затримок), які виникли перед стоп-лінією [11-15].

Науковцями Т. Метсон та У. Сміт [12] запропоновано визначення тривалості циклу світлофорного регулювання за додатковою транспортною затримкою

$$T_{\text{ц}} = \frac{3600 \sum_{k=1}^i K_k}{3600 - \sum_{k=1}^i (N_{T1} + N_{T2}) D_k}, \quad (1)$$

де K_k – додаткова транспортна затримка кожного транспортного засобу в черзі, с./авт.;

N_{T1}, N_{T2} – інтенсивність руху транспортних засобів за конфліктними напрямками, зв.од./год,

i – кількість фаз циклу світлофорного регулювання.

Практичне застосування формули (1) обмежене, оскільки враховуються тільки додаткові затримки.

Запропонований Вебстером [4, 14, 15] метод визначення тривалості циклів світлофорного регулювання враховує випадковий порядок прибуття транспортних засобів до контрольованого перехрестя

$$T_{\text{ц}} = \frac{1,5 \cdot T_n + 5}{1 - \sum_{i=1}^n y_i}, \quad (2)$$

де T_n – сума проміжних тактів, с.;

y_i – фазовий коефіцієнт i -тої фази регулювання;

n – кількість фаз циклу регулювання.

В. В. Гілевич [8], розглядав моделі транспортних затримок на перехресті з жорсткими світлофорними циклами. Автором досліджено взаємозв'язок тривалості світлофорного циклу з технічним станом транспортних засобів.

Значення середньої затримки (d) найчастіше визначають за формулою (3), яка ґрунтується на гіпотезі, що середня тривалість затримки дорівнює половині періоду протягом якого заборонено рух [8, 10, 11], тобто

$$d = \frac{T_{\text{ц}} - t_3}{2} \quad (3)$$

де $T_{\text{ц}}$ – тривалість світлофорного циклу, с.;

t_3 – тривалість дозвільного сигналу світлофора, с.

При дослідженні ізольованих регульованих перехресть, приймається, що транспортні засоби які прибувають до них описуються випадковим процесом. Вебстер [11-15] запропонував формулу, яка враховує випадковий характер транспортних потоків

$$d = \frac{T_{\text{ц}}(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2N(1-x)} - 0,65 \left(\frac{T_{\text{ц}}}{N^2} \right)^{\frac{1}{3}} x^{2+5\lambda}, \quad (4)$$

де λ – відношення тривалості зеленого сигналу світлофора до тривалості циклу;

x – ступінь насичення напрямку руху;

N – інтенсивність руху транспортних засобів досліджуваного напрямку, од./с.

Для покращення транспортної ситуації міста необхідно постійно реформувати вулично-дорожню мережу із зростанням кількості транспортних засобів, забезпечити умов для безперешкодного руху громадського транспорту [8-15]. Зрозуміло, що для міст з історично сформованою вулично-дорожньою мережею, враховувати всі ці чинники одночасно важко.

За критерій оптимізації світлофорного регулювання найчастіше приймають середню затримку транспортних засобів перед перехрестям [8-15]. Отриманий показник можна застосувати для визначення геометричних параметрів смуг руху перед перехрестям, оцінки екологічної складової транспорту [13], визначити економічну ефективність реалізованих заходів [8, 10, 11].

Ефективність світлофорного регулювання залежить від вибору оціночних критеріїв, які будуть реалізовані через визначення тривалості циклу роботи світлофорів [1-10]. В якості оцінки приймають швидкість руху транспортного потоку, довжину черги транспортних засобів перед перехрестям, характеристики дорожньої мережі, часові параметри проїзду перехресть.

Можливість раціонально змінювати режими світлофорного регулювання враховуючи дорожню ситуацію, є головною перевагою світлофорної сигналізації над іншими способами регулювання дорожнього руху.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ціль роботи – оцінка впливу технічних засобів організації дорожнього руху на регулювання інтенсивності транспортних потоків вулично-дорожньої мережі. Зниження транспортних затримок

можливе за рахунок введення координованого управління транспортними потоками, з урахуванням їх інтенсивності та складу транспортного потоку.

Координування світлофорного регулювання сприяє підвищенню швидкості проїзду складних перехресть, її стабілізації; скорочує зупинки транспортних засобів перед перехрестями; вирівнює транспортні потоки; зменшує шкідливі викиди від діяльності транспорту в атмосферу.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Місто Рівне розташоване в західній частині [України – головний обласний центр Рівненської області](#). Чисельність жителів міста становить понад 246 тисяч при загальній площі в 63 км². Загальна протяжність автомобільних доріг Рівненської області становить понад 2009 км, серед яких 372 км міжнародного значення. Загальна кількість вулиць міста Рівне складає 442 з сумарною протяжністю з твердим покриття понад 300 км. Для повноцінного функціонування вулично-дорожньої мережа міста передбачено 8 мостів та 4 шляхопроводи, понад 70 світлофорних об'єктів. Для забезпечення потреб населення у пересуваннях містом функціонує мережа автобусного (28 маршрутів) і тролейбусного сполучення (10 маршрутів) із загальною кількістю одиниць рухомого складу – 345.

В м. Рівне було проведено обстеження роботи світлофорних об'єктів та інтенсивності руху транспортних засобів на основних перехрестях. Склад транспортних потоків та їх інтенсивність представлено на рис. 1-3.

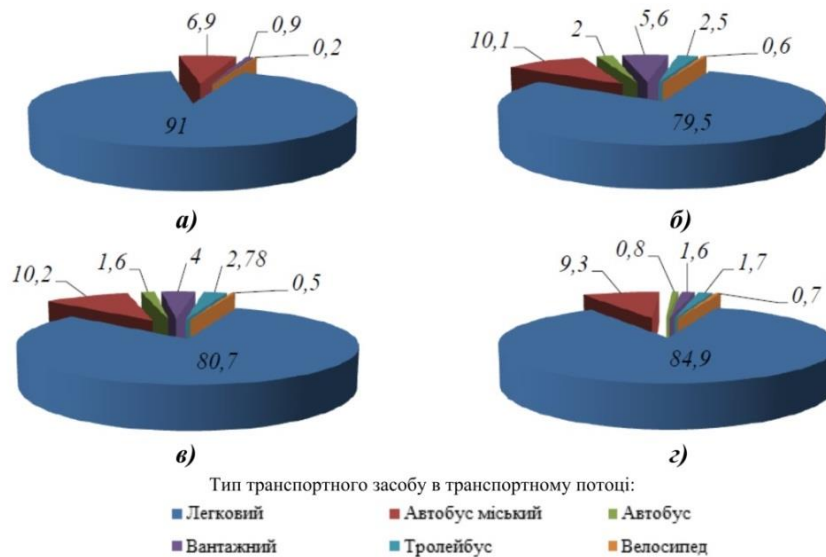


Рисунок 1 – Склад транспортного потоку (%) на перехрестях:

- а) вул. Проспект Миру – вул. Міцкевича; б) вул. Соборна – вул. В. Чорновола – вул. Міцкевича; в) вул. Соборна – вул. Княгині Ольги – вул. Князя Володимира; г) вул. Соборна – вул. Дубенська

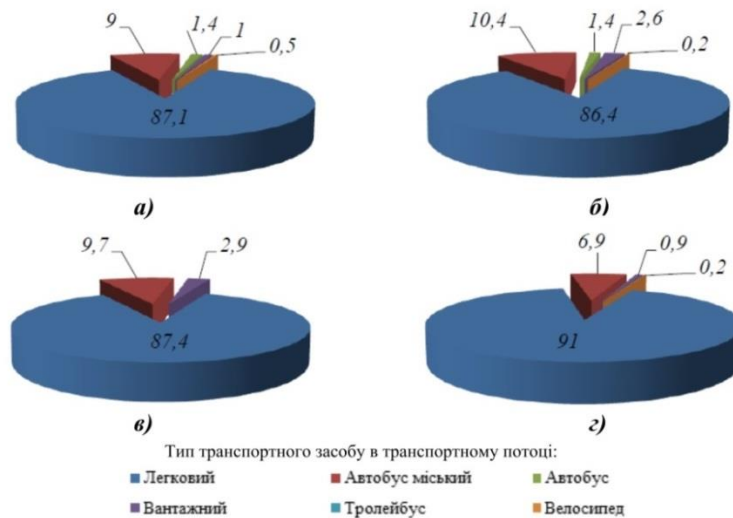


Рисунок 2 – Склад транспортних потоків (%) на перехрестях Проспект Миру – вул. Набережна (а), Проспект Миру – вул. Шевченка (б), Проспект Миру – вул. Симона Петлюри (в) та Проспект Миру – вул. Міцкевича (г)

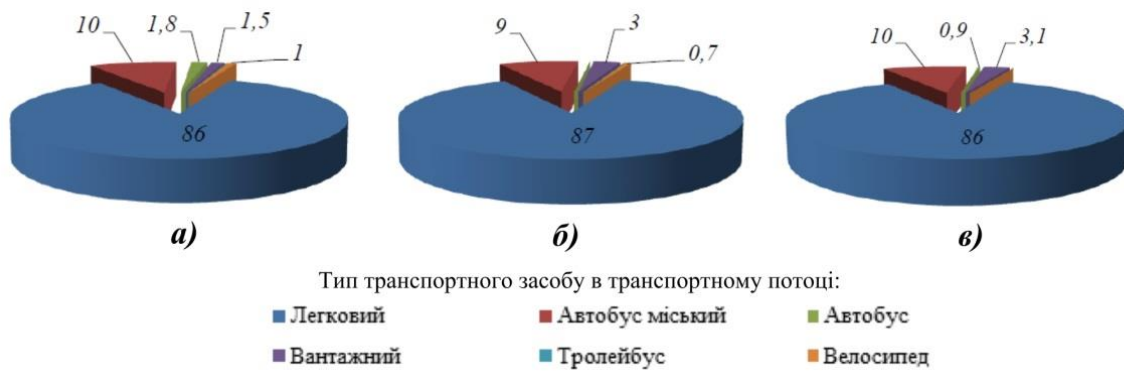


Рисунок 3 – Склад транспортних потоків (%) на ділянках вулиці Проспект Миру:
 а) від перехрестя Проспект Миру – вул. Набережна до перехрестя Проспект Миру – вул. Шевченка;
 б) від перехрестя Проспект Миру – вул. Шевченка до перехрестя Проспект Миру – вул. Симона Петлюри;
 в) від перехрестя Проспект Миру – вул. Симона Петлюри до перехрестя Проспект Миру – вул. Міцкевича

Інтенсивності транспортних потоків на ділянках між перехрестями складають відповідно: вул. Проспект Миру – вул. Міцкевича складає 1850 авт./год.; вул. Соборна – вул. В. Чорновола – вул. Міцкевича складає 1931 авт./год.; вул. Соборна – вул. Княгині Ольги – вул. Князя Володимира складає 1760 авт./год.; вул. Соборна – вул. Дубенська складає 1728 авт./год.

Найзавантажений і проблемний стосовно організації дорожнього руху є ділянки вулиць Проспекту Миру (мікрорайон Центральний). Хоча ділянка і має протяжність в 1 км, від вулиці Небесної Сотні до вулиці Міцкевича, проте нараховує 5 перехресть (рис. 4). Вулиці вказаної ділянки з двома смугами руху в кожному напрямку. Світлофорне регулювання здійснюється лише на перехрестях вулиць Небесної Сотні – Проспект Миру, вул. Набережна – Проспект Миру, вул. Симона Петлюри – Проспект Миру. Два інші нерегульовані перехрестя: вул. Шевченка – Проспект Миру, вул. Міцкевича – Проспект Миру. Проспект Миру є паралельним до вулиці Соборна, що в свою чергу розвантажує центральну частину міста від транспортних потоків.

Основне призначення координованого регулювання світлофорними об'єктами полягає у безупинному проїзді всіх транспортних засобів магістральними вулицями за принципом «зеленої хвилі», тобто досягається взаємоузгодження швидкості руху рухомого складу з фазами сигналів світлофорів.



Рисунок 4 – Стан організації дорожнього руху на ділянках по вул. Проспекту Миру

Оптимальний цикл системи світлофорного регулювання з інтенсивністю потоку транспортних засобів 400-600 од./год. на смугу руху становить [4, 6, 10]

- з двофазним регулюванням

$$T_o = \frac{2L}{1-Y}, \quad (5)$$

- з багатофазним регулюванням

$$T_o = \frac{1,5L+5}{1-Y}. \quad (6)$$

де L – довжина перехрестя;

Y – фазовий коефіцієнт перехрестя.

Ключовим і найскладнішим стосовно регулювання вважається перехрестя з максимальною розрахунковою тривалістю циклу (він приймається за основу для розрахунку інших перехресть). Тривалість основних тактів такого перехрестя обраховується за формулою [4, 6, 10]

$$t_{oc.k} = \frac{y_{ik}}{Y_k} (T_o - L) - 1. \quad (7)$$

де y_{ik} – фазовий коефіцієнт;

Y_k – фазовий коефіцієнт перехрестя.

Мінімальна розрахункова тривалість дозвільного зеленого сигналу світлофора неосновних напрямків руху (відповідно, червоного – на основному) [4, 6, 10]

$$t_{др.min} = \frac{y_{др} T_o}{Y} - 1. \quad (8)$$

де $y_{др}$ – фазовий коефіцієнт дозвільного сигналу.

Максимальна розрахункова тривалість зеленого сигналу світлофора не ключових перехресть

$$t_{M.max} = T_o - (t_{др.min} + t_{дп} + \sum_{i=1}^n t_{дi}), \quad (9)$$

де $t_{дп}$ – тривалість основного такту третьої фази;

n – кількість фаз.

Ефективність координованого регулювання досягається при відстані між перехрестями до 700 метрів, оскільки збільшення відстані призводить до розпаду потоку транспортних засобів до чергового перехрестя.

Відстані перегонів між перехрестями Проспекту Миру – до 300 метрів: від перехрестя Проспект Миру – вул. Набережна до Проспект Миру – вул. Шевченка становить 170 м; від перехрестя Проспект Миру – вул. Шевченка до Проспект Миру – вул. Симона Петлюри становить 290 м; від перехрестя Проспект Миру – вул. Симона Петлюри до перехрестя Проспект Миру – вул. Міцкевича становить 270 метрів.

Практично на всій протяжності вулиці Проспект Миру спостерігається висока інтенсивність руху транспортних засобів, яка спричиняє транспортні затримки і потребує узгодження роботи світлофорного регулювання (табл. 1).

Таблиця 1 – Розподіл часу в циклі

№	Назва перехрестя	Розподіл часу в циклі							Початок циклу	Накопичені додаткові авто
		Пачка	Додатковий	Жовтий	Ліво-поворотні	Жовті	Другорядні	Цикл		
Прямий напрям										
1	Набережна	11	0	12	14	29	14	60	0	0
2	Шевченка	25	9	26	14	43	14	60	8	5
3	С. Петлюри	22	6	23	14	40	14	60	26	7
4	Міцкевича	17	6	18	14	35	22	60	41	9
Зворотній напрям										
4	Міцкевича	19	0	18	14	35	22	60	41	0
3	С. Петлюри	19	9	20	14	37	14	60	49	5
2	Шевченка	17	6	18	14	35	14	60	12	7
1	Набережна	17	6	18	14	35	14	60	24	9

«Стійкість» світлофорного координування руху перехресть полягає у забезпеченні єдиної світлофорної сигналізації за однаковими встановленими фазовими зсувами з врахуванням особливостей транспортного потоку (нерівномірності руху транспорту, їх швидкості, можливого випередження, обгонів, завдяки різному складу транспортних засобів у потоці, впливу дорожніх умов тощо).

В універсальних системах координованого регулювання фазовий зсув для перехресть співставний з відстанню між ними і швидкістю координації на кожному перегоні. Системи координованого регулювання «зелена хвиля», хоча і більш складні апаратно, але вони ефективніші.

В основі режимів роботи світлофорних об'єктів для умов координованого регулювання використано трьох фазне світлофорне регулювання. Результати аналітичних оцінок затримок в прямому та зворотному напрямках (без координації та з координацією, для кожного напрямку) наведено в таблицях 2-3.

Таблиця 2 – Аналітична оцінка затримок (без координації)

Напрямок	Рівень завантаження для існуючих циклів			Затримка без координації, с			Рівень завантаження для оптимальних циклів			Затримка без координації, с		
	Пачки	Ліво-поворотні	Другорядні	Пачки	Ліво-поворотні	Другорядні	Пачки	Ліво-поворотні	Другорядні	Пачки	Ліво-поворотні	Другорядні
Прямий напрям												
Набережна	0,19	0	0,16	8,2	0	7,9	0,20	0	0,16	5,6	0	5,3
Шевченка	0,29	0	0,16	8,1	0	9,0	0,31	0	0,17	6,1	0	6,1
Петлюри	0,26	0	0,19	7,7	0	9,2	0,25	0	0,21	5,1	0	8,1
Мицкевича	0,20	0	0,34	8,4	0	9,3	0,40	0,18	0,36	20,8	17,4	11,5
Зворотній напрям												
Набережна	0,31	0	0,16	9,4	0	7,9	0,33	0	0,16	6,7	0	5,3
Шевченка	0,27	0	0,16	7,9	0	9,0	0,29	0	0,17	6,0	0	6,1
Петлюри	0,29	0	0,19	8,1	0	9,2	0,27	0	0,21	5,4	0	8,1
Мицкевича	0,39	0	0,34	9,9	0	9,3	0,77	0	0,36	34,0	0	11,5

Таблиця 3 – Аналітична оцінка затримок (з координацією)

Однаковий час в циклі, с.							Рівень завантаження для координації			Затримка з координацією, с		
Пачки	Ліво-поворотні	Додаткові	Другорядні	Переми-кання фаз	Резерв	Всього	Пачки	Ліво-поворотні	Другорядні	Пачки	Ліво-поворотні	Другорядні
Прямий напрям												
11	14	0	14	7	14	60	0,47	0,29	0,31	24	18,7	18,9
16	14	9	14	7	0	60	0,47	0,03	0,30	0,9	16,2	18,8
15	14	6	14	7	3	60	0,47	0,29	0,34	0,9	18,6	19,3
11	14	6	22	7	0	60	0,47	0,18	0,43	0,9	17,5	14,8
Час затримки за прямим напрямом										11,1	9,5	
Зворотній напрям												
10	14	6	14	7	8	60	0,69	0	0,31	31,3	0	18,9
10	14	6	14	7	9	60	0,69	0	0,30	0,9	0	18,8
10	14	9	14	7	6	60	0,69	0,08	0,34	0,9	16,6	19,3
17	14	0	22	7	0	60	0,64	0	0,43	0,9	0	14,8
Час затримки за зворотнім напрямом										7,91	7,3	

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Вихідними даними для побудови системи світлофорного регулювання є оцінка в реальному часі пропускної здатності транспортного потоку вулично-дорожньої мережі з врахуванням змодельованої поведінки пішоходів.

За критерій оптимізації світлофорного регулювання приймається показник середньої транспортної затримки (різниця між фактичним часом проїзду регульованого і нерегульованого перехрестя).

Як один із варіантів зменшення транспортної затримки досягається шляхом координування світлофорного регулювання перехресть за принципом «зеленої хвилі».

ВИСНОВКИ

Дієвим заходом покращення системи організацій дорожнього руху досягається узгодженням роботи світлофорних об'єктів завдяки їх координуванню за принципом «зеленої хвилі» для безперешкодного проїзду перехресть.

Запропоновано проект удосконалення руху на вулиці Проспект Миру в м. Рівне. В ході обстеження дорожніх умов, інтенсивності та складу транспортних потоків, проведених аналітичних розрахунків змодельоване координоване світлофорне регулювання ділянки перехресть Проспекту Миру.

Доцільність впровадження заходів є виправданим, оскільки вони сприяють збільшенню пропускної здатності транспортних засобів, зменшують їх накопичення на перехрестях у п'ять разів, скорочують час проїзду проблемних ділянок у два рази, а також покращають екологічну ситуацію в центральній частині міста.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Грицунь О. М. Обґрунтування раціональних режимів світлофорного регулювання з урахуванням характеристик транспортних потоків і поведінки пішоходів : дис. ... канд. тех. наук : 05.22.01 / Національний університет «Львівська політехніка». Львів, 2019. 167 с.
2. Грицунь О. М. Аналіз поведінки пішоходів на регульованих перехрестях. *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. 2016. Вип. 55. С. 90–95.
3. Організація та регулювання дорожнього руху : підручник / О. О. Бакуліч та ін. ; за заг. ред. В. П. Поліщука. Київ : Знання України, 2012. 467 с.
4. Поліщук В. П., Дзюба О. П. Теорія транспортного потоку : методи та моделі організації дорожнього руху. Київ : Знання України, 2008. 175 с.
5. Krystopchuk M. Change of drivers functional condition while moving along highways of different technical categories. *Transport technologies*. 2020. Vol. 1. № 1. pp. 22-32.
6. Системологія на транспорті. Організація дорожнього руху: кн. 4 / Гаврилов Е. В. та ін.; за заг. ред. М. Ф. Дмитриченка. Київ : Знання України, 2005. 452 с.
7. Пашкевич С. М., Кристопчук М. Є. Аналіз параметрів функціонування об'єктів транспортної інфраструктури на формування транспортних та пасажирських потоків у містах. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2018. № 1. С. 66–72.
8. Гілевич В. В. Підвищення ефективності роботи регульованих перехресть з жорсткими світлофорними циклами : дис. ... канд. тех. наук : 05.22.01 / Національний Університет «Львівська Політехніка». Львів, 2016. 169 с.
9. Formation and Distribution Flows of External Transport in the City / Krystopchuk, M., Pashkevych, S., Khitrov, I., Tkhoruk, Y. *International Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication*. 2019. Springer, Cham. pp. 141-150.
10. Єресов В. І., Христенко О. В. Комплексна оцінка ефективності світлофорного регулювання на перехрестях. *Вісник Національного транспортного університету*. 2009. № 19, Ч. 2. С. 72–77.
11. Капский Д. В. Навой Д. В. Методика определения экономических потерь при координированном регулировании движения транспортных и пешеходных потоков. *Вестник БНТУ*. – 2010. № 4. С. 60–70.
12. Cheng D. X. Zong T. Z., Messer C. J. Development of an Improved Cycle Length Model over the Highway Capacity Manual 2000 Quick Estimation Method. *Journal of Transportation Engineering*. 2005. № 12. P. 890–897.
13. Трушевський В. Е. Удосконалення світлофорного регулювання при організації руху за окремими напрямками : дис. ... канд. тех. наук : 05.22.01 / Національний транспортний університет. Київ. 2016. 150 с.
14. Guo H. Reliability analysis of pedestrian safety crossing in urban traffic environment. *Safety Science*. 2012. Vol. 50, Issue 4. P. 968–973. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2011.12.027>
15. Noland R. Pedestrian travel times and motor vehicle traffic signals. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 1996. T. 1553. №. 1. С. 28–33. <http://dx.doi.org/10.3141/1553-04>.

REFERENCES

1. Hrytsun O. M. (2019). Obgruntuvannya ratsionalnykh rezhymiv svitlofornoho rehuliuвання z urakhuvanniam kharakterystyk transportnykh potokiv i povedinky pishokhodiv : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.22.01 / Natsionalnyi universytet «Lvivska politekhnika». Lviv, 147.
2. Hrytsun O. M. (2016). Analiz povedinky pishokhodiv na rehulovanykh perekhrestyakh. Mizhvuzivskiy zbirnyk «Naukovi notatky», 55, 90–95.
3. Polishchuk V. P. (Eds.). (2012). Orhanizatsiia ta rehuliuвання dorozhnoho rukhu. Kyiv : Znannia Ukrainy, 467.
4. Polishchuk V. P., & Dziuba O. P. (2008). Teoriia transportnoho potoku : metody ta modeli orhanizatsii dorozhnoho rukhu. Kyiv : Znannia Ukrainy, 175.
5. Krystopchuk M. (2020). Change of drivers functional condition while moving along highways of different technical categories. *Transport technologies*. Vol. 1, № 1, 22–32.
6. Dmytrychenko M. F. (Eds.) (2005). Systemolohiia na transporti. Orhanizatsiia dorozhnoho rukhu: kn. 4. Kyiv : Znannia Ukrainy, 452.
7. Pashkevych S. M., & Krystopchuk M. Ye. (2018). Analiz parametriv funktsionuvannya ob'ektiv transportnoi infrastruktury na formuvannya transportnykh ta pasazhyrskykh potokiv u mistakh. *Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni ta transporti*. 1, 66–72.
8. Hilevych V. V. (2016). Pidvyshchennia efektyvnosti roboty rehulovanykh perekhrest z zhorstkymy svitlofornymy tsyklamy : dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.22.01 / Natsionalnyi Universytet «Lvivska Politekhnika». Lviv, 169.
9. Krystopchuk M., Pashkevych S., Khitrov I., & Tkhoruk Y. (2019). Formation and Distribution Flows of External Transport in the City. *International Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication*, 141-150.
10. Yeresov V. I., & Khrystenko O. V. (2009). Kompleksna otsinka efektyvnosti svitlofornoho rehuliuвання na perekhrestyakh. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu*, 19, 72–77.
11. Kapskyi D. V., & Navoi D. V. (2010). Metodyka opredeleniia ekonomicheskyykh poter pry koordynirovannom rehulirovannyi dvizheniia transportnykh y peshekhodnykh potokov. *Vestnyk BNTU*, 4, 60–70.
12. Cheng D. X. Zong T. Z., & Messer C. J. (2005). Development of an Improved Cycle Length Model over the Highway Capacity Manual 2000 Quick Estimation Method. *Journal of Transportation Engineering*, 12, 890–897.
13. Trushevskiy V. E. (2016). Udoskonalennia svitlofornoho rehuliuвання pry orhanizatsii rukhu za okremymy napriamkamy : dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.01 / Natsionalnyi transportnyi universytet. Kyiv, 150.
14. Guo H. (2012). Reliability analysis of pedestrian safety crossing in urban traffic environment. *Safety Science*. Vol. 50, Issue 4, 968–973. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2011.12.027>
15. Noland R. (1996). Pedestrian travel times and motor vehicle traffic signals. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, T. 1553, №. 1, 28–33. <http://dx.doi.org/10.3141/1553-04>.

M. Krystopchuk, I. Khitrov, O. Tson, O. Pochuzhevskiy. Research of coordinated management of transport flows in the central part of the city.

Problems related to the deterioration of the functioning of the road network significantly affect the operation of the entire transport complex of the city. Traffic delays, congestion, characterized by increased travel time, deterioration of transport services, increased pollution of the urban environment due to increased emissions and noise, an increase in the number of accidents indicate a mismatch of traffic capacity on the road network of cities to the modern level of motorization. The greatest difficulties with the rational organization of traffic arise at intersections, as they are "bottlenecks" in the road network in terms of efficient and safe maintenance of traffic and pedestrian flows. To control traffic at intersections, traffic lights are most often used, which can increase road safety, reduce delays, reduce energy consumption and negatively affect the environment, which in turn has a significant impact on the quality of life in cities.

When creating conditions for optimizing the operation of regulated intersections, it is necessary to take into account the technical condition of vehicles, the condition of the road surface and technical means of traffic regulation. Reducing travel time, minimizing financial and material costs, ensuring the safety of cars and pedestrians, comfort and convenience when traveling are the main requirements for the functioning of the road network and transport infrastructure. In many cases, the intensity of traffic exceeds the capacity of

the street and road network, so it is important to increase the efficiency of its operation with the lowest capital costs.

The paper considers the results of the study of the impact of coordinated traffic management in the central part of the city of Rivne on the reduction of traffic delays when passing intersections by vehicles and offers technical solutions to improve road safety by equipping intersections with additional technical means of traffic control.

Key words: traffic intensity, traffic flow composition, coordinated control, saturation flow, adjustable intersection, traffic light control cycle.

КРИСТОПЧУК Михайло Євгенович, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: m.ie.krystopchuk@nuwm.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-8701-4469>;

ХІТРОВ 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; <https://orcid.org/0000-0003-2310-1472>;

ЦЬОНЬ Олег Петрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, e-mail: tsonoleg@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1056-4697>;

ПОЧУЖЕВСЬКИЙ Олег Дмитрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту, Криворізький національний університет, e-mail: aaxforever@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7347-3752>.

Mykhailo KRYSTOPCHUK, PhD, Associate Professor, Head of the Transport Technologies and Technical Service Department, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: m.ie.krystopchuk@nuwm.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0002-8701-4469>;

Ihor KHITROV, PhD, Associate Professor of the Transport Technologies and Technical Service Department, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-2310-1472>;

Oleg TSON, PhD, Associate Professor of the Automobiles Department, Ternopil Ivan Puluj National Technical University, e-mail: tsonoleg@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-1056-4697>;

Oleg POCHUZHEVSKIY, PhD, Associate Professor of the Motor Transport Department, Kryvyi Rih National University, e-mail: aaxforever@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7347-3752>

DOI 10.36910/automash.v1i16.511

Криштопа С.І., Криштопа Л.І., Микитій І.М., Гнип М.М., Козак Ф.В.
Івано-Франківській національний технічний університет нафти і газу

ПОКРАЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ ПРИ ЇХНЬОМУ ПЕРЕВЕДЕННІ НА ПРОДУКТИ КОНВЕРСІЇ МЕТАНОЛУ

Стаття спрямована на вирішення проблеми конвертації існуючих автомобільних дизельних двигунів на газові палива, які є більш дешевою та екологічною альтернативою дизельного палива. Був удосконалений метод підвищення енергії альтернативних палив. Розглянута хімічна сутність підвищення енергії палива на основі наукових положень термодинаміки. В якості вихідного продукту для конверсійного процесу здійснено вибір альтернативного метанольного палива, що враховує його собівартість, екологічність та температурні умови. Проведені розрахунки показали, що тепловий ефект від спалювання конвертованої суміші перевищує ефект від спалювання тієї ж кількості неконвертованого метанолу. Енергія палива підвищувалась за рахунок термохімічної регенерації теплоти відпрацьованих газів. Створена експериментальна установка для дослідження роботи переробленого дизельного двигуна на продуктах конверсії метанолу. Проведені експериментальні дослідження екологічних показників дизельного двигуна, який був переобладнаний на роботу на продуктах конверсії метанолу. Виконані експериментальні дослідження показали, що переведення дизельних двигунів на роботу з використанням продуктів конверсії метанолу є технічно обґрунтованим. Зниження витрати палива супроводжувалося поліпшенням екологічних якостей дизеля, що працює спільно з термохімічним реактором конверсії метанолу. У залежності від частоти обертання колінчастого валу та навантаження на двигун утворення оксидів азоту у відпрацьованих газах знижувалося на 53-60 %, оксиду вуглецю відбувалось в межах 52-62 %. З врахуванням того, що ціна метанолу складає до 20 % від вартості дизельного палива, переведення автомобільних дизельних двигунів на роботу з використанням продуктів конверсії метанолу є дуже вигідним.

Ключові слова: дизельний двигун; альтернативне паливо; метиловий спирт; утилізація теплоти; відпрацьовані гази; оксиди азоту; вуглеводні.

ВСТУП

Велика частка автомобільного та інших видів транспорту використовує дизельні двигуни. Це вимагає при роботі двигунів великих витрат дорогого дизельного палива з досить істотними показниками токсичності відпрацьованих газів, тому очевидною є доцільність переходу на більш екологічні види альтернативних палив [1]. Дизельні двигуни мають великий ресурс і поза сумнівом навіть після повного припинення випуску нових дизельних двигунів, вже випущені дизельні двигуни ще довгий час будуть знаходитись в експлуатації. Тому на особливу увагу заслуговує проблема переведення існуючих дизельних силових приводів на газові палива, які є більш дешевою та екологічною альтернативою дизельного палива.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Конвертація дизельних двигунів на газомоторне паливо можлива за різними схемами [2]. В загальному, дизельний двигун можна переобладнати на газодизельний або моногазовий режими (рис. 1). В даний час вже є добре відомою та достатньо відпрацьованою технологія переведення дизельних двигунів на газодизельний режим, коли одночасно використовується подача як газу, так і дизпалива. В цьому випадку до газового палива подається запальна доза дизельного палива, яка виробниками газодизельних систем позиціонується в межах 25-40 %, а в реальних умовах експлуатації досягає і 50 %. Ця технологія разом з певними перевагами має і багато недоліків [3], один з головних – залишається необхідність подачі дизельного палива, що погіршує економічну доцільність переобладнання.

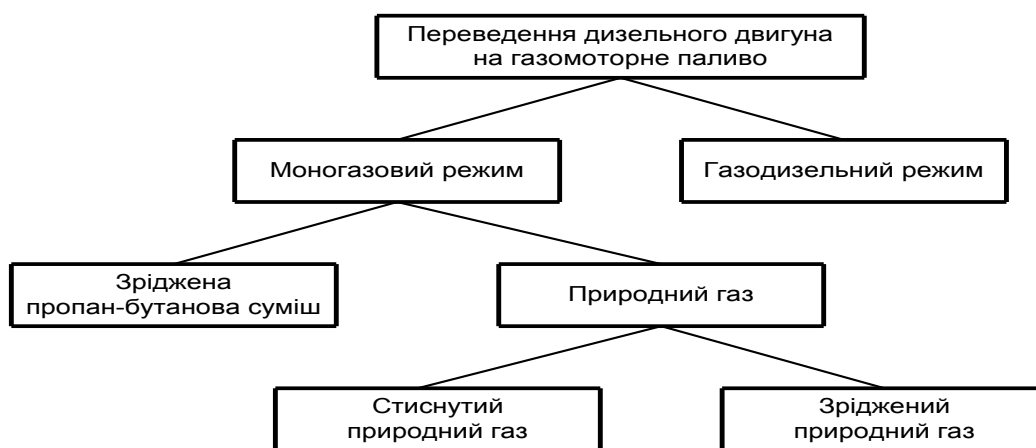


Рисунок 1 - Напрямки конвертації дизельних двигунів на газ

Другий, поки що менш апробований варіант конвертації дизельних двигунів на газомоторне паливо – це чисто газовий або моногазовий режим, де конвертовані дизельні двигуни додатково обладнуються системами з іскровим запалюванням. Очевидно, що подавання тільки чистого газу або моногазовий режим є більш вигідною альтернативою газодизельного режиму з врахуванням відсутності необхідності подачі дорогого дизельного палива. Дизельний двигун за своєю конструкцією може бути переобладнаний для роботи з газобалонним обладнанням як на метані (на стиснутий або зріджений), так і на пропан-бутані [4].

Вивчення досвіду зарубіжних і вітчизняних розробок свідчить, що дизельні двигуни, які конвертовані в газові, мають високі тягово-динамічні та економічні характеристики, а за показниками екологічної безпеки істотно перевершують базові дизельні двигуни [5].

Конвертація дизельного двигуна в моногазовий, на відміну від переобладнання бензинових двигунів, вимагає серйозних змін в конструкції базового дизеля [8]. Оскільки дизельний двигун є двигуном, займання палива в якому здійснюється при нагріванні від стиснення, то стандартний дизельний двигун не може працювати на газовому паливі, так як газомоторне паливо має істотно більш високу температуру займання у порівнянні з дизельним паливом (наприклад, дизпаливо – 300-330 °С, пропан – 466 °С), яка не може бути досягнута при ступенях стиску, що використовуються в дизельних двигунах.

Другою причиною, за якою дизельний двигун не зможе працювати на газовому паливі є явище детонації – це вибухоподібне горіння палива, яке виникає при високій ступені стиснення. Для дизельних двигунів використовуються ступінь стиснення паливо-повітряної суміші від 14 до 22, а газовий двигун повинен мати ступінь стиску до від 12 до 13 [7]. Необхідно відмітити, що зменшення ступеня стиску у переобладнаних дизельних двигунах, що переобладнувались в газові, виконується, як правило, за рахунок розточування камери згорання в поршні базового дизеля. Однак експериментальні дослідження показують, що навіть незначні зміни форми камер згорання в поршнях призводять до значних змін у процесах теплогазомасообміну та згорання [8]. Тому оптимізація камери згорання конвертованого двигуна потребує серйозних розрахункових і експериментальних робіт для забезпечення високих потужнісних, економічних та екологічних показників двигуна.

Для конвертації дизельних двигунів на газове паливо, в загальному, необхідно виконати наступне: встановити газобалонну апаратуру; зменшити ступінь стиснення базового дизельного двигуна; змонтувати систему запалення; виконати настройку системи управління двигуном. Необхідно зазначити, що поки набутий початковий досвід в напрямку конвертації дизельних двигунів в моногазові і для вирішення питання доцільності переобладнання дизельних двигунів в газові потрібно дати відповіді на багато питань науково-технічного та комерційного характеру [9].

При виборі виду газового палива необхідно обов'язково враховувати перетворення хімічної енергії палива в роботу. Перетворення хімічної енергії будь-якого виду палива в роботу в двигунах внутрішнього згорання здійснюється в два етапи: на першому вона перетворюється в теплоту, на другому етапі теплота реалізується в роботу. При цих перетвореннях і відбуваються основні втрати енергії палива, що можуть суттєво підвищувати показники ефективності роботи двигуна внутрішнього згорання [10]. Для підвищення ефективності використання хімічної енергії палива в двигунах внутрішнього згорання необхідно знизити її втрати на обох етапах перетворення. До теперішнього часу в двигунобудуванні, в основному, застосовуються способи зменшення втрат енергоефективності палива на другому етапі перетворення енергії.

У сучасних двигунах температурний рівень робочого тіла такий, що його подальше підвищення обумовлює серйозну проблему забезпечення необхідної термічної міцності [11]. Тому підвищення ефективності використання палива в тепловому двигуні шляхом підвищення верхньої термодинамічної температури робочого тіла в циклі залежить від можливостей подальшого підвищення жаростійкості і жароміцності конструкційних матеріалів деталей двигуна. Якщо врахувати, що ці можливості для більшості традиційних матеріалів вже практично вичерпані, стає очевидним, що такий спосіб стає малоперспективним. У цих умовах доцільна розробка способу зниження необоротних втрат на першому етапі перетворення хімічної енергії палива в теплоту. Причому, реалізація цього способу по можливості не повинна бути пов'язана з підвищенням температурного рівня робочого тіла. Стосовно до двигунів внутрішнього згорання для забезпечення попереднього ендотермічного етапу конверсії в якості вихідного конвертованого продукту доцільно використовувати такі види альтернативних палив, які мають температуру конверсії нижче середнього температурного рівня відпрацьованих газів [12]. До таких палив можуть відноситись нижчі спирти, алкани і прості ефіри. Вибір альтернативного палива в якості вихідного продукту для конверсійного процесу є компромісом, що враховує температурні умови процесу, його енергетичну цінність, утворені при переробці газу і їхню собівартість.

До найбільш перспективному вихідного продукту для організації конверсії в першу чергу слід віднести метиловий спирт (метанол), який у світовій практиці вже давно застосовується в якості дешевого замітника дорогих традиційних моторних палив. Для порівняння середня вартість палив в Європі коливається в межах [13]: дизельного палива - 1,15-1,9 євро/кг (1-1,6 євро/літр); метану - 0,05-0,1 євро/кг; октану - 0,55-0,8 євро/кг; пропану - 0,4-0,75 євро/кг; етанолу - 0,2-0,3 євро/кг; метанолу - 0,15-0,25 євро/кг.

В якості альтернативного палива для дизельного двигуна, з економічної точки зору, доцільно використовувати метанол [14]. Метанол відноситься до поновлюваних природних ресурсів, тобто існує велика сировинна база для збільшення його виробництва і значно ширшого використання як енергоносія. Метанол широко використовується в хімічній промисловості і чималі його обсяги застосовуються у виробництві палив для автотранспорту. Використання цього спирту в якості альтернативного біопалива для автотранспорту є можливим в результаті його отримання доступними та дешевими способами з сільськогосподарських та харчових відходів, з газоподібного палива. Але одна з найбільш важливих причин застосування метанолу – це зниження викидів токсичних компонентів з відпрацьованих газів автомобільного транспорту.

В даний час основним споживачем метанолу є хімічна промисловість. Метиловий спирт зі своєю більш простою структурою і незначними розмірами молекул є одним з визначальних чинників більш «чистого згорання» палива [15]. У порівнянні з іншими альтернативними паливами вартість метилового спирту невисока, крім того, при використанні метанолу, як палива для дизелів, можна значно знизити викиди часток сажі та оксидів азоту. Це відбувається внаслідок того, що при горінні метанолу в циліндрі дизеля не утворюються проміжні продукти, що сприяють зародженню ацетиленових і ароматичних вуглеводнів, які і призводять до утворення сажі [16].

Метанол має високе октанове число і низький рівень пожежонебезпеки. Він погано розчиняється в нафтових паливах. Температура відпрацьованих газів двигунів при

роботі на метанольній суміші на 30-70 °С нижче в порівнянні з базовими двигунами внутрішнього згоряння [17]. Застосування зрідженого метанолу в якості палива супроводжується підвищенням зносом циліндро-поршневої групи, викликаним попаданням його крапель на стінки циліндра і руйнуванням плівки масла.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ціль роботи – підвищення енергоефективності альтернативних палив для автомобільних та тракторних дизельних двигунів шляхом використання енергоефективної системи конвертації метанолу з дослідженням екологічних параметрів дизельних двигунів при їхньому переведення на продукти конверсії метанолу.

Для вирішення вказаної цілі виносяться такі задачі:

-теоретично дослідити можливість підвищення енергоефективності альтернативних палив шляхом розроблення системи конвертації метанолу та використання теплоти відпрацьованих газів;

-дослідити експериментально зміну складу продуктів згоряння при переобладнання дизельного двигуна на роботу на продукти конверсії метанолу.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Теоретичні основи методу підвищення енергії палива

Хімічна сутність підвищення енергії вихідного палива відображають основні положення термодинаміки, зокрема, закон Гесса. Покажемо це на основі аналізу теплових ефектів від згоряння метанолу, здійснюваного за двома методами. Відповідно до першого і другого методів окислення метанолу початковий і кінцевий стани системи однакові: початковий – 1 кмоль CH_3OH , кінцевий – 2 кмоль H_2O та 1 кмоль CO_2 .

За першим методом метанол безпосередньо спалюється в камері згоряння двигуна внутрішнього згоряння



де Q_M – екзотермічний тепловий ефект від згорання метанольно-повітряної суміші, $Q_M = 629\,440$ кДж [3].

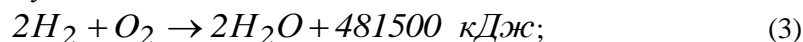
В результаті реакції (1) за першим методом утворюються 3 кмоль продуктів згоряння.

За другим двоступінчастим методом конверсії метанолу спочатку розкладається спирт



При цьому утворюються 2 кмоль H_2 та 1 кмоль CO з ендотермічною теплою конверсії Q_c .

Потім спалюють в кисні 3 кмоль, отриманих в результаті реакції (2) продуктів конверсії метанолу:



Сумарний тепловий ефект

$$Q_\Sigma = 282600 + 481500 = 764100 \text{ кДж / кмоль} \quad (5)$$

Теплові ефекти для реакцій (3-4) наведені згідно з даними [18]. Тоді у відповідності до закону Гесса сумарні теплові ефекти різних маршрутів окислення метанолу повинні збігатися

$$629440 \text{ кДж / кмоль} = - Q_c + 764100 \text{ кДж / кмоль}. \quad (6)$$

Звідси ендотермічний тепловий ефект конверсії (реакції дисоціації метанолу) буде складати

$$Q_c = 134\,660 \text{ кДж / кмоль}.$$

Отже, проведений розрахунок показав, що тепловий ефект від спалювання конвертованій суміші CO і H_2 перевищує ефект від спалювання тієї ж кількості неконвертованого метанолу (вихідне паливо) на $Q_c = 134\ 660$ кДж / кмоль (тобто на 21,4 %), що відповідає витраченій при розкладанні спирту енергії.

Можна стверджувати, що реалізація такого способу апіорі можлива лише при наявності альтернативних палив, спалювання яких при однаковій температурі супроводжувалося б різними рівнями необоротних втрат. Подібні палива шляхом термохімічних перетворень можна перетворити в нове (штучне) паливо з більш високим енергетичним потенціалом. Переведення хімічної енергії такого штучного палива в теплоту супроводжується меншими незворотними втратами. Вказаний спосіб переведення хімічної енергії розроблений на базі фундаментальних положень термохімії і може бути застосований для будь-якого виду енергетичної установки. Запропонований спосіб передбачає необхідність організації ендотермічного процесу конверсії палива, в основі якого лежить цикл його термохімічного перетворення, а в робочому циклі енергоустановки передбачається ще один процес. Якщо в звичайній енергоустановці хімічна енергія палива перетворюється в теплоту в одну стадію, то в запропонованому способі – в дві.

На першій – вихідне паливо піддається конверсії, а на другий – конвертоване паливо спалюється на більш високому енергетичному рівні. Дві стадії перетворення енергії, в процесі яких використовується теплота, що відводиться з циклу, дозволяють підвищити ефективність використання енергії вихідного палива. У загальному випадку ефективність термохімічної регенерації залежить від типу енергоустановки, способу і умов організації в ній робочого процесу, а також від виду палива та ендотермічного ефекту системи реакцій його конверсії.

Слід зазначити, що продукти конверсії традиційного нафтового палива, отримані в термохімічній реакторі на основі механізму екзотермічних реакцій неповного окислення вуглеводнів, мають порівняно з вихідним паливом нижчу теплоту згорання, що виключає прояв ефекту регенерації.

Проведемо розрахунок підвищення теплоти згорання продуктів конверсії зрідженого метанолу.

Теплота згорання газоподібних продуктів конверсії метанолу $H_{и.п.м} = 23870$ кДж / кг [19]. Теплота згорання метанолу $H_{и.м} = 19670$ кДж / кг (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики теплоти згорання метанолу та дизельного палива

Показник	Дизельне паливо	Метанол	Конвертований метанол
Теплота згорання абсолютна, кДж/кг	42500	19700	23870
Теплота згорання відносна, %	100	46,35	56,17

Таким чином, при згоранні в двигуні 1 кг продуктів конверсії метанолу, отриманих з такою ж маси рідкого метанолу, вивільняється додаткова теплова енергія $H_{и.к}$, накопичена в процесі конверсії спиртового палива

$$H_{и.к} = H_{и.п.м} - H_{и.м} = 4200 \text{ кДж / кг} \quad (7)$$

Отже, 21,4 % енергії вихідного палива повертається в робочий цикл двигунів внутрішнього згорання для здійснення корисної роботи.

При організації ендотермічної конверсії в умовах реальної експлуатації двигуна внутрішнього згорання ця енергія одержується на основі утилізації теплової енергії відпрацьованих газів. Згідно зовнішнього теплового балансу двигуна внутрішнього згорання істотна частина хімічної енергії палива не реалізується у вигляді роботи і відводиться, в тому числі, з відпрацьованими газами в навколишній простір. У дизельних двигунах складова енергетичних втрат в тепловому балансі досягає 25-40 % [20], в бензинових і газових двигунах частка необоротних втрат теплоти, що

втрачається з двигуна з відпрацьованими газами, становить 30-45 %. Це відповідає 13-22 МДж теплоти на 1 кг витраченого палива.

Для забезпечення процесу конверсії теплота має відбиратись від випускного колектора, де температура деталей двигуна досягає від 700-800 К на оборотах холостого ходу до 1100-1200 К на режимах максимальних навантажень. Навіть з врахуванням втрат теплоти при передачі енергії від двигуна до робочого тіла, абсолютно безпроблемним є досягнення метанолом температури конверсії в $T_K=570$ К.

З викладеного вище випливає, що застосування систем попереднього хімічного перетворення альтернативного палива дозволяє підвищити ефективність його використання в двигунах внутрішнього згорання за рахунок регенерації теплоти відпрацьованих газів. Теплота, придатна для регенерації в цикл, виражена як частина відхідної теплоти Q_6 , тобто ступінь регенерації дорівнює

$$\eta_p = \frac{Q_c}{Q_6}, \quad (8)$$

де Q_6 – кількість теплоти, яка була відведена за цикл.

Кількість теплоти Q_6 , яка була відведена за цикл (рис. 3) визначається з виразу

$$Q_6 = M_{пр.зг.} \cdot C_{\mu\nu} (T_b - T_a), \quad (9)$$

де $M_{пр.зг.}$ – кількість продуктів згорання при постійному об'ємі;

$C_{\mu\nu}$ – середня мольна теплоємність продуктів згорання при постійному об'ємі.

Кількість ендотермічної теплоти конверсії Q_c визначається з (8) та з виразу

$$Q_c = M_{пр.зг.} \cdot C_{\mu\nu} (T_b - T_K). \quad (10)$$

Інакше кажучи ступінь регенерації залежить від температури конверсійного процесу T_K , зростає з її зменшенням та знаходиться з виразу

$$\eta_p = \frac{T_b - T_K}{T_b - T_a}. \quad (11)$$

Підвищення термічного ККД двигуна

Очевидно, що зазначені вимоги з температурного рівня відпрацьованих газів двигуна можуть бути забезпечені не у всіх діапазонах режимів роботи двигунів внутрішнього згорання. Наприклад, для непрогрітого до робочої температури двигуна ступінь регенерації конверсійного процесу буде знижена. Але потрібно зауважити, що час роботи двигуна на режимі прогрівання є досить не тривалим. Крім того, слід відмітити, що реалізувати конверсію альтернативних палив при нижчих робочих температурах дозволяють сучасні каталізатори. Наприклад, для метанолу це 300-400 °С [21], визначаючи тим самим мінімально можливий температурний режим відпрацьованих газів в двигунах внутрішнього згорання, при якому ще можна здійснити організацію конверсійного процесу. Тому на сьогоднішній день можна говорити про можливість майже постійного конверсійного процесу в двигунах внутрішнього згорання за рахунок регенерації теплоти відпрацьованих газів.

Для аналізу можливості підвищення ефективності використання хімічної енергії палива порівняємо можливості його енергоперетворення в двох енергетично подібних двигунах внутрішнього згорання. Перший працює за звичайною схемою, другий – з використанням термохімічних регенерації в дві стадії. Необхідний тепловий режим конверсії палива забезпечується за рахунок підведення теплоти відпрацьованих газів.

Перший двигун працює наступним чином. Початкове паливо при параметрах навколишнього середовища надходить в двигун, де згоряє з виділенням теплоти $Q_n = \text{Нн}$. Ця теплота передається робочому тілу. Для спрощення аналізу будемо вважати, що передача теплоти відбувається при середній температурі $T_{\text{сеп}1}$. Відпрацьовані гази після скоєння циклу відводяться в атмосферу. Для спрощення аналізу будемо вважати, що відведення теплоти відбувається при середній температурі $T_{\text{сеп}2}$. Тоді вироблена двигуном робота може бути визначена наступним чином

$$L_M = \text{Нн} \cdot m \frac{T_{\text{сеп}1} - T_{\text{сеп}2}}{T_{\text{сеп}1}}. \quad (12)$$

При цьому ефективність використання хімічної енергії палива дорівнює

$$\eta = \frac{L_M}{\text{Нн} \cdot m} = \frac{T_{\text{сеп}1} - T_{\text{сеп}2}}{T_{\text{сеп}1}}, \quad (13)$$

Залежність (13) визначає ККД теплосилової установки, який дорівнює відношенню кількості енергії, перетвореної в роботу, до всієї енергії, що надійшла в теплосилову установку. При цьому ККД даної ідеалізованої установки збігається з термічним ККД циклу. Це свідчить про те, що в двигуні без термохімічної регенерації ефективність використання енергії палива цілком залежить від перетворення теплоти в роботу і не може перевищити ефективність перетворення останньої.

Другий двигун працює з термохімічною регенерацією теплоти відпрацьованих газів. На відміну від першого двигуна паливо в камеру згоряння надходить не відразу, а попередньо проходить стадію термохімічної переробки в термохімічному реакторі. У ньому під дією теплоти, що надходить при середній нижній температурі $T_{\text{сеп}2}$, відбувається термохімічне перетворення вихідного палива в конвертоване, яке і подається на спалювання в камеру згоряння двигуна. Якщо прийняти, що теплообмін в цьому двигуні здійснюється аналогічно першому варіанту, то робоче тіло другого двигуна з термохімічним реактором має отримати теплоту також при середній температурі $T_{\text{сеп}1}$.

Тоді в цьому випадку сприйнята робочим тілом теплота $\text{Нн} \cdot m$ перевищує теплоту згоряння $\text{Нн} \cdot m$ вихідного палива на величину $\text{Нн} \cdot k$, яка була поглинена при термохімічній перетворенні вихідного палива в термохімічному реакторі та відповідно дорівнює

$$\text{Нн} \cdot n \cdot m = \text{Нн} \cdot m + \text{Нн} \cdot k \quad (14)$$

Будемо вважати, що двигун з термохімічним реактором перетворює сприйняту робочим тілом теплоту з тією ж ефективністю, що і двигун без термохімічного реактору, тобто термічний ККД обох установок однаковий. Тоді робота, яку може зробити двигун з термохімічним реактором буде дорівнює

$$L_{n \cdot m} = (\text{Нн} \cdot m + \text{Нн} \cdot k) \frac{T_{\text{сеп}1} - T_{\text{сеп}2}}{T_{\text{сеп}1}}. \quad (15)$$

Тоді ефективність використання енергії палива в двигуні, що містить вузол термохімічної регенерації теплоти буде визначатись з виразу

$$\eta_{n \cdot m} = \left(\frac{\text{Нн} \cdot m + \text{Нн} \cdot k}{\text{Нн} \cdot m} \right) \left(\frac{T_{\text{сеп}1} - T_{\text{сеп}2}}{T_{\text{сеп}1}} \right) = \frac{\text{Нн} \cdot n \cdot m}{\text{Нн} \cdot m} \left(\frac{T_{\text{сеп}1} - T_{\text{сеп}2}}{T_{\text{сеп}1}} \right). \quad (16)$$

Проаналізуємо ефективність використання енергії палива в двигуні, що містить вузол термохімічної регенерації та працює на метанолі у порівнянні зі звичайним двигуном. Приймаємо середню верхню температуру циклу $T_{сep1} = 2000$ К, а середню нижню – $T_{сep2} = 1200$ К. Тоді згідно залежності (13) маємо термічний ККД звичайного двигуна $\eta_m = 40$ %. Як було показано вище, теплота згоряння метанолу $Hi.m$ складає 19670 кДж / кг. Теплота згоряння газоподібних продуктів конверсії метанолу $Hi.n.m$ складає 23870 кДж / кг. Тоді для двигуна з термохімічною регенерацією його термічний ККД $\eta_{n.m}$ буде перевищувати термічний ККД η_m першого двигуна в $(23870/19670) = 1,214$ рази, тобто для двигуна з термохімічною регенерацією його термічний ККД буде рівним $\eta_{n.m} = 48,5$ %.

З наведеного аналізу випливає, що незворотні зовнішні втрати перетворення хімічної енергії палива в теплоту в разі використання методу термохімічної регенерації теплоти відпрацьованих газів завжди менше відповідних втрат при безпосередньому спалюванні палива без його попередньої термохімічної переробки. Причому зменшення незворотних втрат адекватно енергії, яку необхідно витратити на компенсацію сумарного теплового ендотермічного ефекту реакцій конверсії вихідного палива. Теоретичні основи подібних систем живлення двигунів внутрішнього згоряння в сучасній дослідницькій практиці залишаються маловивченими. Однак вони представляють суттєвий інтерес з точки зору оцінки потенційних можливостей застосування двигунів з термохімічною регенерацією в складі систем живлення і підвищення ефективності використання енергії альтернативних видів палива, зокрема для існуючих дизельних двигунів, які будуть переобладнані на газіві.

Реалізація термохімічного способу утилізації теплоти для умов робочого циклу двигунів внутрішнього згоряння з іскровим запалюванням можлива, якщо в якості вихідного палива використовувати вуглеводневі сполуки з відносно низькою температурою реакцій конверсії (спирти, ефіри та аналогічні сполуки). Газоподібні продукти конверсії можуть бути застосовані як основне паливо для живлення газового двигуна. При цьому важливим є можливість реалізації цього способу в складі систем живлення дизельних двигунів, які конвертуються на газові палива. Проаналізуємо умови для досягнення максимально можливої міри регенерації. Умови досягнення максимально можливої міри регенерації виконуються, коли ендотермічний ефект реакції конверсії відповідає підводу еквівалентної кількості теплоти в реакційний простір від зовнішнього джерела – гріючого теплоносія, в ролі якого виступають теплота відпрацьованих газів двигуна та може виступати теплота системи охолодження.

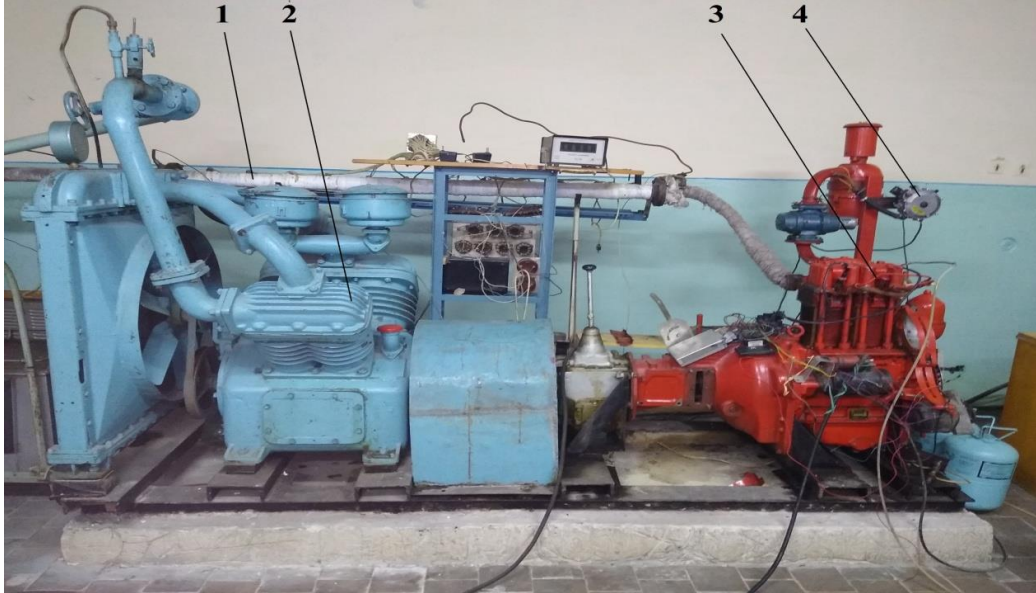
В реальних умовах конверсійного процесу у випускній системі двигуна внутрішнього згоряння теплоносії (відпрацьовані гази та охолоджуюча рідина) повинен мати у своєму розпорядженні потенційно більш високий рівень енергії, яка використовується не тільки для компенсації ендотермічного ефекту реакції конверсії, а й для організації її допоміжних циклів. Енергія необхідна для попереднього нагріву вихідного палива до температури кипіння, його випаровування, підвищення температури парів до температури дисоціації, компенсації теплових втрат в навколишнє середовище через стінки реактора і підвідних трубопроводів. Наприклад, загальні витрати теплової енергії на повністю завершену конверсію 1 кг метанолу досягають 7 МДж [22]. При цьому на компенсацію ендотермічного ефекту реакції конверсії спирту витрачається близько 60 % загальних енергетичних витрат. Значна їх частина (близько 25 %) витрачається на енергоємний процес пароутворення (теплота випаровування метанолу 1,1 МДж/кг). Тобто максимально можливої ступінь регенерації досягається за умови, коли тепла енергія теплоносія перевищує загальні витрати енергії, що необхідні для конверсійного процесу.

Експериментальні дослідження екологічних показників дизельного двигуна конвертованого для роботи на газоподібних продуктах конвертації метанолу

Метою експериментальних досліджень є застосування продуктів конвертації метанолу в альтернативних паливних сумішах в існуючих дизельних двигунах для економії нафтового моторного палива та поліпшення їх екологічних показників. Оцінка

ефективності термохімічного способу утилізації теплоти в умовах робочого циклу дизеля типу Д21А була проведена в лабораторних умовах на моторному стенді (рис. 2).

Схема експериментального стенду на базі дизельного двигуна Д21А1 для дослідження показників його роботи продуктах конверсії метанолу зображена на рис. 3. Двигун експериментального стенду міг працювати в трьох режимах: подача дизельного палива в зрідженій фазі через форсунки; подача продуктів конверсії метанолу через газовий редуктор; подача метанолу в зрідженій фазі через форсунки. Метанол подавався з паливного баку за допомогою електричного паливного насоса через регулятор тиску палива. Для компенсації відносно низької теплоти згоряння метанолу та збільшення його подачі регулятор тиску палива забезпечував подачу метанолу під тиском 0,5 МПа.



1 – термохімічний реактор; 2 – навантажувальний пристрій двигуна внутрішнього згоряння; 3 – дизельний двигун Д21А1; 4 – газовий редуктор

Рисунок 2 – Зовнішній вигляд експериментального стенду на базі дизельного двигуна Д21А1 для дослідження показників роботи на альтернативних паливних сумішах

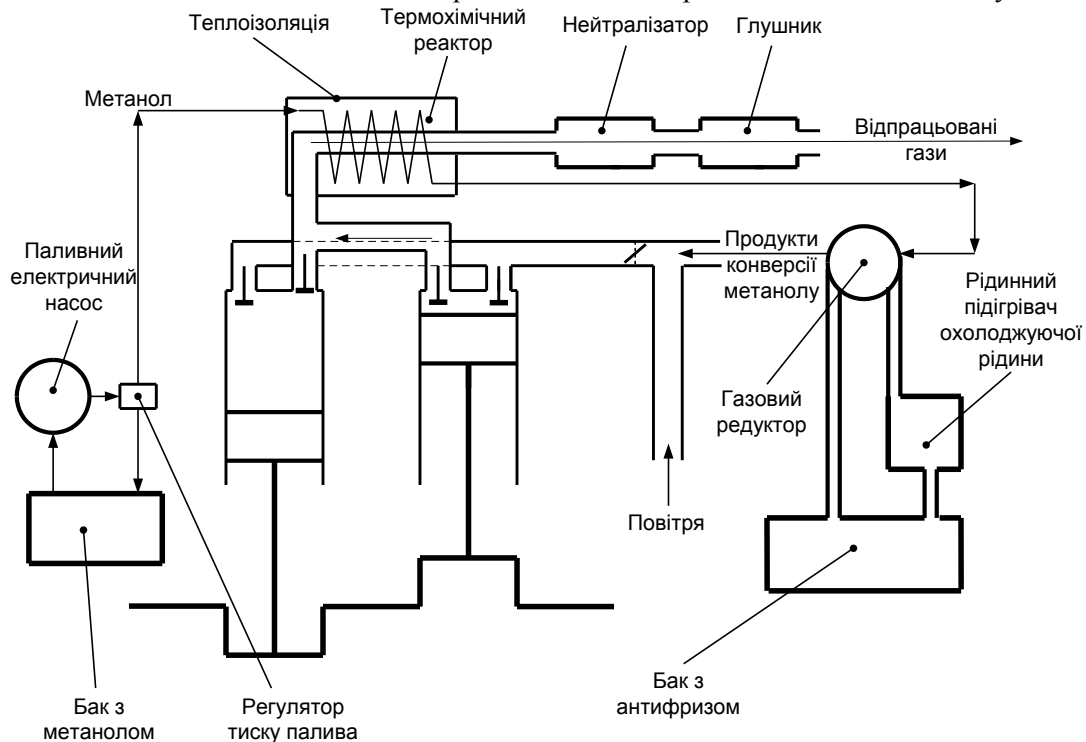


Рисунок 3 – Схема експериментального стенду на базі дизельного двигуна Д21А1 для дослідження показників його роботи продуктах конверсії метанолу

Для забезпечення регулювання метанольно-повітряної суміші на двигун був змонтований дросельний патрубок з дросельною заслінкою. Підігрів метанолу для одержання продуктів конверсії здійснювався від відпрацьованих газів або використовувався рідинний підігрівач охолоджуючої рідини під час пуску холодного двигуна та при його прогріванні. Для забезпечення холодного пуску двигуна в режимі роботи від продуктів конверсії метанолу перед газовим редуктором був змонтований рідинний підігрівач охолоджуючої рідини *Webasto Thermo Top C (5 кВт)*. Рідинний підігрівач охолоджуючої рідини відключався при досягненні відпрацьованими газами температури 300 °С. Термокаталітичний реактор конверсії метанолу встановлювався у випускній системі дизеля в безпосередній близькості від випускного колектора.

Паливно-повітряна суміш запалювалась за допомогою електронної системи запалення власної розробки. Розроблена оригінальна електронна система запалення складається з блоку управління, який змінює кут випередження запалення в залежності від режиму роботи двигуна, комутатора, модуля запалення, високовольтних дротів та свічок запалення.

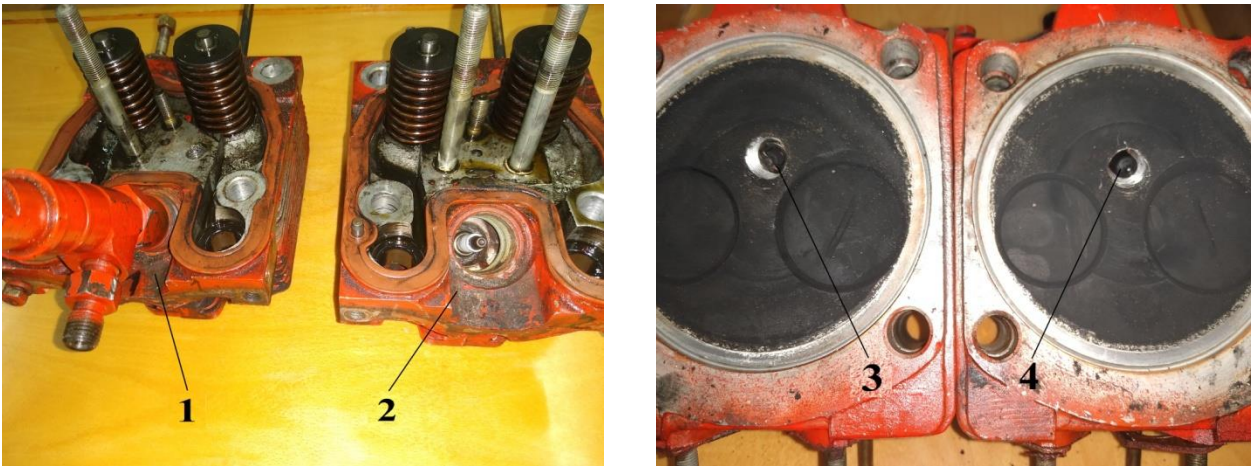
Дизельний двигун Д21А1 було переобладнано для роботи на альтернативній газовій суміші. Для цього з головок блоку були демонтовані дизельні форсунки, нарізана додаткова різьба в каналах розпилювачів форсунок та встановлені свічки запалення. Дизельний двигун Д21А1 з демонтованими головками блока зображений на рис. 4.



Рисунок 4 – Дизельний двигун Д21А1 з демонтованими головками блока

Конструкція головок блоку двигуна перероблена таким чином, щоб замість свічок запалення можна було легко вкрутити назад дизельні форсунки. Конвертований таким чином експериментальний двигун дозволяє за час до 10 хвилин переходити на дизельне паливо або метанольне паливо міняючи місцями дизельні форсунки та свічки запалення. Переобладнані з дизельного палива на газове головки блока двигуна Д21А1 показані на рис. 5.

Метою експериментальних досліджень було порівняння основних екологічних характеристик переобладнаного дизельного двигуна при його роботі на дизельному паливі та продуктах конвертації метанолу. Для оцінки енергозберігаючого ефекту були проведені експериментальні дослідження на моторному стенді двигуна Д21А1.



а

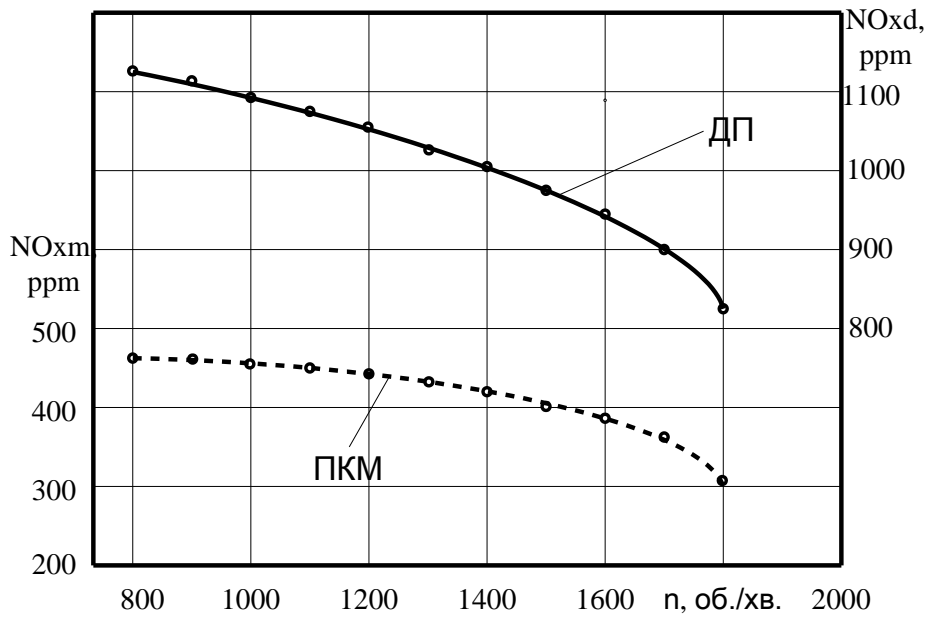
б

1 – головка блока до переобладнання з встановленою дизельною форсункою;
 2 – головка блока після переобладнання з демонтованою форсункою та встановленою свічкою запалення; 3 – свічка запалення; 4 – дизельна форсунка

Рисунок 5 – Переобладнані з дизельного палива на газове паливо головки блока.

Вигляд з боку клапанів ГРМ (а) та камери згорання (б)

Аналізуючи зміни вмісту токсичних компонентів у відпрацьованих газах при переході з дизельного палива на продукти конвертації метанолу можна відмітити наступне. Відбувається істотне зниження вмісту оксидів азоту у всьому діапазоні частоти обертання колінчастого валу (рис. 6). Так, при $n = 800 \text{ хв}^{-1}$ вміст оксидів азоту знизився з 1135 ppm при роботі двигуна на дизельному паливі до 460 ppm при роботі двигуна на продуктах конвертації метанолу. Тобто зниження вмісту оксидів азоту склало 59,6 %. При $n = 1800 \text{ хв}^{-1}$ вміст оксидів азоту знизився з 825 ppm при роботі двигуна на дизельному паливі до 305 ppm при роботі двигуна на продуктах конвертації метанолу. Тобто зниження вмісту оксидів азоту склало 53,0 %. Зниження вмісту оксидів азоту при роботі двигуна на дизельному паливі у порівнянні з роботою двигуна на продуктах конвертації метанолу пояснюється нижчими швидкостями тепловідділення та меншим зростання тиску згорання в двигуні.



— робота двигуна на дизельному паливі;

..... робота двигуна на продуктах конвертації метанолу;

Рисунок 6 – Експериментальні залежності вмісту оксидів азоту у відпрацьованих газах від частоти обертання колінчастого валу двигуна n за різного моторного палива

Відбувається суттєве зниження вмісту оксиду вуглецю у всьому діапазоні частоти обертання колінчастого вала (рис. 7). Так, при $n = 800 \text{ хв}^{-1}$ вміст оксиду вуглецю знизився з 0,225 % при роботі двигуна на дизельному паливі до 0,150 % при роботі двигуна на продуктах конвертації метанолу. При $n = 1800 \text{ хв}^{-1}$ вміст оксиду вуглецю знизився з 0,085 % при роботі двигуна на дизельному паливі до 0,072 % при роботі двигуна на продуктах конвертації метанолу. Тобто зниження вмісту оксиду вуглецю відбувається в межах 62,2-52,0 %.

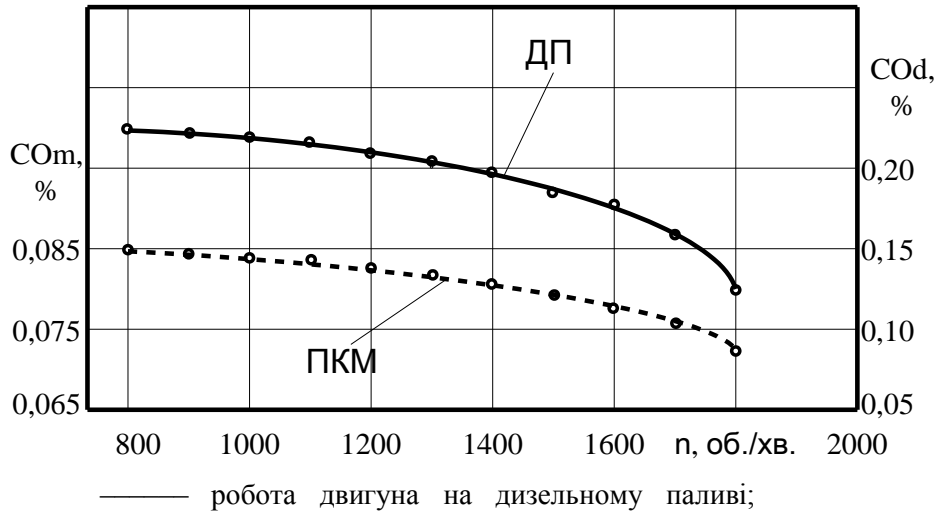


Рисунок 7 – Експериментальні залежності вмісту оксиду вуглецю у відпрацьованих газах від частоти обертання колінчастого вала двигуна n за різного моторного палива

Вміст вуглеводнів дещо підвищується у всьому діапазоні частоти обертання колінчастого вала (рис. 8). Так, при $n = 800 \text{ хв}^{-1}$ вміст вуглеводнів змінюється з 0,042 % при роботі двигуна на дизельному паливі до 0,031 % при роботі двигуна на продуктах конвертації метанолу. Тобто зниження вмісту вуглеводнів складало 26,2 %. При $n = 1800 \text{ хв}^{-1}$ вміст вуглеводнів зростає з 0,077 % при роботі двигуна на дизельному паливі до 0,155 % при роботі двигуна на продуктах конвертації метанолу. Тобто підвищення вмісту вуглеводнів складало 2,01 рази.

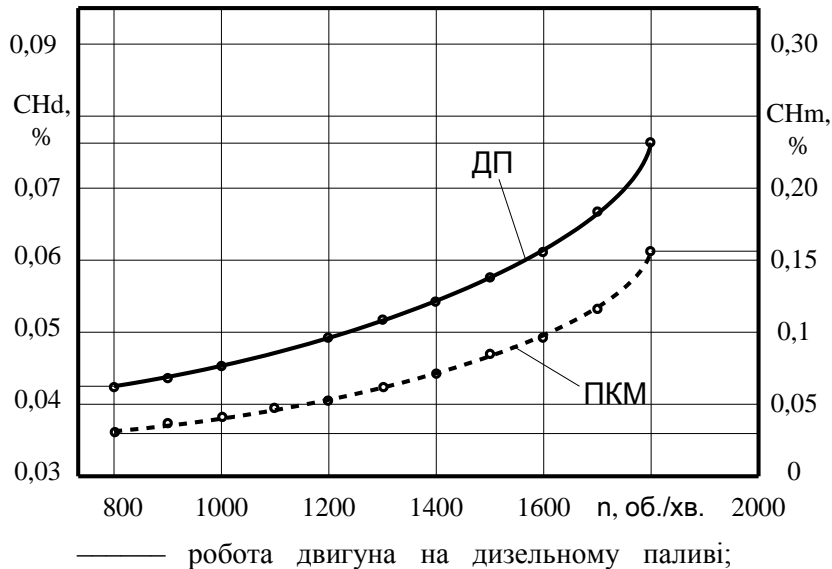


Рисунок 8 – Експериментальні залежності вмісту вуглеводнів у відпрацьованих газах від частоти обертання колінчастого вала двигуна n за різного моторного палива

Було також проведено порівняння роботи двигуна на зрідженому метанолі та на продуктах конверсії метанолу. В середньому, під час експериментальних досліджень при роботі на продуктах конверсії метанолу, у порівнянні з роботою двигуна на зрідженому метанолі, реєструвалось зниження витрати палива в діапазоні 10-14 % у залежності від частоти обертання колінчастого валу та навантаження на двигун.

Для виявлення частки участі кожного фактора в підвищенні економічності двигуна проведено його випробування з використанням реактора конверсії метанолу з автономним електричним підігрівачем, тобто без використання (регенерації) теплової енергії відпрацьованих газів. Встановлено, що енергозбереження для даного дизеля за рахунок термохімічного способу утилізації теплоти становило 6-8 %, а за рахунок вдосконалення робочого процесу – близько 4-6 %.

Для виявлення факторів поліпшення паливної економічності досліджуваного двигуна було проведено додаткове експериментальне дослідження. На першій стадії випробувань з використанням газобалонної системи живлення в циліндри двигуна подавали синтез-газ, який має компонентний склад (об'ємні частки), аналогічний складу продуктів конверсії метанолу: 33 % CO та 67 % H_2 .

Очевидно, що в даному випадку ефект утилізації теплової енергії відпрацьованих газів не проявляється. На другій стадії випробувань двигун працював спільно з термохімічним реактором. Утилізована енергія відпрацьованих газів, перетворена в новий вид газоподібного палива (продукти конверсії метанолу) з більш високими енергетичними показниками, використовувалася для здійснення додаткової корисної роботи. Тобто двигун працював за схемою регенеративного циклу.

З урахуванням того, що в обох випадках паливо мало один і той же компонентний склад, його показники згоряння, а значить і характер впливу на кінетичні параметри робочого циклу були ідентичними. Отже, підвищення економічності двигуна, що спостерігалось в експериментальних дослідженнях, однозначно відповідало ефекту термохімічної регенерації енергії відпрацьованих газів.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проведені дослідження показали, що переведення дизельних двигунів на роботу з використанням продуктів конверсії метанолу є досить вигідним. Зниження витрати палива супроводжується поліпшенням екологічних якостей дизеля, що працює спільно з термохімічним реактором конверсії метанолу. Зокрема, у залежності від частоти обертання колінчастого валу та навантаження на двигун утворення оксидів азоту у відпрацьованих газах знижувалося на 53-60 %, оксиду вуглецю відбувалось в межах 52-62 %.

ВИСНОВКИ

Дослідженнями встановлено, що на навантажувальних режимах, коли температура відпрацьованих газів на вході в реактор перевищує 400 °С, продуктивність реактора, в тому числі і за цільовим компонентом H_2 , досягає свого найвищого рівня, помітно підвищуючи ефективність робочого циклу. Застосування розглянутого способу утилізації енергії випускних газів в транспортних двигунах представляється досить перспективним. Завдяки технічній простоті його реалізація не вимагає великих фінансових вкладень та кардинального переобладнання існуючого виробництва двигунів.

В якості базового двигуна може бути використана будь-яка серійна модель дизельних двигунів. Це стосується як тих двигунів, що знаходяться в експлуатації, так і нових двигунів. Основний елемент конверсійної системи – термохімічний реактор – являє собою найпростішу конструкцію теплообмінного апарату, масові та габаритні характеристики якого в обсязі звичайного глушника забезпечують зручність його установки у випускній системі двигуна.

Важливим стимулом подальшого розвитку подібних систем є те, що вони обумовлюють можливість сукупного вдосконалення характеристик транспортного засобу за комплексом показників. Їх реалізація на транспортних засобах дозволяє, зокрема, утилізувати відхідну теплову енергію, удосконалювати процеси згоряння, покращувати екологічні якості транспортних засобів, забезпечуючи при цьому можливість заміни традиційного нафтового палива альтернативним енергоносієм з поновлюваних, в тому

числі біологічних джерел, сприяючи таким чином вирішенню глобальної проблеми ресурсозбереження.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Panchuk, M., Kryshtopa, S., Sladkowski, A., Panchuk, A., Mandryk, I. Efficiency of production of motor biofuels for water and land transport. *Nase More* 2019, 66 (3), 6–12.
2. Panchuk, M.; Kryshtopa, S.; Sladkowski, A.; Panchuk, A. Environmental Aspects of the Production and Use of Biofuels in Transport. *Lecture Notes in Networks and Systems: Book Chapter* 2020, 124, 115–168.
3. Vershina G., Bystrenkov O. Influence of Diesel Fuel Ignition Portion Value on Working Process Parameters of Gas-Diesel Engine. *Science & Technique*. 2019, 18(5), 395-400.
4. Boretti A. Advantages and Disadvantages of Diesel Single and Dual-Fuel Engines. *Front. Mech. Eng.* 2019, 5, 64.
5. Panchuk, M., Kryshtopa, S., Panchuk, A., Mandryk, I., Sladkowski, A. Perspectives for developing and using the torrefaction technology in Ukraine. *International Journal of Energy for a Clean Environment* 2019, 20(2), 113–134.
6. Zhanga K., Xin Q., Mu Z., Niu Z., Wanga Z. Numerical simulation of diesel combustion based on n-heptane and toluene. *Propulsion and Power Research* 2019, 8, 2, 121-127.
7. Firmansyah, A. Aziz A. Investigation of Auto-ignition of Several Single Fuels. MATEC Web of Conferences. 4th International Conference on Production, Energy and Reliability 2014, 13, 02013
8. Kryshtopa, S., Melnyk, V., Dolishnii, B., Zakhara, I., Voitsekhivska, T. Improvement of the model of forecasting heavy metals of exhaust gases of motor vehicles in the soil. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 2019, 4 (10-100), 1–8.
9. Kryshtopa, S., Kryshtopa, L., Melnyk, V., Prunko, I., Demianchuk, Y. Experimental research on diesel engine working on a mixture of diesel fuel and fusel oils. *Transport Problems* 2017, 12 (2), 53–63.
10. Abbasi S., Bahrami H., Ghobadian B., Kiani M., Kiani D. Energy Analysis of a Diesel Engine Using Diesel and Biodiesel from Waste Cooking Oil. *JOURNAL OF AGRICULTURAL MACHINERY*. 2018, 8, 1, 149–157.
11. Afanas'ev A., Tret'yakov A. Simulation of diesel engine energy conversion processes. *Journal of Mining Institute*. 2016. 222. 839-852.
12. Abbondanza M., Cavina N., Corti E., Moro D., Ponti F., Ravaglioli V. Development of a Combustion Delay Model in the Control of Innovative Combustions. *E3S WEB OF CONFERENCES*. 2020, 197, 6013.
13. Bildirici, M., Gökmenoğlu, S. Environmental pollution, hydropower energy consumption and economic growth: Evidence from G7 countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 75, 68–85.
14. Bahman N., Sina F., Shahaboddin S., Kwok-wing C., Timon R. Application of ANNs, ANFIS and RSM to estimating and optimizing the parameters that affect the yield and cost of biodiesel production. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics* 2018. 12, 1, 611–624.
15. Zhang, Z. Experimental Investigation on Regulated and Unregulated Emissions of a Diesel/Methanol Compound Combustion Engine with and without Diesel Oxidation Catalyst. *Science of the Total Environment*, 2010, 408, 4, 865-872.
16. Li, Y. Numerical Study on the Combustion and Emission Characteristics of a Methanol/Diesel Reactivity Controlled Compression Ignition (RCCI) Engine. *Applied Energy*, 2013, 106, 2, 184-197.
17. Liu, Z. Economic Analysis of Methanol Production from Coal/Biomass Upgrading, *Energy Sources Part B-Economics Planning and Policy*, 2018, 13, 1, 66-71.
18. He L., Fu Y., Lidstrom M. Quantifying Methane and Methanol Metabolism of “Methylothermobacterium buryatense” 5GB1C under Substrate Limitation. *MSYSTEMS* 2019, 4, 6, 748-19.
19. Mäyrä O., Leiviskä K. Modeling in methanol synthesis, Methanol, *Elsevier* 2018, 475–492.
20. Yakovlieva A., Boichenko S. Energy Efficient Renewable Feedstock for Alternative Motor Fuels Production: Solutions for Ukraine. *Studies in Systems, Decision and Control* 2020. 298, 247-259.
21. Alarifi A., Alsobhi S., Elkamel A., Croiset E. Multiobjective optimization of methanol synthesis loop from synthesis gas via a multibed adiabatic reactor with additional interstage CO₂ quenching, *Energy Fuels* 2015, 29, 2, 530–537.
22. Dalena F., Senatore A., Marino A., Gordano A., Basile M., Basile A. Methanol production and applications: An overview, Methanol, *Elsevier*, 2018, 3–28.

S. Kryshchopa, L. Kryshchopa, I. Mykytii, M. Hnyr, F. Kozak. Improving the environmental parameters of diesel engines when they are transferred to methanol conversion products

The article aims to solve the problem of converting existing automobile diesel engines to gas fuels, which are a cheaper and more environmentally friendly alternative to diesel fuel. Method of increasing energy of alternative fuels was improved. Chemical essence of fuel energy increase is considered on the basis of scientific provisions of thermodynamics. As a starting point for the conversion process, an alternative methanol fuel was selected, taking into account its cost, environmental friendliness and temperature conditions. The calculations showed that thermal effect from combustion of the converted mixture exceeds the effect from combustion of the same amount of non-convertible methanol. Fuel energy increased due to thermochemical regeneration of exhaust gas heat. An experimental setup has been created to study the operation of a converted diesel engine at methanol conversion points. Experimental studies of environmental performance of a diesel engine, which was converted to work at methanol conversion points. Experimental studies have shown that the conversion of diesel engines to work using methanol conversion points is technically justified. Reduction in fuel consumption was accompanied by an improvement in the environmental performance of the diesel engine, which works in conjunction with a thermochemical methanol conversion reactor. Depending on the speed of the crankshaft and the load on the engine, the formation of nitrogen oxides in the exhaust gases decreased by 53-60%, carbon monoxide occurred in the range of 52-62%. Given that the price of methanol is up to 20% of the cost of diesel fuel, the conversion of automotive diesel engines to work using methanol conversion points is very profitable.

Keywords: diesel engine; alternative fuel; methyl alcohol; heat utilization; exhaust gases; nitrogen oxides; hydrocarbons.

КРИШТОПА Святослав Ігорович, доктор технічних наук, професор, завкафедрою автомобільного транспорту, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

E-mail: auto.ifntung@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7899-8817>

КРИШТОПА Людмила Іванівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, E-mail: l.i.kryshchopa@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5274-0217>

МИКИТІЙ Іван Михайлович, аспірант, кафедра автомобільного транспорту, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, E-mail: 7ivan1@i.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8925-6349>

ГНИП Марія Михайлівна, доктор філософії, асистент кафедри автомобільного транспорту, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, E-mail: marichka_gnip@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3662-0941>

КОЗАК Федір Васильович, кандидат технічних наук, професор, професор кафедри автомобільного транспорту, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

E-mail: auto.ifntung@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9147-883X>

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, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7899-8817>

Liudmyla KRYSHCHOPA, PhD, Associate Professor, Department of Automobile Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, E-mail: l.i.kryshchopa@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5274-0217>

Ivan MYKYTII, Postgraduate student, Department of Automobile Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, E-mail: 7ivan1@i.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8925-6349>

Mariia HNYR, Postgraduate student, Department of Automobile Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, E-mail: marichka_gnip@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3662-0941>

Fedir KOZAK, PhD, Professor, Department of Automobile Transport, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

E-mail: auto.ifntung@ukr.net, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9147-883X>

DOI 10.36910/automash.v1i16.512

Любий Є.В., Белецька О.М.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАТРИМОК ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ВИЇЗДІ З ПРИЛЕГЛИХ ТЕРИТОРІЙ

Представлена робота присвячена вивченню проблеми визначення затримок транспортних засобів при виїзді з прилеглих територій на міські автомагістралі. На даний час вже існує велика кількість різних підходів щодо визначення транспортних затримок на нерегульованих перехрестях, але вони не в повній мірі враховують особливості руху автомобілів на виїздах з прилеглих територій.

На основі результатів натурних спостережень за рухом транспортних засобів при виїзді з прилеглих територій в статті проведено оцінювання результатів визначення затримок за запропонованим підходом, в який закладено принципи системи масового обслуговування, що дозволяє враховувати пріоритетність руху автомобілів на конкуруючих напрямках. Встановлено, що відхилення фактичних транспортних затримок і затримок отриманих за запропонованим підходом для обох маневрів, поворот праворуч (злиття) і ліворуч (пересічення) не перевищує 10 %, що свідчить про можливість його використання на таких об'єктах як виїзди з прилеглих територій. На основі отриманих емпіричних даних встановлено, що розподіл фактичних затримок транспортних засобів при виїзді з прилеглих територій для всіх досліджуваних випадків відповідає логнормальному закону з достатньо високою імовірністю.

Для зменшення відхилень модельних і фактичних значень транспортних затримок при виїзді з прилеглих територій необхідно в моделі врахувати стохастичні характеристики параметру процесу здійснення відповідних маневрів. Таким параметром є граничний часовий інтервал між автомобілями в потоці на головному напрямку, за якого будь-який автомобіль, що очікує на здійснення маневру при виїзді з прилеглих територій, може виконати поворот праворуч або ліворуч, який можна визначити за рахунок проведення статистичної обробки результатів натурних спостережень.

Ключові слова: транспортний потік, затримка, граничний інтервал, виїзд з прилеглої території, натурні спостереження.

ВСТУП

Вплив транспорту на навколишнє середовище багато в чому визначається випадками простою та затримок. Затримка – широко використовувана міра обслуговування для перехресть, а також фундаментальний параметр в економічному аналізі інвестицій в автомобільні дороги [1]. Затримки вказують на зайвий час, що споживається транспортним засобом, у порівнянні з контрольним значенням.

У більшості випадків затримки транспортних засобів є локальною та окремою (часною) проблемою, яка може спостерігатися та досліджуватися не тільки в аспекті планування розвитку всієї міської території, але також й на невеликих ділянках місцевості. Тому для зменшення транспортних затримок на вулично-дорожній мережі необхідно не тільки визначити раціональний світлофорний цикл на регульованих перехрестях, а й приділяти особливу увагу їх зниженню на нерегульованих перехрестях і на інших «вузьких» місцях міської транспортної системи, якими є виїзди з прилеглих територій. На виїздах з прилеглих територій дуже часто виникають конфліктні моменти, в наслідок чого, створюються аварійні ситуації з реальним збитком. Таким чином проблема, що розглядається, носить не тільки технічний, але й соціально-економічний характер.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Транспортна система сучасного великого міста складається зі значної кількості конфліктних місць, серед яких переважають нерегульовані перехрестя та виїзди з прилеглих територій. Такі об'єкти є місцями концентрації дорожньо-транспортних пригод та утворення заторів, які призводять до зростання транспортних затримок, точних методів оцінювання яких на даний час немає. Також слід відзначити, що останнім часом при розрахунку швидкості руху в сфері транспортного моделювання акценти переносяться з ділянок вулично-дорожньої мережі на місця перетину потоків учасників дорожнього руху, а методики, що дозволяють точно оцінити тимчасові затримки транспорту, розроблені, в основному, для регульованих перехресть [2].

У відповідності до Правил дорожнього руху України [3] «перехрестя – місце перехрещення, прилягання або розгалуження доріг на одному рівні, межею якого є уявні лінії між початком заокруглень країв проїзної частини кожної з доріг. Не вважається перехрестям місце прилягання до дороги виїзду з прилеглої території». В свою чергу, прилеглою є територія, що прилягає до краю проїзної частини та не призначена для наскрізного проїзду, а лише для в'їзду до дворів, на стоянки,

автозаправні станції, будівельні майданчики тощо або виїзду з них. Отже, відповідно до наведених вище понять, основна відмінність перехрестя та прилеглої території полягає в об'єктах інфраструктури, до яких веде проїжджа частина, що пересікається, а також у технічних засобах регулювання дорожнього руху, які їх позначають. Велика кількість таких «вузьких» місць на вулично-дорожній мережі великого міста створює значні незручності як для транспортних засобів, що рухаються головним напрямком, так й для тих, що виїжджають з прилеглих територій. Особливо гострим це питання постає при необхідності виконання маневру лівого повороту при виїзді з прилеглої території на магістральні вулиці та дороги [4].

В існуючій нормативній та науковій літературі відсутні приклади визначення затримок транспортних засобів при виїзді з прилеглих територій, що пов'язано з низькою зацікавленістю спеціалістів і науковців щодо питань підвищення ефективності дорожнього руху на такого роду об'єктах. Але слід зауважити, що за останні часи суттєво змінилися структура забудови великих українських міст, окрім житлової забудови активно з'являються великі торгові центри, супермаркети, гіпермаркети тощо, для ефективного транспортного обслуговування яких облаштовуються відповідні в'їзди та виїзди. До цього слід також додати значний стрибок рівня автомобілізації, що набув місця за останні два-три роки. Ці процеси призвели до появи великої кількості конфліктних ситуацій при в'їзді та виїзді на прилеглу територію та необхідність вирішення проблеми облаштування таких місць відповідними технічними засобами регулювання дорожнього руху та визначення транспортних затримок на них. Найбільш схожим об'єктом на виїзді/в'їзді на прилеглу територію є нерегульовані перехрестя, тому далі розглянемо існуючі підходи щодо визначення затримок транспортних засобів на таких перехрестях.

Умовно підходи щодо визначення затримок транспортних засобів можна поділити на три групи: проведення натурних досліджень за трафіком; різні аналітичні моделі, що описують затримки з урахуванням детермінованих і стохастичних властивостей транспортного потоку та підходи засновані на використанні мікромоделювання та регресійних моделей. Основним недоліком першої групи підходів є значна трудомісткість виконання обстеження та обробки результатів. Перевагою, в свою чергу, є висока точність отриманих результатів. Слід зауважити, що зменшити трудомісткість обробки результатів натурних спостережень за затримками транспортних засобів можливо за рахунок використання автоматизованих систем розпізнавання та підрахунку трафіка.

Інша група підходів щодо визначення затримок на нерегульованих перехрестях представлена великою кількістю моделей. Зарубіжна теорія транспортного регулювання концентрується на оцінках затримок і довжини черг. Транспортні затримки та довжина черги транспортних засобів є основними показниками, що вводять поняття рівня обслуговування (LOS) і які використовуються при оцінці достатності довжини смуги руху перед перехрестям [5].

Одним з перших підходів щодо визначення затримок на нерегульованому перехресті є підхід Tanner [6], основою якого є наступні положення: транспортні засоби прибувають до перехрестя випадковим чином; головний потік руху створює процес чергування, що оновлюється з часом, витраченим на перетин перехрестя групою автомобілів, при цьому інтервали часу між групами автомобілів розподіляються за експоненціальним законом; транспортні засоби другорядного напрямку перетинають головну дорогу в рівні проміжки часу протягом представленого інтервалу, який обмежується часом прибуття наступної групи транспортних засобів.

В своїй роботі [7] Troutbeck запропонував враховувати в моделі визначення затримок транспортних засобів на нерегульованих перехрестях наступні параметри: середню затримку при незначному другорядному потоці (також відому як Adams delay); ступінь насичення другорядного потоку; показник, кількісно визначає ефект організації черги другорядного потоку.

Для перехресть, що мають пріоритет руху, Heidemann у роботі [8] представив формулу для розрахунку затримок транспортного потоку на другорядній дорозі як функцію від ступеня насичення. В свою чергу, автори [9] розділили загальну затримку на перехрестях з двостороннім контролем зупинки на затримку в черзі та затримку на обслуговування. У цьому випадку затримка в черзі визначається часом від моменту прибуття транспортного засобу в кінець черги до моменту його підходу до стоп-лінії, а затримка на обслуговування представлена як час між прибуттям транспортного засобу до стоп-лінії та відправленням з неї.

Nowowitz в дослідженні [10] удосконалив модель очікування в черзі для перехресть з повністю контрольованою зупинкою, відбивши в ній емпіричну інформацію про поведінку водіїв, а авторами [11] розроблено ймовірнісну модель затримок, яка відображає поведінку водіїв при прийнятті рішення на здійснення маневру, що може бути використано для описання повороту праворуч на Т-

подібному перехресті. В роботі [12] Kaysi та Alam досліджували вплив поведінки водія (нетерпіння, агресивність, досвід) на розмір затримки транспортних засобів.

У дослідженні [13] проведено порівняння трьох основних на той час моделей затримки на нерегульованих перехрестях: модель HCM 94, модель Akcelik-Troutbeck та модель SIDRA 5. У роботі показані різні відмінності в результатах розрахунків і запропоновані вдосконалені варіанти цих моделей на основі результатів математичного моделювання.

Загальна затримка на нерегульованому перехресті з відносним пріоритетом відповідно до [14] має чотири складові: затримку на уповільнення (гальмування); затримку в черзі; затримку на очікування можливості здійснення повороту (час очікування розриву в головному потоці); затримку на прискорення (розгін).

В своєму дослідженні [15] авторами Al-Omagi і Venchokal розроблено моделі для оцінювання затримки в черзі та затримки обслуговування на перехрестях з двостороннім контролем зупинки. Затримка обслуговування оцінюється як функція від обсягів конфліктуючих потоків, а середнє значення затримки обслуговування та її дисперсія використовуються в якості вхідних параметрів для оцінювання затримки.

На основі результатів моделювання трафіку в роботі [16] отримано узагальнену форму моделі затримки, яка дає більш точні результати, ніж проста експоненціальна форма загальної затримки транспортного потоку на перехрестях з повністю контрольованою зупинкою.

В своїй роботі автори [17] розробили модель для оцінки загальної затримки на нерегульованих перехрестях з використанням положень теорії черг, а автор [18] намагався перевірити методи розрахунку затримок, в основу яких закладена теорія масового обслуговування. Для отримання чисельно точних результатів авторами розроблена методика з використанням Марковських ланцюгів. Дані стохастичного моделювання та дані, отримані емпіричним шляхом, використовувалися для оцінки точності отриманих апроксимуючих моделей.

Transportation Research Board у [19] представлено процедуру оцінки транспортних затримок на нерегульованих перехрестях, у відповідності до якої затримки визначаються окремо для кожного другорядного напрямку та лівоповоротних потоків головного напрямку. Згідно цього дослідження, затримка визначається як загальний час, що минув з моменту зупинки транспортного засобу в кінці черги до моменту його від'їзду від лінії зупинки. Аналогічний підхід використовується й в Malaysian Highway Capacity Manual.

Автором дослідження [20] запропоновано новий підхід до визначення затримок на нерегульованих перехрестях, який дає можливість оцінки середньої затримки в залежності від варіативності попиту на трафік. Перевагою даного підходу є можливість отримання достатньо точних результатів для тривалого періоду, наприклад, доби.

Окрему групу становлять підходи щодо визначення затримок на нерегульованих перехрестях, засновані на використанні засобів мікромоделювання та регресійних залежностей. Особливої уваги заслуговує робота Caliendo [21], представлені в ній моделі часу затримок, часу простою і максимальної черги розроблені з використанням AIMSUN і можуть бути використані для прийняття рішень проектувальниками транспортної інфраструктури та операторами дорожнього руху. З останніх досліджень також можна виділити роботу [22], в якій проведено моделювання транспортних затримок на нерегульованих перехрестях з використанням штучної нейронної мережі на прикладі Малайзії. Результати цього дослідження показали, що нейронна мережа здатна більш точно прогнозувати затримку на нерегульованих перехрестях ніж підходи представлені в Malaysian Highway Capacity Manual і Highway Capacity Manual (2010). Точність розроблених моделей оцінена на підставі результатів натурних спостережень на трьох перехрестях з різною конфігурацією.

Результати проведеного аналізу існуючих підходів щодо визначення затримок свідчать про те, що більшість розглянутих підходів застосовуються на прикладі нерегульованих перехрестів двох типів: з двостороннім контролем зупинки та з повністю контрольованою зупинкою. Це говорить про необхідність розробки моделей для визначення затримок на нерегульованих перехрестях, з відмінною від світової практики організацією дорожнього руху, наприклад, на нерегульованих перехрестях рівнозначних доріг, що часто зустрічаються на території українських міст, а також для таких об'єктів як виїзди з прилеглих територій. Авторами даного дослідження розроблено аналітичні моделі, використання яких можливо на різних типах нерегульованих перехрестів [23, 24]. В основу запропонованих моделей закладено принципи найпростішого потоку, що дозволяє врахувати пріоритетність проїзду автомобілів в конфліктуючих напрямках, але їх використання на прикладі

виїздів з прилеглих територій потребує додаткової апробації, що є однією з задач даного дослідження.

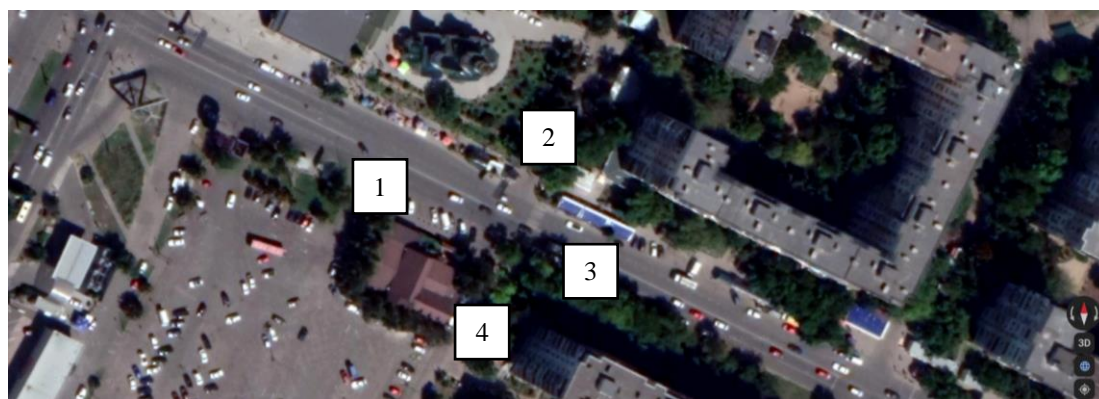
ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даного дослідження є визначення затримок транспортних засобів при виїзді з прилеглих територій. Основними задачами роботи є: проведення натурних спостережень за рухом транспортних засобів при виїзді з прилеглих територій; встановлення закону розподілу фактичних затримок транспортних засобів при виїзді з прилеглих територій; розрахунок затримки транспортних засобів при виїзді з прилеглих територій за результатами спостережень та з використанням запропонованого підходу; оцінка отриманих результатів розрахунку затримки транспортних засобів при виїзді з прилеглих територій.

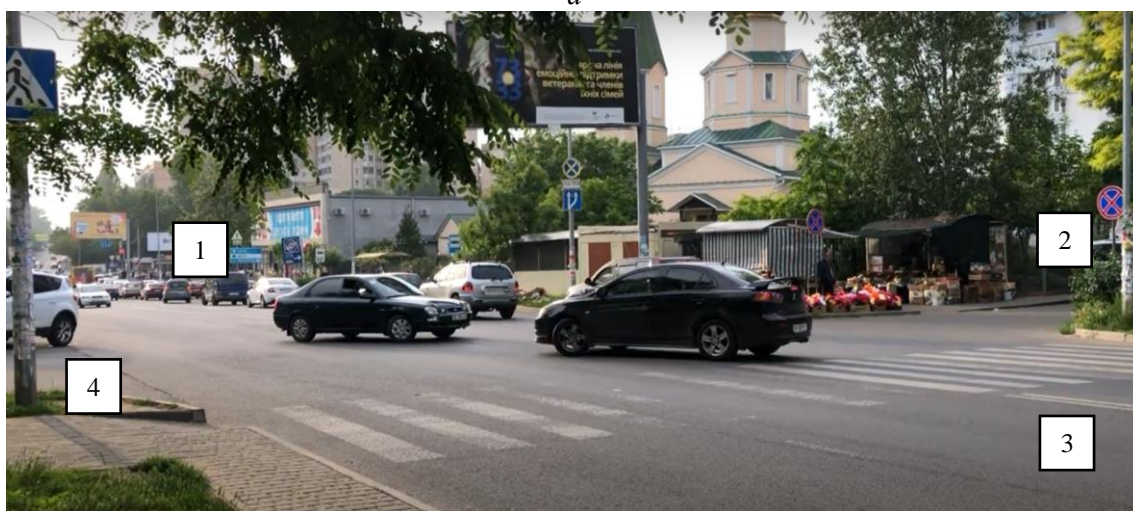
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом дослідження даної роботи є процес формування затримок транспортних засобів при виїзді з прилеглих територій. Основною характеристикою цього процесу є фактична транспортна затримка, яка, в свою чергу, є випадковою величиною, оскільки вона являється результатом натурних спостережень.

Для отримання вихідної інформації, що необхідна для встановлення значень транспортних затримок було проведено відеоспостереження за рухом транспортних засобів на виїзді з прилеглих прибудинкових територій по вул. Академіка Заболотного між вулицями Академіка Сахарова та Семена Паля в місті Одесі. Відеоспостереження було організовано таким чином, щоб була можливість зафіксувати рух транспортних засобів у всіх напрямках (рис. 1). Обстеження проводилося протягом тижня (робочі дні, понеділок-п'ятниця), тривалість відеофіксації одна година в проміжки часу з найбільшим навантаженням на вулично-дорожню мережу: ранковий період «пік» – 7:30-8:30 (квітень 2021 року) та вечірній період «пік» – 18:00-19:00 (червень 2020 року).



а



б

Рисунок 1 – Місце проведення натурних спостережень

(а – план-схема об'єкту (Google Maps); б – приклад відеофіксації руху транспортних засобів)

В результаті обробки отриманої інформації сформовано масив даних для розрахунку затримок транспортних засобів на виїзді з прилеглої території за методикою наведеною в [24] (інтенсивності

руху автомобілів головним (основним) і другорядним напрямком, часові інтервали на здійснення маневрів поворотів на виїздах з прилеглих територій, часовий інтервал між транспортними засобами на головній дорозі), а також на основі якого встановлюються фактичні значення середньої транспортної затримки автомобілів при виїзді з прилеглих територій. Також отримані в результаті натурних спостережень дані є вихідною інформацією для визначення виду та параметрів закону розподілу фактичних транспортних затримок при виїзді транспортних засобів з прилеглих територій. Результати визначення закону розподілу фактичних затримок наведені на рисунках 2, 3.

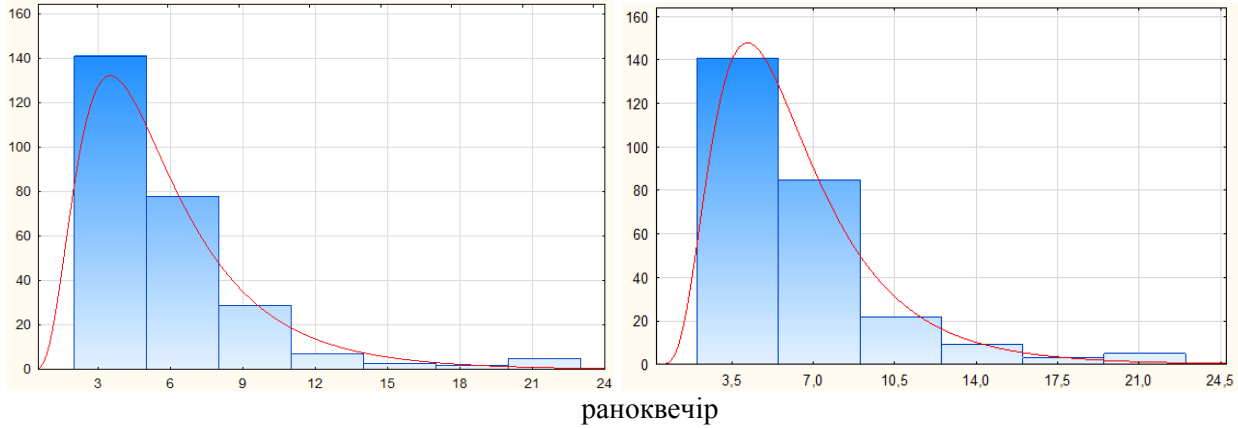


Рисунок 2 – Розподіл фактичних транспортних затримок при здійсненні маневру повороту праворуч при виїзді з прилеглих прибудинкових територій по вул. Академіка Заболотного між вулицями Академіка Сахарова та Семена Палія (вісь x – значення фактичних затримок, s ; вісь y – частота потрапляння значень затримок у відповідний інтервал)

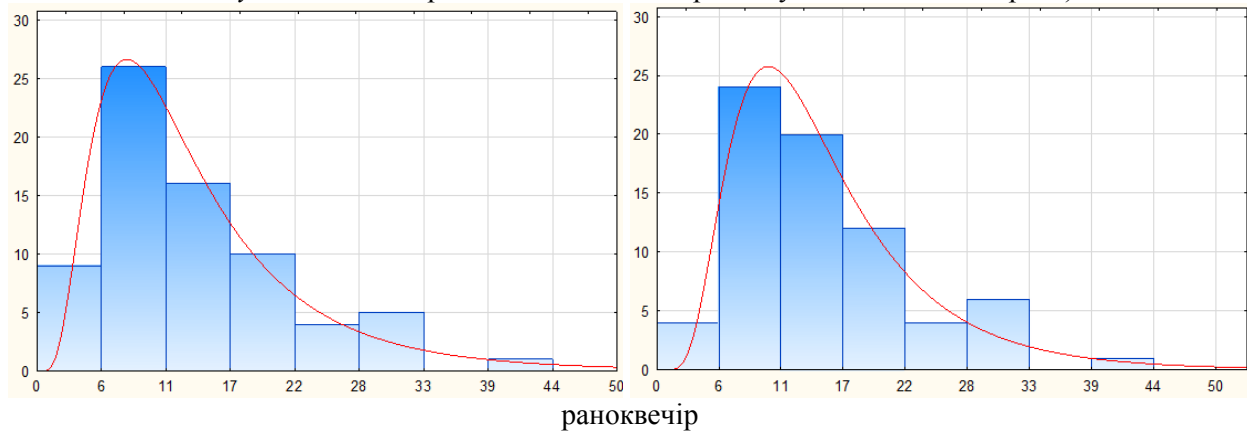


Рисунок 3 – Розподіл фактичних транспортних затримок при здійсненні маневру повороту ліворуч при виїзді з прилеглих прибудинкових територій по вул. Академіка Заболотного між вулицями Академіка Сахарова та Семена Палія (вісь x – значення фактичних затримок, s ; вісь y – частота потрапляння значень затримок у відповідний інтервал)

Встановлено, що розподіл фактичних затримок транспортних засобів при виїзді з прилеглих територій для всіх досліджуваних випадків відповідає логнормальному закону з достатньо високою імовірністю (таблиця 1).

Наведені в таблиці 1 емпіричні значення середньої затримки транспортних засобів, що виїжджають з прилеглої території на автомагістраль (вул. Академіка Заболотного) є основою для перевірки точності моделювання транспортної затримки за розробленою методикою [24]. Інформація про оцінювання точності результатів моделювання затримок транспортних засобів при виїзді з прилеглих територій по запропонованій методиці [24] наведені в таблиці 2.

Таблиця 1 – Параметри логнормального закону розподілу фактичних транспортних затримок при виїзді з прилеглих прибудинкових територій

Параметр	Маневр транспортного засобу при виїзді з прилеглої території за періодами спостереження			
	Поворот праворуч (напрями 2-1, 4-3)	Поворот праворуч (напрями 2-1, 4-3)	Поворот ліворуч (напрями 2-3, 4-1)	Поворот ліворуч (напрями 2-3, 4-1)

	ранковий «піковий» період	вечірній «піковий» період	ранковий «піковий» період	вечірній «піковий» період
Середнє значення, с	5,83	6,33	13,65	15,11
Стандартне відхилення, с	13,98	14,70	61,53	62,99
Значення критерія Колмогорова- Смирнова	0,02488	0,02913	0,03031	0,02723
Значення критерія Пірсона	2,66007	4,0097	0,21615	1,01382
Імовірність за критерієм Пірсона	0,26447	0,135	0,898	0,602

Таблиця 2 – Результати оцінювання точності розрахунку затримок транспортних засобів при виїзді з прилеглих прибудинкових територій по вул. Академіка Заболотного між вулицями Академіка Сахарова та Семена Палія

День тижня	Затримка транспортних засобів при здійсненні повороту праворуч (напрями 2-1 та 4-3 рисунку 1), с		Фактичні значення затримок, с		Затримка транспортних засобів при здійсненні повороту ліворуч (напрями 2-3 та 4-1 рисунку 1), с		Фактичні значення затримок, с	
	ранок	вечір	ранок	вечір	ранок	вечір	ранок	вечір
Понеділок	5,08	6,56	4,69	5,89	13,25	17,20	12,09	16,07
Вівторок	5,59	4,69	5,01	4,40	15,69	10,51	14,78	10,31
Середа	7,03	7,23	6,54	6,84	16,01	19,40	14,58	17,71
Четвер	7,58	8,94	6,95	8,30	15,79	18,30	14,46	16,85
П'ятниця	6,58	6,67	5,95	6,21	13,28	16,59	12,32	14,63
Середнє значення затримки, с	6,37	6,82	5,83	6,33	14,80	16,40	13,65	15,11
Середня похибка розрахунків, %	9,4	7,8	-	-	8,5	8,1	-	-

Отримані результати свідчать про достатньо високу точність результатів розрахунку транспортних затримок з використанням запропонованого підходу та можливість його використання на таких об'єктах як виїзди з прилеглих територій. Слід також відзначити, що використання представлених в [23, 24] моделей дозволяє встановити середнє значення затримки транспортних засобів на обраному для дослідження об'єкті, так середнє значення транспортної затримки на виїзді з прилеглих прибудинкових територій по вул. Академіка Заболотного між вулицями Академіка Сахарова та Семена Палія складає: за необхідності здійснення маневру повороту праворуч 1,8 с., при здійсненні маневру повороту ліворуч – 3,1 с.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Результати оцінки точності розрахунку затримок автомобілів, що виконують маневри повороту ліворуч (пересічення) та праворуч (злиття) при виїзді з прилеглих прибудинкових територій по вул. Академіка Заболотного між вулицями Академіка Сахарова та Семена Палія в місті Одеса, з використанням розроблених аналітичних моделей [23, 24], свідчать про їх надійність та об'єктивність (відхилення фактичних і модельних значень транспортних затримок не перевищує 10 %), а також можливості їх використання на етапах планування та проектування виїздів з прилеглих територій на автомагістралі, а також нерегульованих перехресть.

Але слід відзначити, що існує можливість для підвищення точності розрахунку транспортних затримок з використанням запропонованого підходу [23, 24]. Зменшення відхилень модельних і фактичних значень транспортних затримок при виїзді з прилеглих територій можна досягти за

рахунок врахування в моделях стохастичних характеристик параметру процесу здійснення відповідних маневрів (злиття, пересічення). За такий параметр доцільно обрати граничний часовий інтервал між автомобілями в потоці на головному напрямку, за якого будь-який автомобіль, що очікує здійснення маневру при виїзді з прилеглих територій, може здійснити маневр повороту праворуч та ліворуч, оскільки він є однією з основних складових затримки при виїзді автомобілів з прилеглих територій. Для отримання інформації про граничний часовий інтервал при виїзді транспортних засобів з прилеглих територій необхідне проведення натурних спостережень за діями водіїв при здійсненні маневрів повороту ліворуч і праворуч, з подальшою статистичною обробкою цих даних.

Слід розуміти, що для встановлення об'єктивної інформації про граничний часовий інтервал руху автомобілів необхідне проведення натурних спостережень за рухом транспортних засобів при виїзді з прилеглих територій з подальшою трудомісткою обробкою отриманої інформації. У літературних джерелах [25-28] представлена велика кількість підходів щодо визначення граничного часового інтервалу, але одним з перших методів оцінки критичних інтервалів є метод Раффа, який використовується в багатьох країнах [29].

В рамках даного дослідження визначено граничний часовий інтервал при виїзді транспортних засобів з прилеглих прибудинкових територій по вул. Академіка Заболотного між вулицями Академіка Сахарова та Семена Палія для ранкового періоду при здійсненні маневру повороту праворуч (злиття) з використанням методу Раффа, результати наведені на рисунку 4.

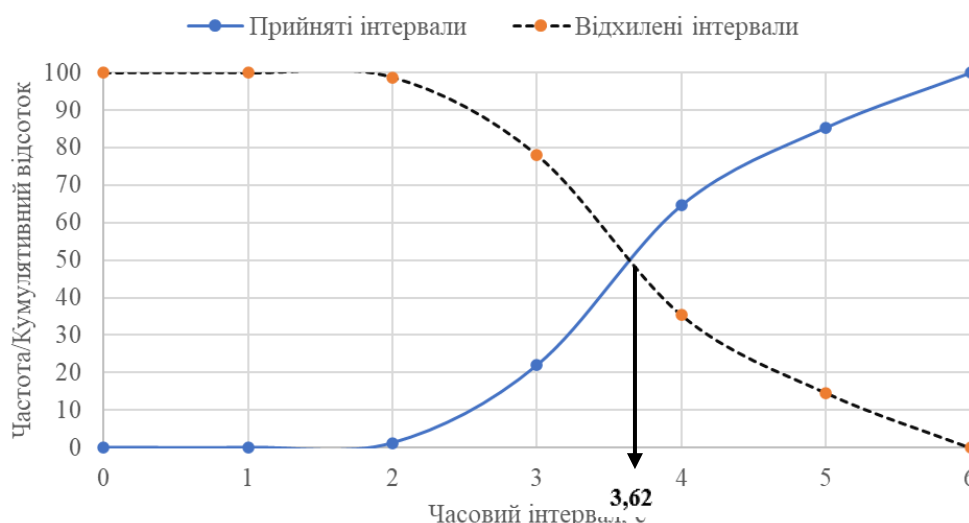


Рисунок 4 – Розрахунковий граничний інтервал за методом Раффа при виїзді транспортних засобів з прилеглих прибудинкових територій по вул. Академіка Заболотного між вулицями Академіка Сахарова та Семена Палія для ранкового періоду при здійсненні маневру повороту праворуч (злиття)

Значення граничного часового інтервалу при здійсненні маневру повороту праворуч на нерегульованому перехресті в [1] для різних методик його визначення (американська, датська, шведська, фінська) є вищими за отримане значення граничного часового інтервалу в даному дослідженні (3,62 с). В більшому ступені, це пояснюється врахуванням в цих методиках додаткових перешкод (наприклад, звуження проїзної частини, рух вантажного транспорту), геометрію перехрестя та ін., а також особливостями організації руху транспорту при виїзді з прилеглих територій та особливостями поведінки водіїв, що характерні для таких об'єктів.

В подальшому планується уточнення результатів розрахунку граничного часового інтервалу для різних періодів доби та маневрів, що виконуються водіями при виїзді з прилеглих територій, а також виявлення закономірностей розподілу граничного часового інтервалу, за рахунок чого існує можливість підвищення точності моделювання транспортних затримок при виїзді автомобілів з прилеглих територій.

ВИСНОВКИ

Результати аналізу сучасних підходів щодо визначення транспортних затримок свідчать про те, що більшість з них застосовуються на прикладі нерегульованих перехресть з двостороннім контролем зупинки й з повністю контрольованою зупинкою та про необхідність розробки аналітичних моделей

для визначення затримок автомобілів на нерегульованих перехрестях рівнозначних доріг, а також для таких об'єктів як виїзди з прилеглих територій.

За результатами натурних спостережень отримані дані, що стали основою для визначення середніх значень фактичних транспортних затримок при виїзді автомобілів з прилеглої території та встановлення закономірностей їх розподілу. Встановлено, що розподіл фактичних транспортних затримок для різних маневрів (поворот праворуч і ліворуч) відповідає логнормальному закону з високою імовірністю. Отримані в ході проведення натурних спостережень за трафіком дані також використані для моделювання затримок автомобілів при виїзді з прилеглої території за запропонованим раніше підходом.

Оцінювання точності розрахунку затримок автомобілів при виконанні маневрів поворотів праворуч (злиття) та ліворуч (пересічення) при виїзді транспортних засобів з прилеглої території за розробленим підходом проведено шляхом порівняння фактичних і модельних значень затримок транспорту. За результатами дослідження встановлено, що в середньому відхилення фактичних і розрахункових значень не перевищує: поворот ліворуч – 9 %; поворот праворуч – 10 %. Отримані результати підтверджують достатньо високу точність результатів моделювання транспортних затримок на виїзді з прилеглих територій з використанням розроблених аналітичних моделей.

Подальшим напрямком дослідження є врахування в розроблених аналітичних моделях імовірнісного характеру зміни величини граничного часового інтервалу при здійсненні відповідних маневрів (злиття, пересічення), при виїзді з прилеглих територій, що дозволить підвищити точність моделювання затримок автомобілів на таких об'єктах.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Capacity and Level of Service at Finnish Unsignalized Intersections. Finnra Reports, 2004. – 214.
2. Любий Є.В. Сучасні підходи щодо визначення транспортних затримок на нерегульованих перехрестях / Є.В. Любий, О.В. Денисенко, О.М. Белецька // Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей», (26-27 червня 2020 року, Луцьк). – Луцьк, ЛНТУ, – 2020. – С. 97-101.
3. Правила дорожнього руху [Електронний ресурс] Офіційний сайт Верховної ради України. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-п>.
4. Горбачов П.Ф. Щодо питання організації руху транспортних засобів при виїзді з прилеглих територій / П.Ф. Горбачов, Є.В. Любий, О.М. Белецька // Матеріали XII науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», (21-23.10.2019, Вінниця). – Вінниця, ВНТУ. – 2019. – С. 53-56.
5. Левашев А.Г. Проектирование регулируемых пересечений / А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, И.М. Головных. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 208 с.
6. Tanner J.C. A Theoretical Analysis of Delays at an Uncontrolled Intersection / J.C. Tanner // *Biometrika*, vol. 49 (1/2), 1962. – P. 163-170. <https://doi.org/10.1093/biomet/49.1-2.163>.
7. Troutbeck R.J. Average delay at an unsignalized intersection with two major streams each having a dichotomized headway distribution / R.J. Troutbeck // *Transportation Science*, 20(4), 1986 – P. 272-286. <https://doi.org/10.1287/trsc.20.4.272>.
8. Heidemann D. Queue length and waiting-time distributions at priority intersections / D. Heidemann // *Transportation Research Part B: Methodological* 25(4), 1991. – P. 163-174. [https://doi.org/10.1016/0191-2615\(91\)90001-Y](https://doi.org/10.1016/0191-2615(91)90001-Y).
9. Kyte M. Capacity and delay characteristics of two-way stop-controlled intersections / M. Kyte, C. Clemon, N. Mahfood, B.K. Lall, C.J. Khist // *Transportation Research. Rec.* 1320, 1991. – P. 160-167.
10. Horowitz A.J. Revised queueing model of delay at all-way stop-controlled intersections / A.J. Horowitz // *Transportation Research. Rec.*, 1398, 1993. – P. 49-53.
11. Madanat S.M. Probabilistic delay model at stop-controlled intersection / S.M. Madanat, M.J. Cassidy, M.H. Wang // *Journal of Transportation Engineering*, 120(1), 1994. – P. 21-36. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1994\)120:1\(21\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1994)120:1(21)).
12. Kaysi I. Driver behavior and traffic stream interactions at unsignalized intersections / I. Kaysi, G. Alam // *Journal of Transportation Engineering*, 6(498), 2000. – P. 498-505. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2000\)126:6\(498\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2000)126:6(498)).
13. Akcelik R. A comparison of three delay models for sign-controlled intersections / R. Akcelik, B. Christensen, E. Chung // *Third International Symposium on Highway Capacity*, Copenhagen, Denmark, Volume 1. Road Directorate, Ministry of Transport, Denmark, 1998. – P. 35-56.

14. Nielsen O.A. Stochastic User Equilibrium Traffic Assignment with Turn-delays in Intersections / O.A. Nielsen, N. Simonsen, R.D. Frederiksen // *International Transactions in Operational Research*, Vol. 5, No. 6, 1998. – P. 555-568. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.1998.tb00137.x>.
15. Al-Omari B. Hybrid delay models for unsaturated two-way stop-controlled intersections / B. Al-Omari, R.F. Benekohal // *Journal of Transportation Engineering*, 4(291), 1999. – P. 291-296. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1999\)125:4\(291\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1999)125:4(291)).
16. Tian Z.Z. Simulation-based study of traffic operation characteristics at all-way-stop-controlled intersections / Z.Z. Tian, M. Kyte, M. Vandehey, W. Kittelson, B. Robinson // *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 1776, 2001. – P. 75-81. <https://doi.org/10.3141/1776-10>.
17. Cvitanić D. Review, testing and validation of capacity and delay models at unsignalized intersections / D. Cvitanić, D. Breski, B. Vidjak // *PROMET-Traffic&Transportation*, vol. 19(2), 2007. – P. 71-82. <https://doi.org/10.7307/ptt.v19i2.937>.
18. Brilon W. Delay at Unsignalized Intersections / W. Brilon // *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 2071, 2008. – P. 98-108. <https://doi.org/10.3141/2071-12>.
19. Transportation Research Board. Highway capacity manual, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC, 2010. – 1207 p.
20. Brilon W. Average Delay at Unsignalized Intersections for Periods with Variable Traffic Demand / W. Brilon // *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 2483, 2015. – P. 57-65. <https://doi.org/10.3141/2483-07>.
21. Caliendo C. Delay Time Model at Unsignalized Intersections / C. Caliendo // *Journal of Transportation Engineering*, 2014. – 140(9). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436).
22. Mohammad M.A. Traffic Delay Estimation Using Artificial Neural Network (ANN) at Unsignalized Intersections / M.A. Mohammad, O.B.C. Puan // *Proceedings of the 3rd International Conference on Civil, Structural and Transportation Engineering (ICCSTE'18)*, Niagara Falls, Canada. Paper #106, 2018. <https://doi.org/10.11159/iccste18.106>.
23. Любий Є.В. Підхід щодо визначення затримок автомобілів на нерегульованих перехрестях з рівнозначними напрямками / Є.В. Любий, П.Ф. Горбачов, О.М. Белецька // *Матеріали II всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції «Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем»*, (9-11 листопада 2020 року). – Рівне, НУВГП. – 2020. – С. 94-96.
24. Горбачов П.Ф. Підхід щодо визначення затримок транспортних засобів на нерегульованих перехрестях з нерівнозначними напрямками / П.Ф. Горбачов, Є.В. Любий, О.М. Белецька // *Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Інтелектуальні технології управління транспортними процесами»*, (17-18 листопада 2020 року, Харків). – Харків, ХНАДУ. – 2020. – С. 162-164.
25. Євчук М.Ю. Дослідження граничних часових інтервалів на нерегульованих перехрестях / М.Ю. Євчук, О.М. Грицунь // *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. – 2013. – Вип. 4. – С. 45-47.
26. Михайлов А.Ю. Анализ математических моделей расчета интервалов следования в главных потоках для преобладающих дорожных условий российской федерации // А.Ю. Михайлов, Е.Л. Попова. – *Вестник СибАДИ*. – 2020. – 17(6). – С. 714-725. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-714-725>
27. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов / Е.М. Лобанов. – М.: 1990. – 240 с.
28. Mukti A. Defining and Analyzing Forceful Gap Behavior at Unsignalized Intersections / Mukti Advani, Neelam J. Gupta, S. Velmurugan, Errampalli Madhu and Satish Chandra // *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, Vol 2674(8), 2020. – P. 420-428. DOI: 10.1177/0361198120925258.
29. Raff M.S. A Volume Warrant for Urban Stop Signs / M.S. Raff. – Eno Foundation for Highway Traffic Control, Connecticut, 1950. – 121 p.

REFERENCES

1. Capacity and Level of Service at Finnish Unsignalized Intersections (2004). Finnra Reports, 214.
2. Liubiyi, Ye.V., Denysenko, O.V. & Bielecka, O.M. (2020). Suchasni pidkhody shchodo vyznachennia transportnykh zatrymok na neregulovanykh perekhrestiakh. Materialy VI Mizhnarodnoi

- naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Naukovo-prykladni aspekty avtomobilnoi i transportno-dorozhnoi haluzei», 97-101.
3. Pravyla dorozhnoho rukhu (2001). Ofitsiyni sait Verkhovnoi rady Ukrainy. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-p>.
 4. Horbachov, P.F., Liubiy, Ye.V. & Bielecka, O.M. (2019). Shchodo pytannia orhanizatsii rukhu transportnykh zasobiv pry vyizdi z prylehlykh terytorii. Materialy XII naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasni tekhnologii ta perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu», 53-56.
 5. Levashev, A.G., Mikhaylov, A.Yu. & Golovnykh, I.M. (2007). Proektirovanie reguliruemyykh peresecheniy, 208.
 6. Tanner, J.C. (1962). A Theoretical Analysis of Delays at an Uncontrolled Intersection. *Biometrika*, vol. 49 (1/2), 163-170. <https://doi: 10.1093/biomet/49.1-2.163>.
 7. Troutbeck, R.J. (1986). Average delay at an unsignalized intersection with two major streams each having a dichotomized headway distribution. *Transportation Science*, 20(4), 272-286. <https://doi: 10.1287/trsc.20.4.272>.
 8. Heidemann, D. (1991). Queue length and waiting-time distributions at priority intersections. *Transportation Research Part B: Methodological* 25(4), 163-174. [https://doi.org/10.1016/0191-2615\(91\)90001-Y](https://doi.org/10.1016/0191-2615(91)90001-Y).
 9. Kyte, M., Clemon, C., Mahfood, N., Lall, B.K. & Khis, C.J. (1991). Capacity and delay characteristics of two-way stop-controlled intersections. *Transportation Research. Rec.* 1320, 160-167.
 10. Horowitz, A.J. (1993). Revised queueing model of delay at all-way stop-controlled intersections. *Transportation Research. Rec.*, 1398, 49-53.
 11. Madanat, S.M., Cassidy, M.J. & Wang, M.H. (1994). Probabilistic delay model at stop-controlled intersection. *Journal of Transportation Engineering*, 120(1), 21-36. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1994\)120:1\(21\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1994)120:1(21)).
 12. Kaysi, I. & Alam, G. (2000). Driver behavior and traffic stream interactions at unsignalized intersections. *Journal of Transportation Engineering*, 6(498), 498-505. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2000\)126:6\(498\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2000)126:6(498)).
 13. Akcelik, R., Christensen, B. & Chung, E. (1998). A comparison of three delay models for sign-controlled intersections. *Third International Symposium on Highway Capacity*, Copenhagen, Denmark, Volume 1. Road Directorate, Ministry of Transport, Denmark, 35-56.
 14. Nielsen, O.A., Simonsen, N. & Frederiksen, R.D. (1998). Stochastic User Equilibrium Traffic Assignment with Turn-delays in Intersections. *International Transactions in Operational Research*, Vol. 5, No. 6., 555-568. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.1998.tb00137.x>.
 15. Al-Omari, B. & Benekohal, R.F. (1999). Hybrid delay models for unsaturated two-way stop-controlled intersections. *Journal of Transportation Engineering*, 4(291), 291-296. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1999\)125:4\(291\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1999)125:4(291)).
 16. Tian, Z.Z., Kyte, M., Vandehey, M., Kittelson, W. & Robinson, B. (2001). Simulation-based study of traffic operation characteristics at all-way-stop-controlled intersections. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 1776, 75-81. <https://doi.org/10.3141/1776-10>.
 17. Cvitanić, D., Breski, D. & Vidjak, B. (2007). Review, testing and validation of capacity and delay models at unsignalized intersections. *PROMET-Traffic&Transportation*, vol. 19(2), 71-82. <https://doi.org/10.7307/ptt.v19i2.937>.
 18. Brilon, W. (2008). Delay at Unsignalized Intersections. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 2071, 98-108. <https://doi.org/10.3141/2071-12>.
 19. Transportation Research Board (2010). Highway capacity manual, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC, 1207.
 20. Brilon, W. (2015). Average Delay at Unsignalized Intersections for Periods with Variable Traffic Demand. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 2483, 57-65. <https://doi.org/10.3141/2483-07>.
 21. Caliendo, C. (2014). Delay Time Model at Unsignalized Intersections. *Journal of Transportation Engineering*, 140(9). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436).
 22. Mohammad, M.A. & Puan, O.B.C. (2018). Traffic Delay Estimation Using Artificial Neural Network (ANN) at Unsignalized Intersections. *Proceedings of the 3rd International Conference on Civil, Structural and Transportation Engineering (ICCSTE'18)*, Niagara Falls, Canada. Paper #106. <https://doi.org/10.11159/iccste18.106>.

23. Liubiy, Ye.V., Horbachov, P.F. & Bielecka, O.M. (2020). Pidkhid shchodo vyznachennia zatrymok avtomobiliv na nerehulovanykh perekhrestyakh z rivnoznachnymy napriamkamy. Materialy II vseukrainskoi naukovy-tekhnichnoi internet-konferentsii «Innovatsiini tekhnolohii rozvytku mashynobuduvannia ta efektyvnoho funktsionuvannia transportnykh system, 94-96.

24. Horbachov, P.F., Liubiy, Ye.V. & Bielecka, O.M. (2020). Pidkhid shchodo vyznachennia zatrymok transportnykh zasobiv na nerehulovanykh perekhrestyakh z nerivnoznachnymy. Materialy mizhnarodnoi naukovy-tekhnichnoi konferentsii «Intelektualni tekhnolohii upravlinnia transportnymy protsesamy», 162-164.

25. Yevchuk, M.Iu. & Hrytsun, O.M. (2013). Doslidzhennia hranychnykh chasovykh intervaliv na nerehulovanykh perekhrestyakh. Avtomobil i elektronika. Suchasni tekhnolohii., 45-47.

26. Mikhaylov, A.Yu. & Popova, Ye.L. (2020). Analiz matematychnykh modeley rascheta intervalov sledovaniya v glavnykh potokakh dlya preobladayushchikh dorozhnykh usloviy rossiyskoy federatsii. Vestnik SibADI, 714-725. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-714-725>

27. Lobanov, Ye.M. (1990). Transportnaya planirovka gorodov, 240.

28. Mukti Advani, Neelam J. Gupta, S. Velmurugan, Errampalli Madhu & Satish Chandra (2020). Defining and Analyzing Forceful Gap Behavior at Unsignalized Intersections. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board, 420-428. DOI: 10.1177/0361198120925258.

29. Raff, M.S. (1950). A Volume Warrant for Urban Stop Signs. Eno Foundation for Highway Traffic Control, 121.

***Ye. Liubiy, O. Bielecka* Experimental research of traffic delays at the adjacent territory exit**

The presented scientific work is devoted to the study of problem to determine traffic delays at the adjacent territory exit on city highways. Currently there are already a large number of different approaches to determine delays at unsignalized intersections have been developed, but they don't fully take into account the aspects of traffic organization and drivers' behavior at the adjacent territory exit.

The results of field observations of traffic at the adjacent territory exit are the basis for the delays evaluation, which are determined by the proposed approach. The developed approach to determine traffic delays is based on the queuing theory and taken into account the priority of traffic in competing directions. It was established that the deviation of factual transport delays and delays obtained by the proposed approach for maneuvers of turns to the right (merging) and left (crossing) does not exceed 10 %, which indicates the possibility of its use at such objects as the adjacent territory exit. Based on the empirical data obtained it was determined the factual delays distribution of vehicles at the adjacent territory exit which for all considered cases corresponds to the lognormal law with a fairly high probability.

To reduce the deviations of model and factual transport delays at the adjacent territory exit it is necessary to take into account the stochastic characteristics of parameters the process of making maneuvers of turns to the right and left in the model. Such a parameter is critical interval between vehicles in the main direction (road), at which any vehicle waiting for a maneuver at the adjacent territory exit, will be able to turn right (merging) or left (crossing), which can be determined by statistical processing of the results of field observations.

Key words: traffic flow, delay, critical gap, adjacent territory exit, field observations

ЛЮБИЙ Євген Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет e-mail: lion_khadi@ukr.net <https://orcid.org/0000-0003-0681-0920>

БЛЕЦЬКА Ольга Михайлівна, здобувач (аспірант) кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет e-mail: Olya.Krasotova@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-6256-8705>

Yevhen LIUBYI, PhD, Associate Professor of Transport Systems and Logistics Department, Kharkiv National Automobile and Highway University e-mail: lion_khadi@ukr.net <https://orcid.org/0000-0003-0681-0920>

Olha BIELETSKA, Postgraduate of Transport Systems and Logistics Department, Kharkiv National Automobile and Highway University e-mail: Olya.Krasotova@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-6256-8705>

DOI 10.36910/automash.v1i16.513

УДК 656.078
UDC 656.078

Прогній П.Б.¹, Попович Д.П.², Захарчук О.П.¹, Шевчук О.С.¹, Попович П.В.¹, Матвєєва І.В.³
Островерхов В.М.¹, Коцур А.С.¹

¹Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна; ²Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського; ³Національний авіаційний університет, Київ, Україна

БЕЗПЕКА ПЕРЕВЕЗЕНЬ ПАСАЖИРІВ У ГРОМАДСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ В УМОВАХ ПАНДЕМІЇ

В умовах пандемії COVID-19 виникають значні об'єктивні проблеми з точки зору безпечного перевезення населення громадським транспортом. Динамічна політика швидкого реагування при транспортуванні людей для зменшення ризиків зараження пасажирів і водіїв забезпечується тим, що при перевезеннях необхідним є надання дозволу муніципальними органами влади на перевезення людей без обтяжуючих зайвих обмежень щодо числа пасажирів у салоні, дотримуватись рівня заповнення салону автобуса винятково відповідно до передбачених конструкцією транспортного засобу числа сидячих місць максимальної кількості пасажирів. Як доведено дослідженнями, штучне недовантаження транспортного засобу для уникнення щільного контакту пасажирів не впливає рівень зараження COVID-19, тому дане обмеження не є раціональним, спричиняючи недовантаження і нерациональні суттєві фінансові втрати перевізника, як наслідок, ймовірне звільнення найманих працівників, відповідно негативний соціальний ефект. Сформовано рекомендації, такі як, обов'язкове використання масок у комплекті з рукавичками, посилена вентиляція салону, а також організація посадки – висадки пасажирів тільки на задні двері та 100% безконтактна оплата проїзду для максимального захисту водія. Дане дослідження є основою формування політики перевезень пасажирів громадським транспортом з позиції визначення рівня безпеки в умовах COVID-19 та комфорту пасажирів з розробкою основ вимірювання сприйняття найважливіших факторів зручності громадського транспорту, мінімального дискомфорту і максимальної безпеки.

Ключові слова: організація перевезень, безпека пасажирів, громадський транспорт, пасажиропотік, маршрут

ВСТУП

Незважаючи на те, що зручність пасажирів та в час пандемії, безпека є базовими факторами попиту для громадського транспорту, а таким показником, як зручність в Україні завжди нехтується при проектуванні транспортних систем середніх містах, хоча вибір пасажирями громадського транспорту залежить від багатьох факторів. З метою збільшення рівня безпеки, а також зменшення рівня дискомфорту у громадському транспорті, транспортна послуга має проектуватися таким чином, щоб відповідність очікуванням пасажирів була максимально адекватною [1, 9]. На сьогодні, органами влади часто рекомендується при міських пасажирських перевезеннях дотримуватись заповнення салону автобуса лише відповідно до передбаченої конструкцією транспортного засобу максимальної кількості пасажирів для місць сидіння. Таке навантаження транспортного засобу для уникнення щільного контакту пасажирів позитивно впливатиме на навантаження металоконструкції та ходової частини, осей розширюючи зони комфортності коливання шин, збільшуючи ресурс роботи транспортних засобів [12-16].

АНАЛІЗ ВІДОМИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

При міських перевезеннях громадським транспортом, зокрема у середніх містах за класифікацією ДБН Б.2.2-12:2019, в умовах пандемії COVID-19 виникають значні ускладнення з позиції оптимізації перевізних процесів за критерієм максимальної безпеки пасажирів та водіїв. За інформацією НАТО [1], органи управління транспортом у країнах світу перебувають на передових позиціях з точки зору реагування на пандемію шляхом раціональної розробки динамічної політики швидких дій при транспортуванні людей конкретно при даній надзвичайній ситуації. За дослідженнями групи китайських урядових епідеміологів, зокрема Hu Shixiong, the lead author of the study who works for the Hunan Provincial Centre for Diseases Control and Prevention, опублікованих by Stephen Chen в "Practical Preventive Medicine" і South China Morning Post print edition від 9 березня, 2020 р. [2] встановлено, що SARS-CoV2 може перебувати у повітрі салону і на тих поверхнях транспортного засобу, на яких осіли дихальні краплі зараженої людини до кількох діб, значно підвищуючи ризик подальшої його передачі пасажиром транспортного засобу тактильним шляхом [2]. Тривалість часу перебування SARS-CoV2 на твердій поверхні залежить від таких факторів, як температура та тип поверхні, наприклад, при 37 ° C, він може знаходитися протягом двох-трьох днів

на склі, тканині, метали, пластику чи папері [2], що є великою проблемою. Необхідно сформувавши політику міських перевезень населення громадським транспортом в умовах COVID-19 розробивши адекватні заходи для максимального уникнення розповсюдження COVID-19 при достатньому рівні показників комфорту з забезпеченням необхідних стратегій безпечного перевезення пасажирів у містах. Достатній рівень комфорту поїздки населення при використанні громадського транспорту при проектуванні транспортної мережі міста практично завжди нехтується, особливо при перевезеннях населення громадським транспортом у середніх міст, вважаючи, що такий показник, як час їздки буде єдиним показником який впливатиме на вибір пасажиром виду транспорту [9- 11, 19, 20, 21, 22].

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Необхідно сформувавши основу для проведення вимірювань суб'єктивного сприйняття пасажирів якості поїздки та запропоновано удосконалену політику міських перевезень населення громадським транспортом в умовах COVID-19 з оцінкою рівня дискомфорту у системі громадського транспорту середніх міст шляхом використання множини якісних і кількісних показників. Дослідженням забезпечується глибше розуміння суб'єктивного ставлення пасажирів до сприйняття якості транспортної послуги як фактору зручності при забезпеченні належного рівня безпеки з точки зору пандемії в послугах міського громадського транспорту. Важливо, що дані дослідження пасажиропотоків на автобусних маршрутах міського громадського транспорту в м. Тернопіль виконувалися як суцільні натурні дослідження табличним методом. Для здійснення аналізу досліджуються шість обертових рейсів на кожному діючому маршруті транспортної мережі міста у періоди: піковий ранковий - з 6.30- 10.00 год., міжпіковий - з 10.00 до 16.00 год., піковий вечірній - з 16.00 до 19.30 год. Досліджуються особливості зміни пасажиропотоку по годинах доби, днях тижня, нерівномірність пересування пасажирів у часі і просторі по місту з початкової до кінцевої зупинки, а також оцінка основних пересадочні пункти міста, спосіб оплати за проїзд: готівковий чи безконтактний, пільговий. Період досліджень - 7 календарних днів, з 04.11.19 по 11.11.19 року, зміни пасажиропотоку вивчаються окремо у робочі і вихідні дні. Час проведення: 6.30 - 19.30 год. В салоні перебував один обліковець, працюючи у маршрутному транспортному засобі починаючи з першої зупинки, розміщуючись за задніми дверима автобуса (рис. 1). Всі одержані дані по пасажирообігу і способу оплати, а також інформацію про вид транспорту, на якому проводяться дослідження, номер маршруту, напрямок руху транспортного засобу - прямий чи зворотній напрям, час початку і закінчення рейсу, час руху автобуса між зупинками, марку рухомого складу, обліковець самостійно, по факту записував у сформовану дослідниками картку обліку.

На території України налічується близько 66 міст [3, 4], які можна віднести до категорії середніх [3], площа міст з чисельністю мешканців від 50000 - 250000 чоловік становить до 65 квадратних кілометрів. Для такого міста, як Тернопіль, основним пасажиропотокам властиві діаметральні, або радіальні напрямки, щільність населення знаходиться в межах 113,1 чол./кв.км. За інформацією [5, 6, 19, 20, 21,22], місто має 38 транспортних районів, загальна кількість автобусних маршрутів громадського транспорту становить 37, вони обслуговуються 197 од. автобусів, кількість зупиночних пунктів – 218 од., загальна довжина автобусної маршрутної мережі – 647, 7 км. Проведеними дослідженнями встановлено, автобусний парк громадського транспорту комплектується транспортними засобами малої пасажиромісткості типу “Богдан А092”, “Еталон”, кожен з яких має місткість 42 пасажирів. У пікові години по всій мережі громадського транспорту спостерігали перевантаження транспорту - коефіцієнт заповнення становив більше 100%, причому середньодобовий коефіцієнт знаходився в межах 60-80%.

Дослідженнями мережі громадського транспорту м. Тернополя, визначено основні базові показники мобільності пасажирів, які можуть бути характерними для середніх міст, що добре корелює з [17, 19, 20, 21, 22], наприклад, *more than zero, fewer than 45, ideally 16: Those are the number of minutes that workers would prefer to spend commuting, according to various studies.* Отже:

- швидкість притоку пасажирів на зупинку у між пікові періоди 1пас/хв, у години пік 4 пас/хв.;
- час очікування транспортного засобу до 10 хв.;
- час поїздки від периферійних районів до центру 30-35 хв. ;
- час поїздки між периферійними районами до 60 хв.;
- години пік ранкові 8.00-9.00 год., вечірні 16.30-18.30 год.;
- розрахункова швидкість переміщення пасажирів у автобусах міста 15-20 км/год.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження було проведено двома етапами робіт – камеральному, а також експериментальному - проведено збір та обробку даних, отриманих у результаті обстеження

пасажи́рських потоків. Суцільні натурні дослідження табличним методом, який, в порівнянні з існуючими, є найбільш трудомістким, проте єдиним, який може забезпечити максимальну точність інформації про пасажирів для подальшої камеральної обробки отриманих статистичних даних досліджуваної системи автобусних маршрутів громадського транспорту м. Тернополя.

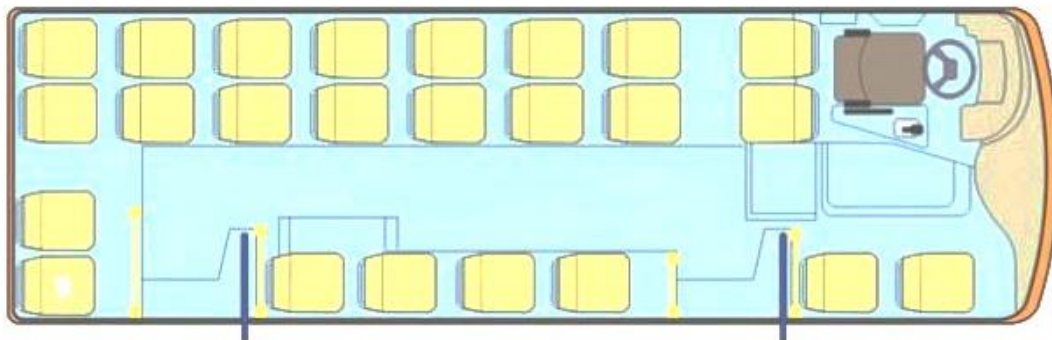
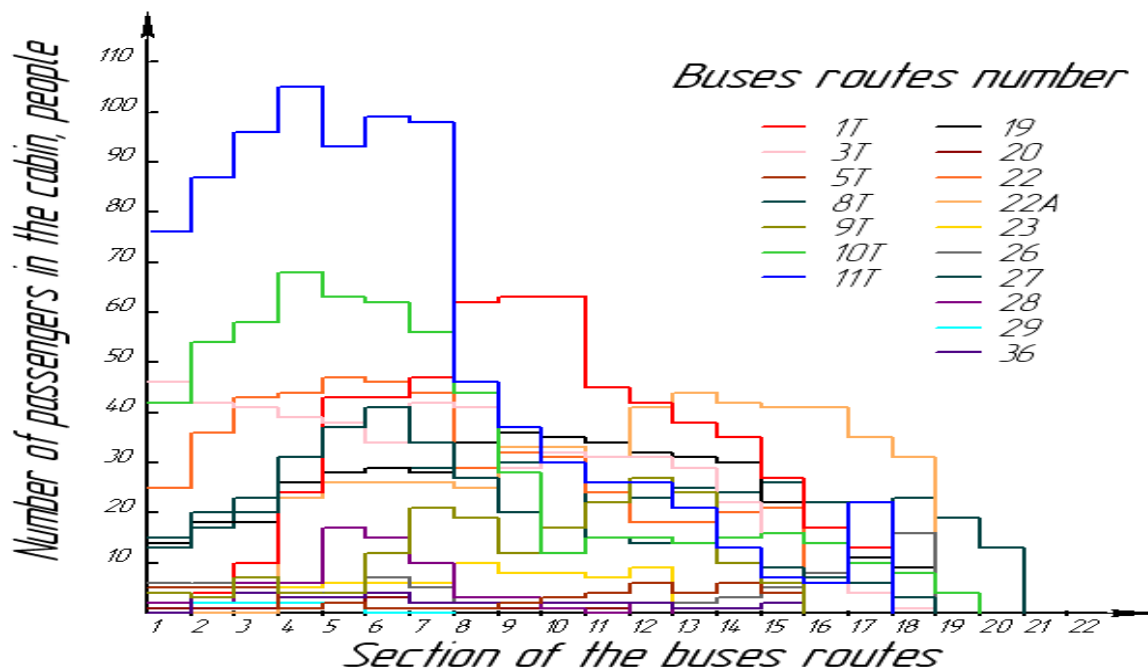
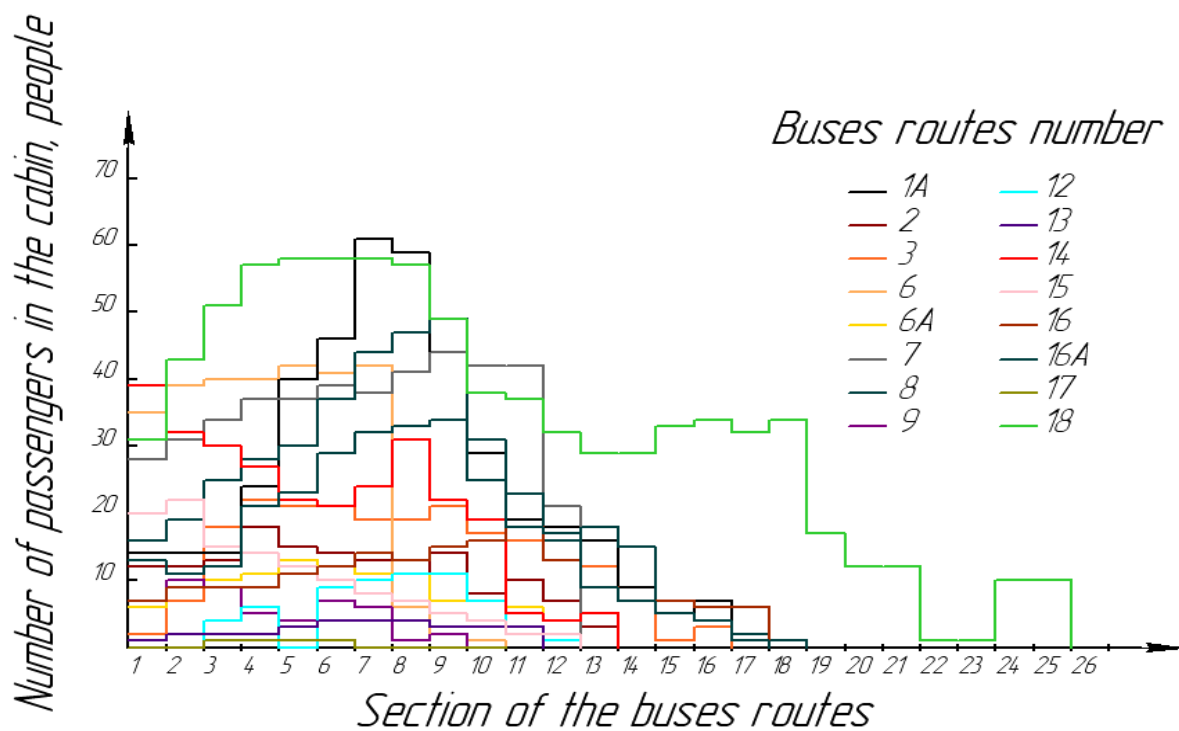


Рисунок 1. Розташування обліковця в салоні автобуса Богдан А092

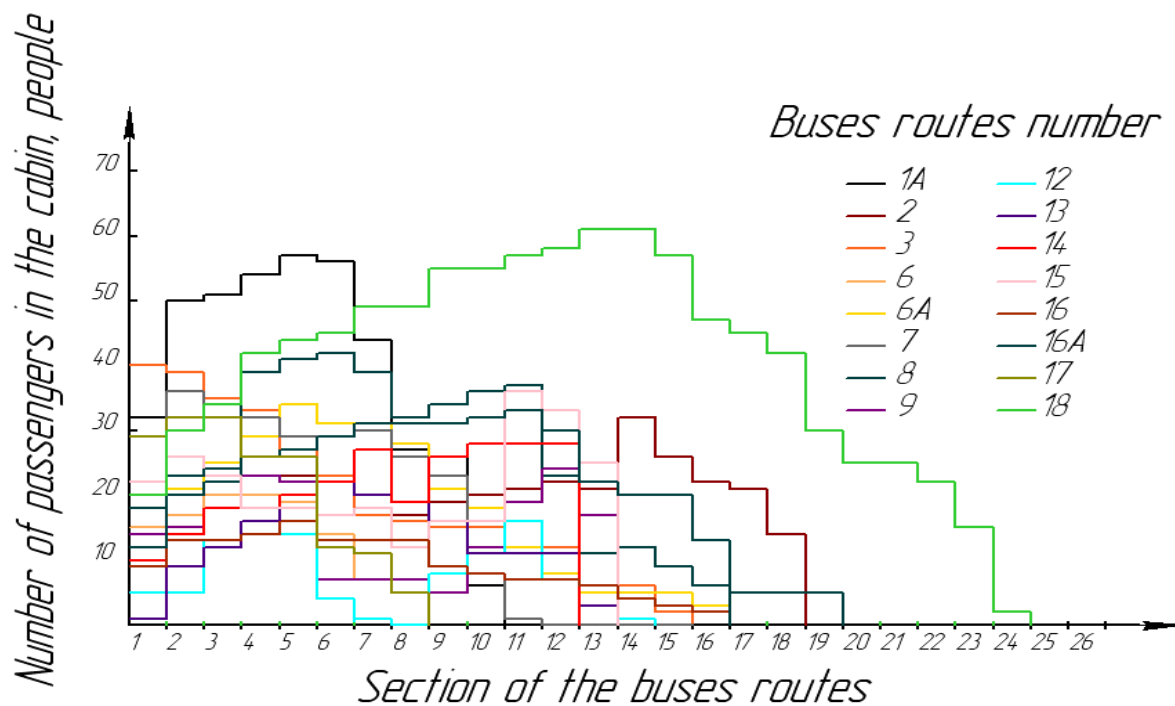
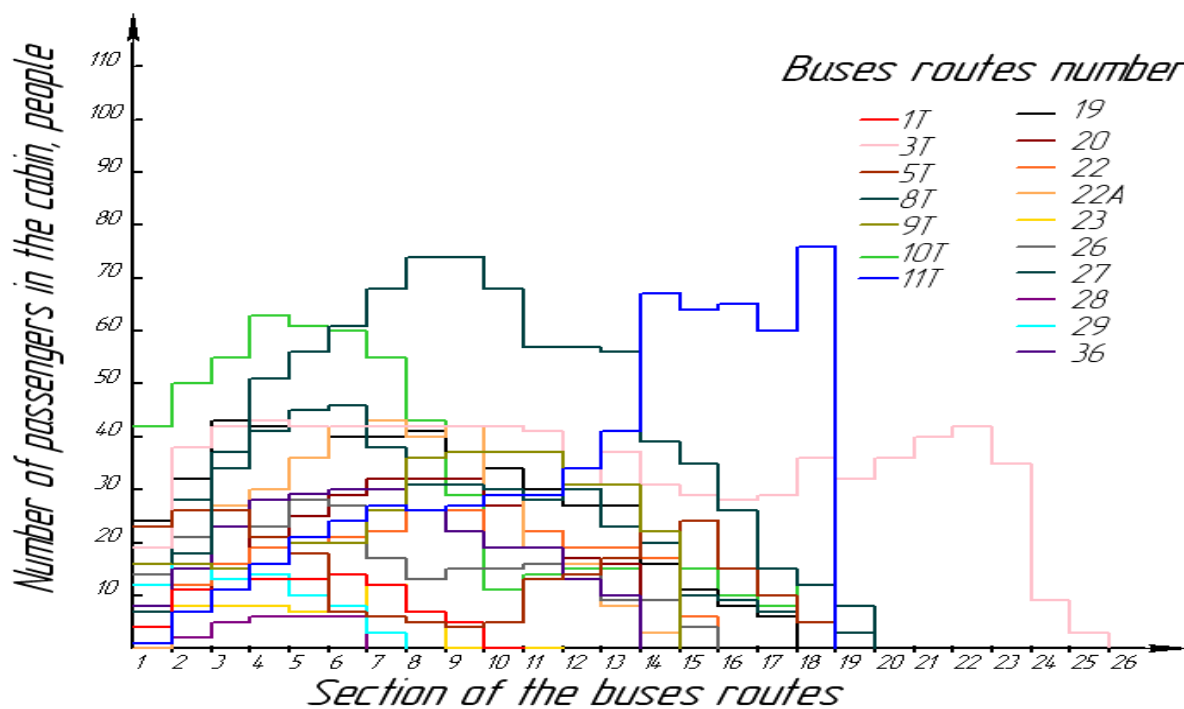
Одержану органолептичним шляхом інформацію було внесено для подальшого опрацювання у сформовану спеціальну карту обліку, потім проводилися обчислення для ділянок руху між зупиночними пунктами кожного досліджуваного маршруту.

Проведеними дослідженнями встановлено, ступінь безконтактної (банківські картки, гугл пей) оплати за проїзд становив від 60% до 74% загального числа пасажирів, які оплачували проїзд, за винятком пільгових категорій населення, при пасажирських перевезеннях на маршрутах громадського транспорту у місті. Визначено, що час руху транспортного засобу між ділянками маршрутів, для всіх досліджуваних, знаходився у межах 2 -2,3 хвилини, в залежності від дорожньої обстановки, де межами ділянок є зупинки громадського транспорту. Мультикритеріальним аналізом транспортної мережі встановлено: коефіцієнт пересадочності пасажирів 1,1; коефіцієнт непрямолінійності 1,76; середній час очікування 5,8 хв.; маршрутний коефіцієнт 4,60; середній час пересування 33 хв.; середня відстань пересування 4,3 км., що корелює з даними, одержаними дещо раніше [5].

Оптимальним для формування політики міських перевезень населення громадським транспортом [19, 20, 21, 22] в умовах COVID-19 з позиції оптимізації за критерієм максимальної безпеки при раціональній завантаженості є застосування даних досліджень найскладнішого з позиції максимальної завантаженості маршруту (рис. 2) при перевезеннях населення міста за показниками найбільшої кількості пасажирів, відстані та часу перевезення, який лімітує одночасне перебування в закритому просторі - салоні маршрутного транспортного засобу людей. Для даного маршруту коефіцієнт непрямолінійності, середній час очікування, середній час пересування, середня відстань пересування є вищими від вказаних вище середніх значень. Встановлено, що таким є маршрут, що з'єднує два периферійні райони на діаметрально протилежних сторонах міста Тернопіль, №18. Довжина маршруту- 18,87 км., час виконання поїздки у одному напрямку -53 хв., час роботи- з 6.20 год. по 20.50 год.



a)



б)

Рисунок 2. Нерівномірність пасажиропотоку для вказаного транспортного засобу за ділянками маршруту

а) пряма поїздка; б) зворотня поїздка

Схему салону транспортного засобу - Богдан А092 пасажиромісткістю 42 місця, з яких для сидіння, включаючи водія, 25 місць, зображено на рис. 3 [7].

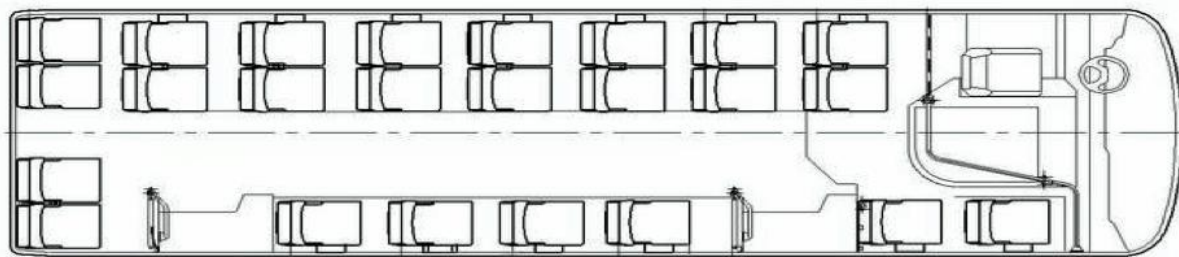


Рисунок 3. Салон автобуса малої vehicle capacity

В [9] функція рівня переповненості як функція дискомфорту розраховується з урахуванням пасажиромісткості транспортних засобів, враховуючи кількість місць для сидіння і тривалість поїздки. Розглядалися різні варіанти поїздок, при першому вільних сидячих місць не було, при другому було одне місце для сидіння і при третьому варіанті пасажиромісткість транспортного засобу за рахунок великої кількості пасажирів використовувалася на 100%. В роботі [10] запропоновано оцінювання переповненості шляхом вимірювання рівня переповненості за значенням коефіцієнта навантаження і кількості стоячих пасажирів на один квадратний метр, хоча часто такий показник нормований і враховується виробниками транспортних засобів ще на етапі проектування. При тому, що умовне порогове значення – одиниця буде перевищене, функція дискомфорту ростиме за експоненціальним законом [10]. Можливо, раціональним також буде апроксимувати закон зміни функції дискомфорту поліномом третього (четвертого) степеня моделюючи дану ситуацію.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

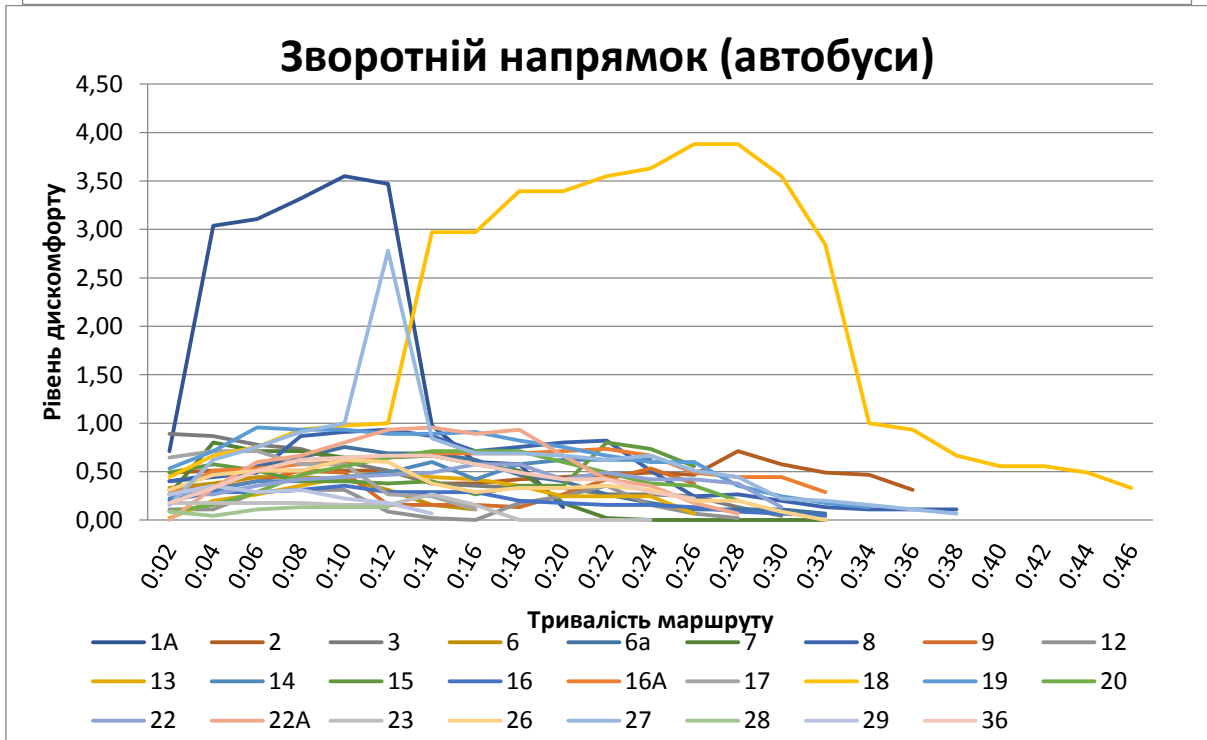
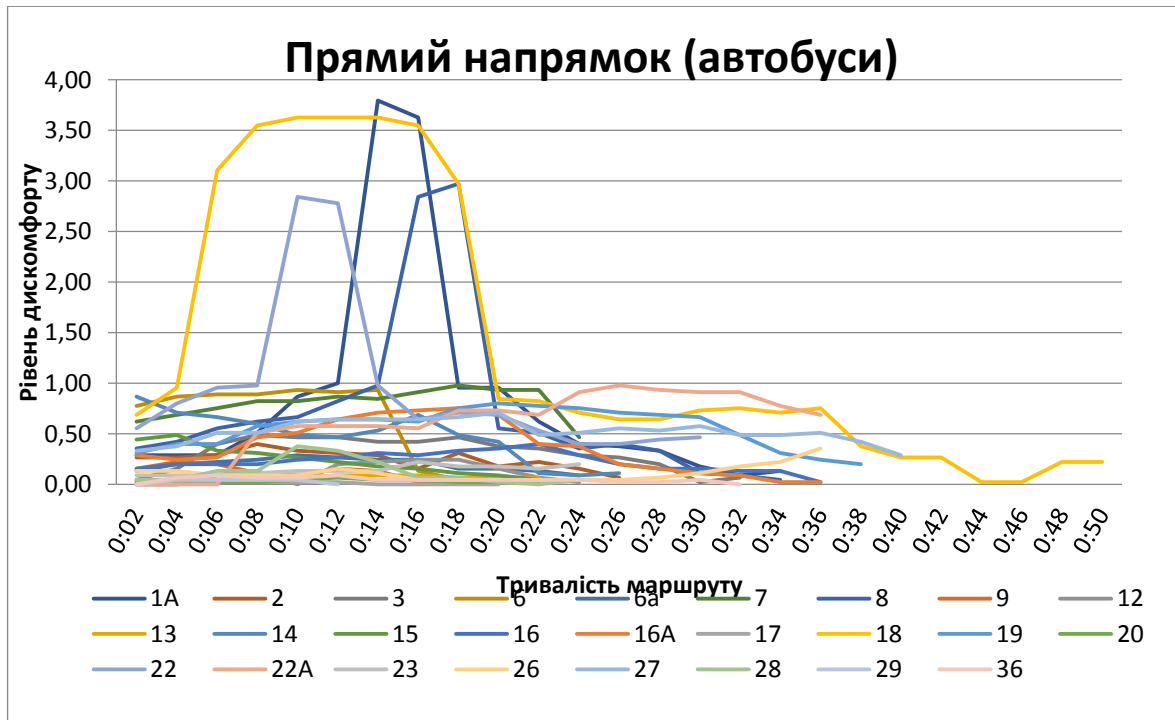
Для відображення сприйняття пасажирями рівня комфорту у громадському транспорті, в [11] моделюється лінійне підвищення рівня дискомфорту до порогового значення і при його перевищенні з наступним зростанням за експоненціальним законом.

Рівень дискомфорту, рис.4, є функцією розрахункової щільності пасажирів в транспортному засобі [11]

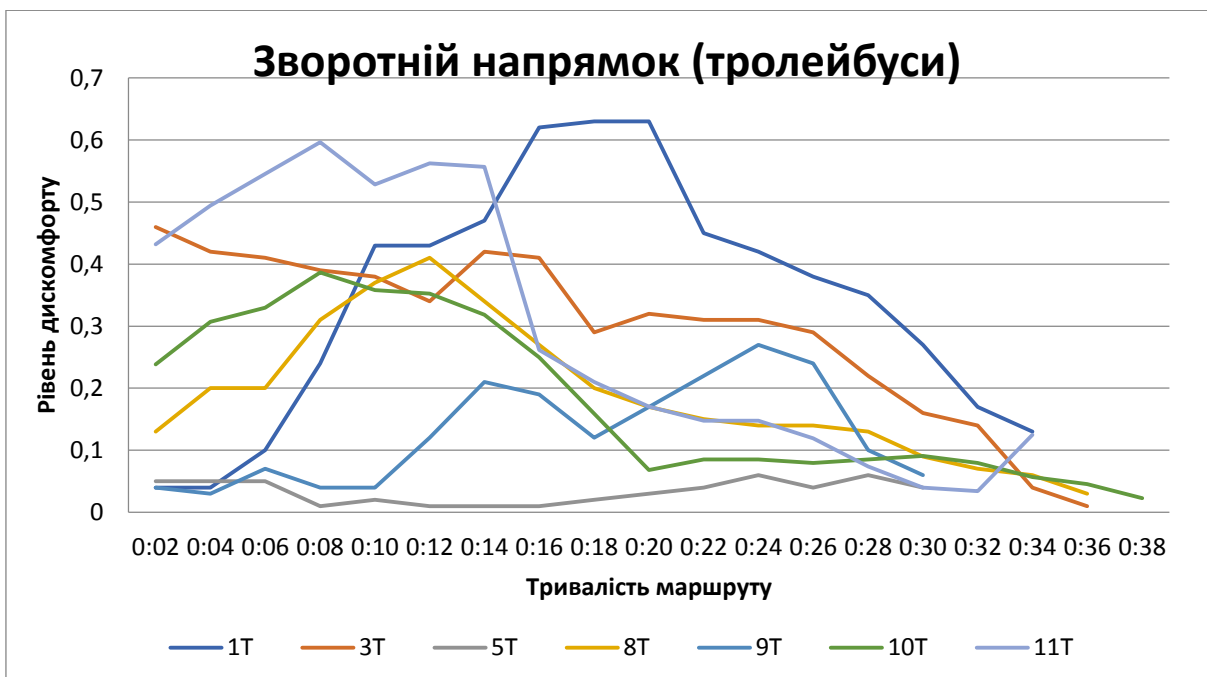
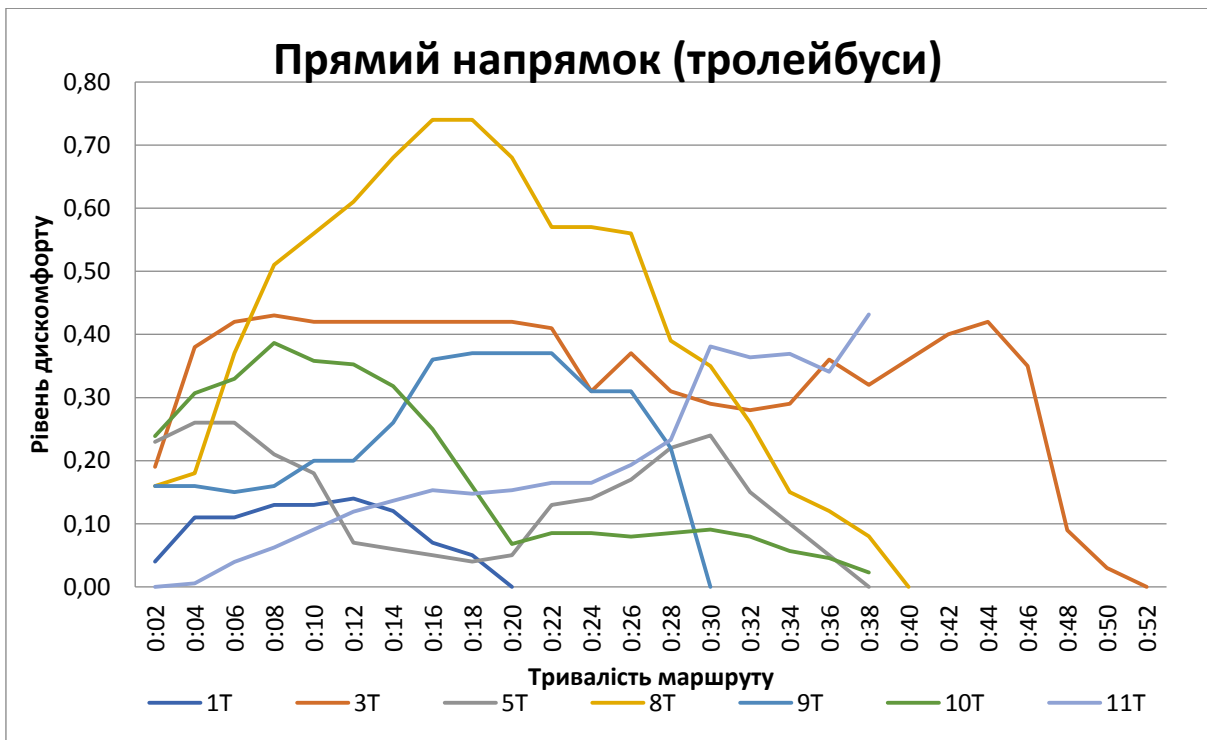
$$x = \begin{cases} \alpha & \text{if } \alpha \leq 1 \\ e^{\alpha} & \text{if } \alpha > 1 \end{cases} \quad (1)$$

де рівень кількості пасажирів в транспортному засобі (x) обчислюється на основі показника α

$$\alpha = \frac{\text{Number of passengers in vehicle}}{\text{Vehicle capacity}} \quad (2)$$



a)



б)

Рисунок 4. Загальний рівень дискомфорту як функція щільності пасажирів за часом у поїздки маршрутом громадського пасажирського транспорту: а) автобусні маршрути; б) тролейбусні маршрути

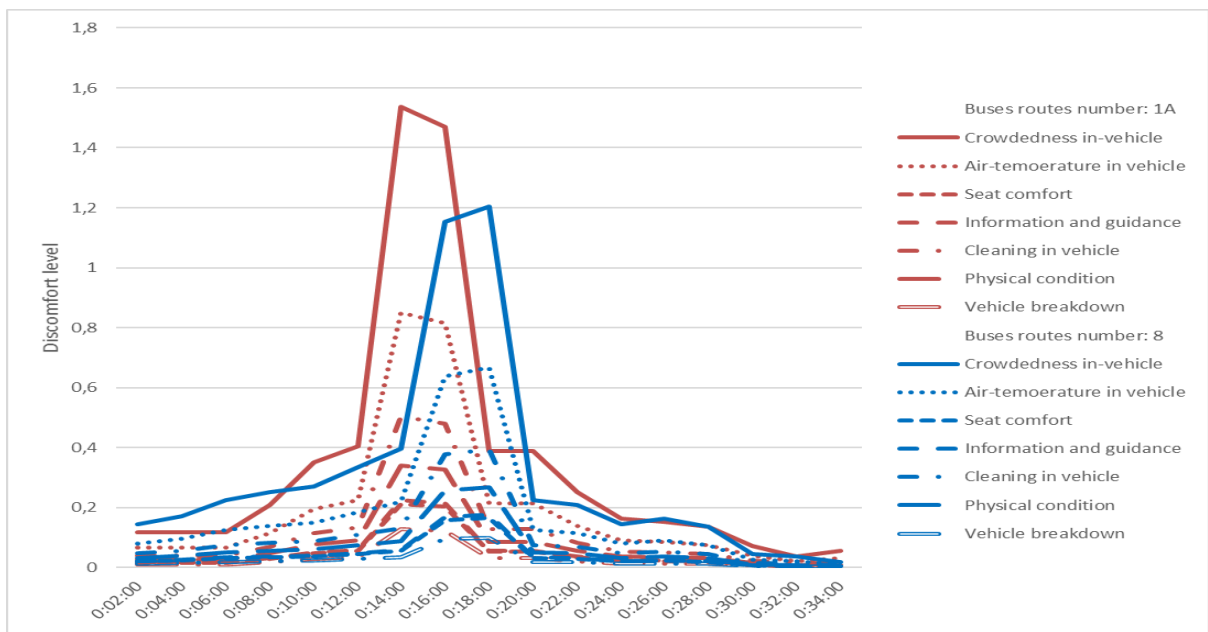
При реалізації (1), (2), на рис. 4 представлено графічне зображення загального рівня дискомфорту як функції щільності пасажирів в транспортному засобі в часі поїздки дослідженими маршрутами вказаного виду транспорту для прямої та зворотної поїздки.

Для подальшого оцінювання дискомфорту рекомендовано відомий methods for determining the importance weigh, функція набуватиме кусково-лінійної форми, рівень сумарного дискомфорту пасажирів що знаходяться в салоні транспортного засобу в процесі транспортування [11]

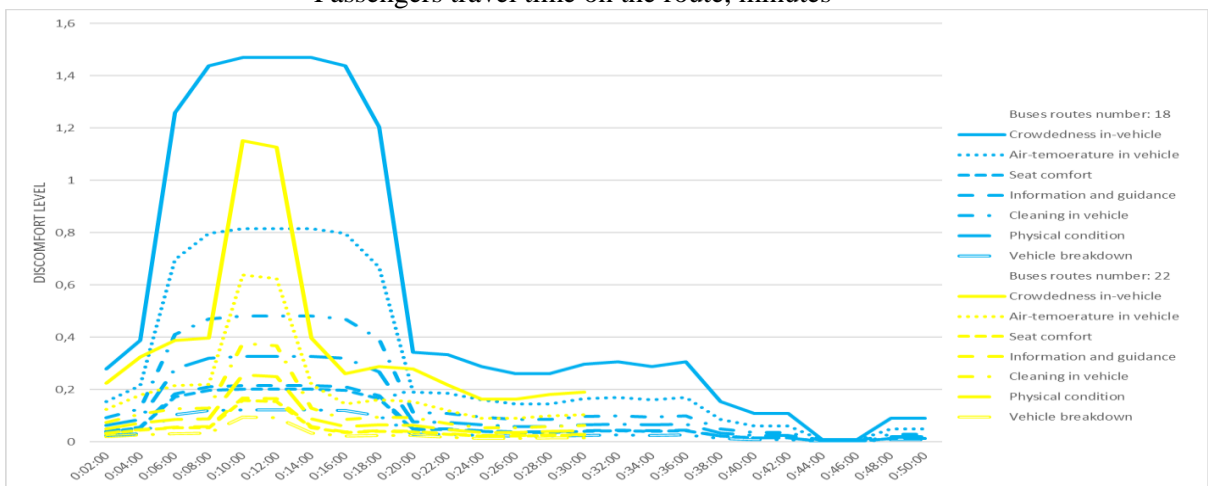
$$f(x_t) = \sum_i w_i \cdot x_{it} \quad (3)$$

де x_{it} - значення i -го визначника дискомфорту в t -й відлік часу, w_i - величина i -го вагового коефіцієнта, x_{it} обчислюється з (1).

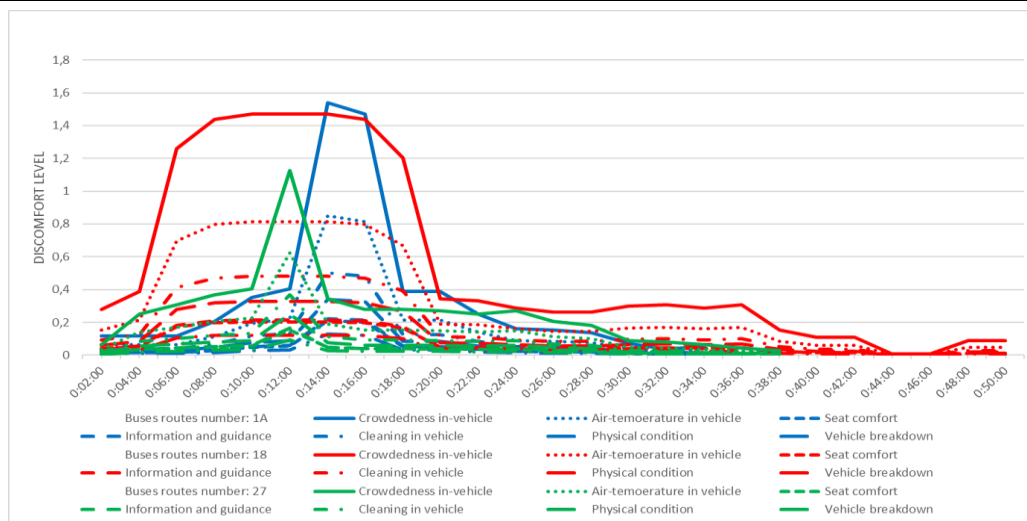
При формуванні вагових коефіцієнтів важливості автори статті вважають, що ваговий коефіцієнт для безпеки при перевезеннях в умовах пандемії COVID-19 не є прийнятним для оцінювання дискомфорту згідно (3) з тієї причини, що він є домінантою при прийнятті рішення пасажиром до початку поїздки “або – або”: їхати, чи не їхати даним транспортним засобом. За даними обліковців, якими проведено опитування у м. Тернополі, встановлено, що важливим при виборі пасажиром транспортного засобу, а також маршруту з можливих, є показник комфорту від сидіння, їхати стоячи у салоні опитані пасажирки бажали менше. З урахуванням даних опитування, а також даних досліджень Şükrü İmre and Dilay Çelebi для нас прийнято значення Seat comfort 0.0556, що, очевидно, корелює з Seat comfort 0.0615 для T1 та Seat comfort 0.0762 для M2 [11]. Отже, значення вагових коефіцієнтів важливості: crowdedness in-vehicle 0.4053; air-temperature in vehicle 0.2243; seat comfort 0.0556 information and guidance 0.0590 ; cleaning in vehicle 0.1324; physical condition 0.0899; vehicle breakdown 0.0335 [11]. Компонентний аналіз рівня дискомфорту відповідно маршрутів мережі громадського пасажирського транспорту [19, 20, 21,22] проведений для маршрутів на яких встановлене умовне порогове значення - одиниця - було перевищене (рис. 4): 1A, 8, 18, 22.



Passengers travel time on the route, minutes



Passengers travel time on the route, minutes



Passengers travel time on the route, minutes

Рисунок 5. Компонентний аналіз рівня дискомфорту за часом у поїздки маршрутом громадського пасажирського транспорту: а) прямі маршрути; б) зворотні маршрути

При реалізації (3), рис. 5, компонентним аналізом досліджено функції дискомфорту в часі поїздки дослідженими маршрутами вказаного виду транспорту для прямої та зворотної поїздки. Функції рівнів дискомфорту під час типових поїздки наведені на рисунках 4 та 5. Як видно з графіків, кількісні показники за величиною дискомфорту змінюються найбільше у залежності від crowdedness in-vehicle, air-temperature in vehicle та seat comfort корелюючи та не змінюючись за тривалістю поїздки пасажирів. Також при плануванні міських пасажирських перевезень після завершення пандемії доцільно врахувати факт, встановлений дослідженням [18]: in transport planning, travel time to work is traditionally considered as a waste that should be minimized - fast and efficient transport remains the ultimate goal of planners. While innovations like the hyperloop and driverless vehicles promise ever-increasing frictionless travel, more and more academic research has challenged this perspective and highlighted the intrinsic value of mobility [18]. Our survey provides further confirmation of the intrinsic value of mobility: 69% of respondents stated they miss at least some aspects of commuting. The main aspects missed by respondents include the activity of commuting itself (53%), the ability to spend some time alone (25%), and feeling independent (24%) [18]. Отже, попит на пасажирські перевезення громадським транспортом значних змін не матиме.

Hu Shixiong, the lead author of the study who works for the Hunan Provincial Centre for Diseases Control and Prevention, стверджує [2], що кадри з відеокamer, якими було обладнано всі автобуси, надали можливість проведення оцінки дослідниками шляху поширення вірусу при виконанні перевезень пасажирів в салоні автобуса при закритих вікнах. Було встановлено, що хворий пасажир (рис. 6, фігура червоного кольору) не мав ніякого спілкування з іншими протягом чотирьох годинної поїздки. В автобусі пасажиромісткістю 48 місць для сидіння були зачинені всі вікна і працювала закрита система обігріву [2].

How Covid-19 spread through a Hunan bus

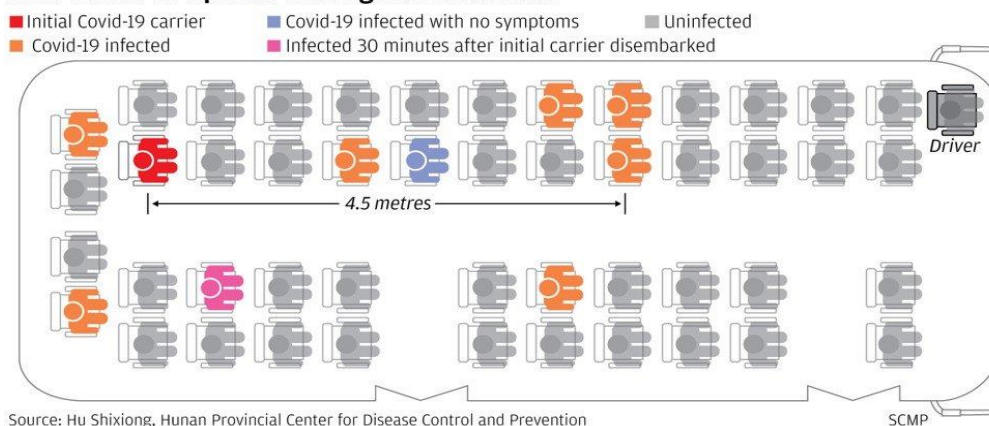


Рисунок 6. Схема поширення SARS-CoV2, [2]

Дослідженням [2] визначено, що до того моменту, коли автобус зупинився на наступній зупинці, вірусом було вражено сім інших пасажирів, характерною особливістю є, що зараженими були не тільки люди, що сиділи відносно близько до хворого, але й інші, що знаходилися на відстані від 0 до 4,5 метрів від нього, хоча загальновідомим і доведеним вважається, що передача COVID-19 у повітрі на такі відстані є обмеженою, оскільки крихітні крапельки вологи від подиху, які виробляються враженими людьми швидко опускаються вниз (рис. 4, фігури жовтого кольору) [2]. Переважна більшість пасажирів (сірий колір) не інфікувалися, навіть ті, які сиділи поруч з хворим. Приблизно через 30 хвилин у зворотному напрямку цим же автобусом їхали інші пасажирів один з яких, що сидів у першому ряду з протилежної сторони проходу був заражений. Стверджується [2], що можливою причиною було вдихання людиною без захисної маски аерозолі з повітря, надиханого зараженими пасажирів з попередньої поїздки, в повністю закритому просторі повітряний потік в основному рухається за рахунок теплого повітря від працюючого кондиціонера, таким чином рух гарячого повітря може транспортувати краплі вірусу на відстань до 4,5 метрів. Також вказаними дослідженнями встановлено [2], що перший заражений пасажир вийшовши з маршрутного автобуса, сів на інший автобус у якому здійснив наступну поїздку протягом однієї години у результаті чого COVID-19 2 вразив ще двох інших пасажирів, причому один з них також знаходився на відстані 4,5 метри від зараженого, на момент закінчення дослідження хворий заразив 13 пасажирів, доведено, пасажирів, які сидять безпосередньо біля перевізників SARS-CoV2, з невстановлених причин не були заражені, хоча, очевидно, вони зазнавали найбільшого впливу аерозолів з COVID-19. Дослідженнями доведено, ніхто з пасажирів, що носили маски, у двох автобусах, не був зараженим, SARS-CoV2 може перебувати у повітрі до 30 хвилин переміщуючись з повітрям до 4,5 метрів що є далі, ніж "безпечна відстань яку рекомендує ВООЗ – 1.8 метра" [2, 8].

ВИСНОВКИ

Потреба в мобільності населення міста є однією з базових потреб, яку необхідно задовольнити. В умовах пандемії, спричиненої COVID-19 виникають значні об'єктивні ускладнення з точки зору забезпечення максимально високого рівня безпеки пасажирів і водія при додержанні задовільного рівня комфорту. Результати проведених натурних досліджень з використанням моделі дискомфорту дозволяють коректно прогнозувати вибір виду транспорту і поведінку пасажирів при користуванні громадським транспортом, зокрема у містах середньої величини. Рациональним рішенням є адаптація технології перевезень до умов пандемії COVID-19 шляхом розробки динамічної політики швидкого реагування при транспортуванні людей конкретно для вказаної надзвичайної ситуації з зменшенням ризиків для пасажирів і водіїв, а не повне чи часткове, як у деяких країнах, закриття громадського транспорту. Враховуючи встановлені шляхом мультикритеріального аналізу транспортної мережі характерні для середніх міст показники перевезень людей у громадах - рівень дискомфорту, коефіцієнт пересадочності, коефіцієнт заповнення транспортного засобу, середній час перевезення, середню відстань перевезення, максимальне купіювання розповсюдження COVID-19 можна забезпечити формуванням адекватної до ситуації стратегії перевезення пасажирів. Необхідним є при пасажирських перевезеннях дотримуватись заповнення салону автобуса винятково відповідно до передбачених конструкцію транспортного засобу сидячих місць максимальної кількості пасажирів, як доведено дослідженнями, штучне недовантаження транспортного засобу для уникнення щільного контакту пасажирів не впливає рівень зараження COVID-19 і тому дане обмеження не є доцільним. Обов'язковим є використання таких засобів захисту як маски та рукавиці, посилені вентиляція салону, а також організація посадки – висадки пасажирів для максимального захисту водія тільки на задні двері з обов'язковою 100% безконтактною оплатою проїзду, що реально забезпечить високий рівень захисту пасажирів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. <https://nacto.org/program/covid19/>
2. South China Morning Post print edition as: <https://www.scmp.com/news/china/science/article/3074351/coronavirus-can-travel-twice-far-official-safe-distance-and-stay?fbclid=IwAR27JEyG3attieN4acGcevJLLtsmbYDY8Sz68HbzPHMV5MIWeHTCjDMqRpQ>
3. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій: https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212_planuvannya.pdf
4. <http://www.ukrstat.gov.ua/>
5. https://businessforsmartcities.com/load/118/presentation/7_sergiy_nadal_6_852c9.pdf

6. www.eway.in.ua
7. <http://bus.ck.ua/>
8. <https://www.who.int/ru/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public>
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. Qin, F. (2014). Investigating the In-Vehicle Crowding Cost Functions for Public Transit Modes. *Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering* , 1-13.
11. Şükür İmre and Dilay Çelebi. 2017. Measuring Comfort in Public Transport: A case study for Istanbul. *Transportation Research Procedia* 25 (2017), 2441–2449.
12. Popovych P, Lyashuk O, Shevchuk O, et al. Influence of organic operation environment on corrosion properties of metal structure materials of vehicles. *INMATEH – Agric Eng.* 2017;52(2):113–118.
13. Lytvynenko, I.V., Maruschak, P.O., Lupenko, Popovych P.V. Modeling of the Ordered Surface Topography of Statically Deformed Aluminum Alloy *Mater Sci* (2016) 52: 113.
14. Popovych, P., Shevchuk, O., Dzyura, V., Poberezhna, L., Dozorsky, V., Hrytsanchuk, A., 2018. Assessment of the Influence of Corrosive Aggressive Cargo Transportation on Vehicle Reliability. *International Journal of Engineering Research in Africa* 38, 17–25. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/jera.38.17>
15. B. Sokil, O. Lyashuk, M. Sokil, et al. "Dynamic Effect of Cushion Part of Wheeled Vehicles on Their Steerability", *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 15, no. 1, pp. 4880-4892, 2018. doi: 10.15282/ijame.15.1.2018.1.0380
16. Sekulić, D., Dedović, V., Rusov, S., Obradović, A., Šalinić, S.: Definition and determination of the bus oscillatory comfort zones. *Int. J. Ind. Ergon.* 53, 328–339 (2016)
17. https://www.citylab.com/transportation/2020/05/commute-car-traffic-transit-bike-remote-work-coronavirus/611365/?fbclid=IwAR3Ykbyf9yWC9jJhI-5tMk49jecimXa7zsOy1TgBUpBVUM1ZSxeHjNpMS_I
18. <https://urbanstudies.uva.nl/content/blog-series/covid-19-pandemic-working-from-home-and-commuting.html?cb>
19. 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.
20. Шевчук О.С. Вплив показників ефективності на безпеку руху вулично-дорожніми мережами/ О.С. Шевчук // Вісник ХНТУСГ. – Харків, 2016. – № 169. – С. 205– 209.
21. Попович П. В. Дослідження комфорту в громадському транспорті м. Тернополя / П. В. Попович, Л. Я. Побережний, І. С. Мурований, О. С. Шевчук, П. Б. Прогній, Я. Побережна Л., В. М. Плотиця // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. - 2020. - № 2. - С. 88-98. -
22. Маяк М. М. Особливості розвитку ринку вантажних і пасажирських перевезень / М. М. Маяк, П. Б. Прогній, А. Й. Матвіїшин, П. В. Попович, О. С. Шевчук, В. М. Островецьких, А. С. Коцур, О.В. Романишин // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. - 2020. - № 2. - С. 64-71. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ctmbt_2020_2_10

REFERENCES

1. <https://nacto.org/program/covid19/>
2. South China Morning Post print edition as: <https://www.scmp.com/news/china/science/article/3074351/coronavirus-can-travel-twice-far-official-safe-distance-and-stay?fbclid=IwAR27JEyG3attieN4acGcevJLLtsmbYDY8Sz68HbzPHMV5MIWeHTCjDMqRpQ>
3. ДБН Б.2.2-12:2019 Планування та забудова територій: https://dbn.co.ua/pay/pub01/dbn-B-2212_planuvannya.pdf
4. <http://www.ukrstat.gov.ua/>
5. https://businessforsmartcities.com/load/118/presentation/7_sergiy_nadal_6_852c9.pdf
6. www.eway.in.ua
7. <http://bus.ck.ua/>
8. <https://www.who.int/ru/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public>
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. Qin, F. (2014). Investigating the In-Vehicle Crowding Cost Functions for Public Transit Modes. Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering, 1-13.
11. Şükrü İmre and Dilay Çelebi. 2017. Measuring Comfort in Public Transport: A case study for Istanbul. Transportation Research Procedia 25 (2017), 2441–2449.
12. Popovych P, Lyashuk O, Shevchuk O, et al. Influence of organic operation environment on corrosion properties of metal structure materials of vehicles. INMATEH – Agric Eng. 2017;52(2):113–118.
13. Lytvynenko, I.V., Maruschak, P.O., Lupenko, Popovych P.V. Modeling of the Ordered Surface Topography of Statically Deformed Aluminum Alloy Mater Sci (2016) 52: 113.
14. Popovych, P., Shevchuk, O., Dzyura, V., Poberezhna, L., Dozorsky, V., Hrytsanchuk, A., 2018. Assessment of the Influence of Corrosive Aggressive Cargo Transportation on Vehicle Reliability. International Journal of Engineering Research in Africa 38, 17–25. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/jera.38.17>
15. B. Sokil, O. Lyashuk, M. Sokil, et al. "Dynamic Effect of Cushion Part of Wheeled Vehicles on Their Steerability", International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, vol. 15, no. 1, pp. 4880-4892, 2018. doi: 10.15282/ijame.15.1.2018.1.0380
16. Sekulić, D., Dedović, V., Rusov, S., Obradović, A., Šalinić, S.: Definition and determination of the bus oscillatory comfort zones. Int. J. Ind. Ergon. 53, 328–339 (2016)
17. https://www.citylab.com/transportation/2020/05/commute-car-traffic-transit-bike-remote-work-coronavirus/611365/?fbclid=IwAR3Ykbyf9yWC9jJhI-5tMk49jecimXa7zsOy1TgBUpBVUM1ZSXXeHjNpMS_I
18. <https://urbanstudies.uva.nl/content/blog-series/covid-19-pandemic-working-from-home-and-commuting.html?cb>
19. Shevchuk, O.S. (2016). Porushennya pry` oblashtuvanni parkoval`ny`x miscz` transportny`x zasobiv na vuly`chno-dorozhnij merezhi mista. Suchasni tehnologiyi v mashy`nobuduvanni ta transporti, 1, 167-171.
20. Shevchuk, O.S. (2016). Vplyv pokaznykiv efektyvnosti na bezpeku ruhu vulychno-dorozhnyh merezhamy. Visnyk HNTUSG, 169, 205–209.
21. Popovych P.V., Poberezhnyy L. YA., Murovanyy I.S., Shevchuk O.S., Prohnyy P.B. Poberezhna L.YA., & Plotytsya V.M. (2020) Doslidzhennya komfortu v hromads'komu transporti m. . Suchasni tehnologiyi v mashy`nobuduvanni ta transporti, 2, 88-98.
22. M. Mayak M.M., Prohnyy P.B., Matviyishyn A.Y., Popovych P.V., Shevchuk O.S., V.M. Ostroverkhov, Kotsur A.S. & Romanyshyn O.V. (2020) Osoblyvosti rozvytku rynku vantazhnykh i pasazhyr'kykh perevezen'. Suchasni tehnologiyi v mashy`nobuduvanni ta transporti, 2, 64-71.

P. Prohnyy, D. Popovych, O. Zakharchuk, O. Shevchuk, P. Popovych, I. Matvyeyeva, V. Ostroverkhov, A. Kotsur. Safety of passenger transportation in public transport inn a pandemic condition

In the conditions of the COVID-19 pandemic, there are significant objective problems in terms of safe transportation of the population by public transport. A dynamic policy of rapid response in the transportation of people to reduce the contamination risk of passengers and drivers is ensured by the fact that during transportation it is necessary to allow municipal authorities to transport people without burdensome restrictions on the number of passengers in the cabin, adhere to the level of cabin vehicle number seats of the maximum number of passengers. As it has been researched artificial underloading of a vehicle to avoid close contact with passengers does not affect the level of COVID-19 contamination, so this restriction is not rational, causing underloading and irrational significant financial losses of the carrier, resulting in likely dismissal of employees, respectively negative social effect. Recommendations have been made, such as the mandatory use of masks including gloves, increased ventilation of the cabin, as well as the organization of boarding – exit of passengers only through the rear door and 100% contactless fare payment for maximum driver protection. This study is the basis for the formation of public transport policy with regard to determine the level of safety in COVID-19 and passenger comfort with the development of basics for measuring the perception of the most important factors of public transport convenience, minimum discomfort and maximum safety.

Key words: organization of transportation, passenger safety, public transport, passenger traffic, route.

ПРОГНІЙ Павло Богданович, кандидат технічних наук, ст.викл. кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: PPopovuch@gmail.com

ПОПОВИЧ Данило Павлович, студент, гр.ММ-112, Тернопільський національний медичний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: PPopovich@ukr.net

ЗАХАРЧУК Олена Павлівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: olenaskyba8500@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-9452-9850>

ШЕВЧУК Оксана Степанівна, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: oksana_shevchuk84@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-8283-4620>

ПОПОВИЧ Павло Васильович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспорту і логістики, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: PPopovich@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-5516-852X>

МАТВЄЄВА Ірина Валеріївна, доктор технічних наук, професор, професор кафедри екології, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail: iryna.valeriivna.matvieieva@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-8636-0538>

ОСТРОВЕРХОВ Віктор Михайлович, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри менеджменту, публічного управління та персоналу, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: v.ostroverkhov@wunu.edu.ua. <http://orcid.org/0000-0002-3818-0604>

КОЦУР Андрій Семенович, кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри менеджменту, публічного управління та персоналу, Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, Україна, e-mail: a.kotsur@wunu.edu.ua. <http://orcid.org/0000-0001-6986-4665>

Pavlo PROHNII, Doctor of Philosophy, Senior Lecturer of Specialized Computer Systems department, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: PPopovuch@gmail.com

Danylo POPOVYCH, student, gr.MM-112, [I. Horbachevsky Ternopil National Medical University](http://www.ternu.edu.ua), Ternopil, Ukraine, e-mail: PPopovich@ukr.net

Olena ZAKHARCHUK, Doctor of Philosophy, Associate Professor of Transport and Logistics department, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: olenaskyba8500@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-9452-9850>

Oksana SHEVCHUK, Doctor of Philosophy, Associate Professor of Transport and Logistics department, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: oksana_shevchuk84@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-8283-4620>

Pavlo POPOVYCH, Doctor of Sciences, Professor, Professor of Transport and Logistics department, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: PPopovich@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-5516-852X>

Iryna MATVYEYEVA, Doctor of Sciences, Professor, Professor of Department of Ecology, [National aviation university](http://www.nau.edu.ua), Kiev, Ukraine, e-mail: iryna.valeriivna.matvieieva@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-8636-0538>

Viktor OSTROVERKHOV, Doctor of Philosophy, Associate Professor, Associate Professor of Department of Management, Public Administration and Personnel, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: v.ostroverkhov@wunu.edu.ua. <http://orcid.org/0000-0002-3818-0604>

Andriy KOTSUR, Doctor of Philosophy, Associate Professor, Associate Professor of Department of Management, Public Administration and Personnel, West Ukrainian National University, Ternopil, Ukraine, e-mail: a.kotsur@wunu.edu.ua. <http://orcid.org/0000-0001-6986-4665>

DOI 10.36910/automash.v1i16.514

Птиця Н.В., Ковцур К.Г.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків, Україна

ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРУ РОЗТАШУВАННЯ ВАНТАЖООДЕРЖУВАЧІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ СИСТЕМИ ДОСТАВКИ

Роздрібний ланцюг постачань під тиском високого рівня конкуренції на ринку змушує інших учасників процесу заострювати свою увагу на підвищенні ефективності операцій та визначенню параметрів процесу доставки. Особливістю доставки вантажів в роздрібну торгівельну мережу є територіальне розосередження торгових точок, що визначає розсіювання вантажопотоку у просторі та часі. Існуючі шляхи підвищення ефективності організації руху матеріального потоку є історично сформовані технологічні процеси у логістичному ланцюгу постачань: розробка схем завезення товарів у торгові точки, визначення раціональних розмірів партій і частоту поставок, формування раціональних маршрутів і графіків завезення товарів, визначення структури парку рухомого складу, та інші технологічні процеси, що дозволяють оптимізувати логістичні витрати. Існуючі підходи до визначення характеристик району перевезень та дислокації торгових точок доводять, що прийняті в досліджених роботах допущення про рівномірність розташування торгових точок в районі обслуговування прийняті для спрощення вирішення задач з раціоналізації перевезень. Проаналізовані підходи та залежності не відповідають реальним процесам, що призводить до значних відхилень реальних та модельних значень при визначенні умов роботи транспорту в ланцюгу постачань. Пропонується виявити та формалізувати закономірності розташування торгових точок в районі обслуговування, що дозволить з достатнім ступенем точності визначати умови роботи транспорту в ланцюгу постачань.

Ключові слова: система доставки, логістичні витрати, щільність торгових точок, витрати на транспортування, район обслуговування, формат торгової точки, роздрібна торгівельна мережа.

ВСТУП

На сьогодні особливістю взаємовідносин у роздрібному ланцюгу постачань є високий рівень конкуренції між роздрібними точками, що змушує інших учасників ринку заострювати увагу більше на ефективності операцій, ніж на підвищенні прибутку. За даними аналітиків з кожним роком спостерігається приріст обсягів перевезень вантажів всередині середніх та великих міст. При цьому значна частка загального товарообігу припадає саме на ці типи міст, де зосереджена роздрібна торгівельна мережа. Оскільки потік матеріальних ресурсів при русі до кінцевого споживача через комунікаційну мережу постійно збільшується у вартості, тому важливим є пошук раціональних технологічних рішень організації процесу доставки вантажів в роздрібну торгівельну мережу, що забезпечить максимальну ефективність їх функціонування.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Розподіл матеріальних ресурсів логістичним каналом обумовлює необхідність залучення додаткових учасників (дистриб'юторів, перевізників) до процесу доставки. Правильність вибору і економічна обґрунтованість залучення учасників є основними факторами, що визначають раціональність структури ланцюга постачань. Особливістю доставки вантажів в роздрібну торгівельну мережу є територіальне розосередження торгових точок, що визначає розсіювання вантажопотоку у просторі та часі [1, 2]. Основними тенденціями роботи з роздрібною торгівельною мережею за останні роки є зменшення розміру замовлення торговою точкою через зменшення складських приміщень, висока періодичність постачань, збільшення вимог до часу на виконання замовлення та організація доставки безпосередньо від виробника (дистриб'ютора) до роздрібною торговою точкою, минаючи оптові бази. Раціоналізація параметрів транспортного процесу розглядається і в багатьох роботах, як запорука ефективного функціонування підприємства за умови визначення кількості пунктів заїзду на маршрутах [1, 3].

Шляхами підвищення ефективності організації матеріального потоку є історично сформовані технологічні процеси на підприємствах-учасниках логістичного ланцюга постачань: розробляються схеми завезення товарів у торгові точки, визначаються раціональні розміри партій поставок і частота завозу, розробляються раціональні маршрути і графіки завезення товарів, визначається структура парку рухомого складу, та інші технологічні процеси, що дозволяють оптимізувати витрати на просування матеріального потоку. Вагомими критеріями для вибору способу доставки чи постачальника в роботі [3] виступають віддаленість постачальника від споживача, терміни

виконання поточних і екстрених замовлень, наявність резервних потужностей, організація управління якістю у постачальника.

Серед робіт останнього періоду виділяється робота [4], в якій відзначається, що необхідною умовою для вибору каналу розподілу, та оптимізації всього логістичного процесу на макрорівні, є наявність на ринку великої кількості посередників. Зокрема, оптимізація каналу розподілу, а потім і логістичного ланцюга, можлива при наявності на товарному ринку великої кількості підприємств, які здійснюють функцію опту. В роботі приймається рівномірне їх розподілення у регіоні з метою можливості швидкого обслуговування роздрібних точок.

В роботах [2-5] відзначається значний вплив таких показників, як віддаленість підприємства-виробника (або постачальника) і вантажоодержувачів, щільність дислокації торгових точок і розмір партії вантажу на критерій ефективності, а саме витрати на доставку вантажу, але представлені напрямки вдосконалення процесу доставки, що пропонуються в роботах, орієнтовані на конкретні торгові підприємства та потребують перегляду в кожному конкретному випадку. Це не дає змоги формалізувати вимоги до роботи учасників процесу доставки навіть в межах більш-менш великого регіону, а також визначити тенденції зміни характеристик умов перевезень.

У роботі [6] Міротін Л.Б. зауважує можливість використання графічного методу для вирішення задачі визначення кількості об'єктів логістичної системи, так як їх кількість прямопропорційно впливає на логістичні витрати системи. При оцінці впливу до уваги приймаються середні значення відстаней між об'єктами, що свідчить про рівномірність їх розташування у районі функціонування.

З позиції геологістичних систем важливими є гравітаційні моделі, які враховують не тільки відстань перевезень, а і вплив великих центрів тяжіння матеріалопотоків, що дає змогу спрогнозувати та оптимізувати матеріальні потоки. Цей розвиток дозволив Рейлі в роботі [7] створити модель торговельної гравітації, яка інтерпретується до сучасних торговельних мереж, полягає в тому, що торговельні точки більшого розміру притягують до себе більшу кількість покупців, готових долати значні відстані, що дає змогу рівномірного розташування таких об'єктів у регіоні. Аналогічно в роботі [8] при дослідженні транспортної і розподільчої геологістики на прикладі західного регіону України вказується на ентропійну міру концентрації у районі обслуговування логістичних стейкхолдерів транспортного процесу.

Останні дослідження по плануванню міст направлені на підвищення зручності для життя в них. Ще у роботі [9] стверджується, що головною метою містобудування було створення планування, яке характеризувалося наявністю рівновіддалених зон максимальної пішої доступності (мікрорайонів), в центрах яких повинні розташовуватися обслуговуючі район підприємства торгівлі, магазини, школи, лікарні та ін. У роботах дослідників район обслуговування, в якому знаходяться торгові точки, приймається у якості допущення у формі кола, а щільність дислокації торгових точок в районі перевезень рівномірна (рис. 1). Рівномірність розосередження та концентричність приймаються за базові принципи організації процесу доставки у мережевій роздрібній торгівлі [10, 11].

В роботі [12] при розгляді розміщення об'єктів логістичної системи на основі загальних приведених витрат представлено математичну модель оптимальної довжини ланцюга постачань, вагомими параметрами в якій є площа території обслуговування, кількість кінцевих споживачів, ціна одиниці вантажу та відносна зміщення постачальника від центру тяжіння території обслуговування.

Навіть законодавчо нормативи забезпеченості населення торговельними площами передбачають комплекс заходів з рівномірного та оптимального розміщення об'єктів роздрібно торгівлі по території регіонів з метою максимального їх наближення до кінцевих споживачів [13].

Отже вирішення задач зменшення витрат на доставку, в яких приймається рівномірне розташування торгових точок, притаманне тільки для торговельних точок великих форматів. Виходячи з базових положень маркетингу, торгові точки дрібних форматів у свідомості споживачів повинні відрізнятися якістю товарів і послуг, чого можливо досягти при утриманні кінцевої ціни на товари на мінімальному рівні, шляхом підвищення ефективності організації процесу доставки. Так, поодинокі торговельні об'єкти невеликого формату не витримують конкуренції з торговими точками великих форматів, і саме тому не рівномірно розташовані у районі обслуговування. Забезпечити такий торговій точці необхідний споживчий потік, обсяг обороту в конкурентному оточенні вкрай складно.

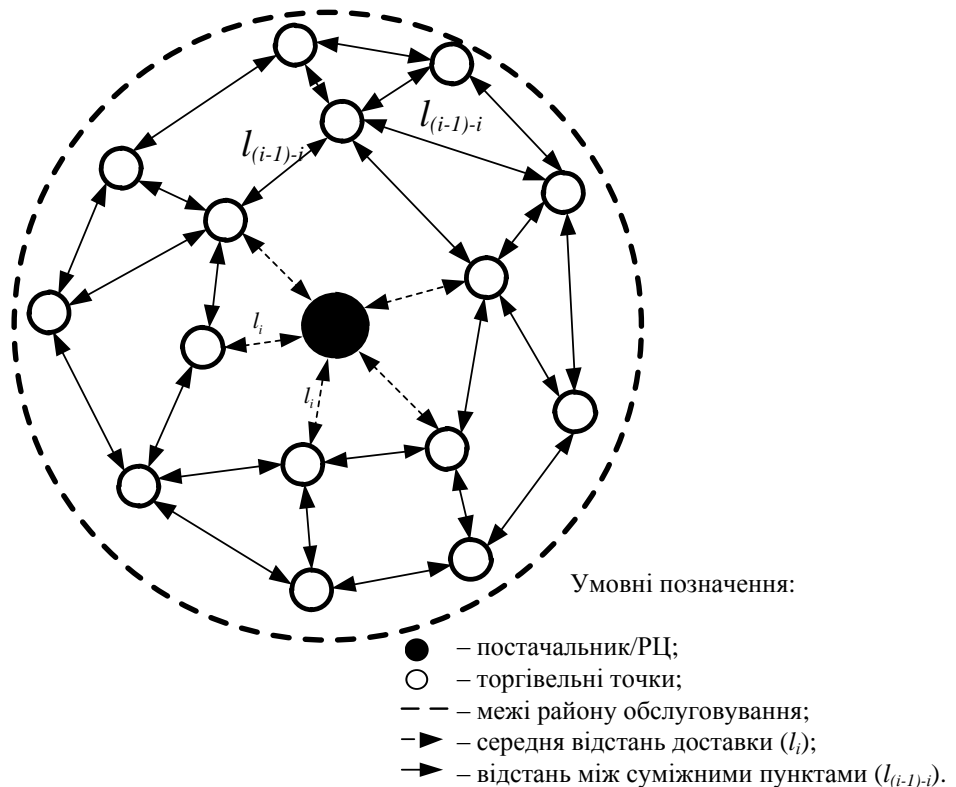


Рисунок 1 – Схема рівномірного розташування кінцевих споживачів у районі обслуговування

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Результати аналізу існуючих підходів до визначення характеристик району перевезень та дислокації торгових точок доводять, що прийняті в досліджених роботах допущення про рівномірність розташування торгових точок в районі обслуговування значно спрощують складність вирішення задач з раціоналізації перевезень, але, в той же час, не відповідають реальним процесам. Тому, метою даного дослідження є виявлення закономірності розташування торгових точок в районі обслуговування, що дозволило б з достатнім ступенем точності визначити умови роботи транспорту в ланцюгу постачань.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Основними параметрами, що характеризують умови перевезень і впливають на технологічні і економічні показники роботи транспорту при доставці товарів в роздрібну торговельну мережу міст є відстань доставки вантажів, розмір партії вантажу та пробіг автомобілю між суміжними пунктами заїзду на маршруті, який можна визначити через щільність дислокації пунктів завою на території району перевезень. Загальновідомо, що при розширенні роздрібно-торгівельної мережі, місце дислокації торгової точки обирається з огляду на максимальне наближення до споживачів. Згідно моделі виявлених переваг зосередження групи торгових точок дрібних форматів підвищує їх купівельну привабливість. Це справедливо для торговельних точок дрібних форматів, які зазвичай локалізуються поблизу один одного, утворюючи торговельні майданчики, що являють собою певні кластери. Ці кластери являють собою групи торгових точок, що об'єднані між собою за близькістю розташування один до одного та утворюють консолідуючий попит на товар у виробників або дистриб'юторів. Кожен такий кластер характеризується високою щільністю дислокації торгових точок, низькою щільністю населення в середині нього та розташуванням в переважній більшості поблизу пасажиропоглинаючих або пасажироутворюючих пунктів. Ще однією з характеристик такого кластеру є кількість партій вантажів, що надходить за певний проміжок часу, наприклад, за добу. У випадку, коли постачальник обслуговує кілька торговельних точок, відстань між суміжними пунктами заїзду ($l_{(i-1)-i}$) дорівнюватиме нулю (рис. 2).

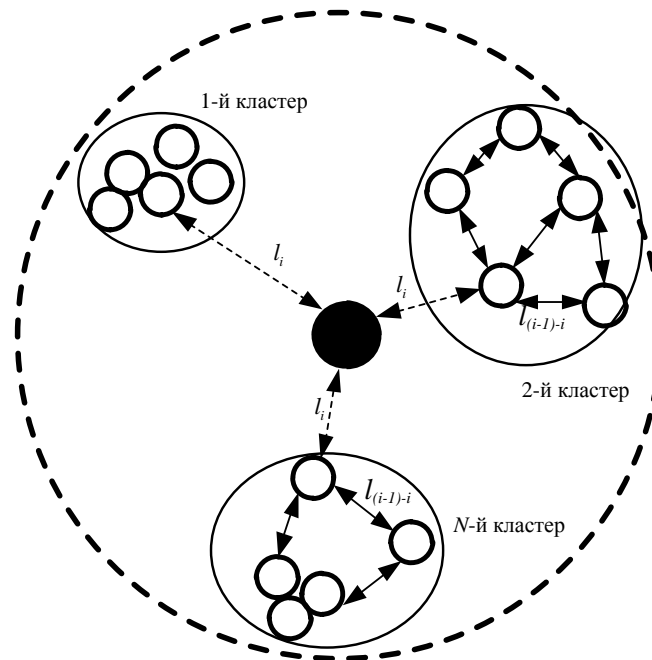


Рисунок 2 – Схема нерівномірного розташування кінцевих споживачів у районі обслуговування

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Висока щільність дислокації торгових точок кожного кластеру утворює і високий вхідний вантажопотік, що може призвести до незручностей з організації дорожнього руху (наприклад, затори через припарковані транспортні засоби, тощо) поблизу них через відсутність спеціалізованих майданчиків для автомобілів, що здійснюють доставку товарів. Саме тому визначення просторової структури торгових точок дасть змогу побудувати більш точну модель розподілу вантажопотоків в районах обслуговування. Дана модель може застосовуватись як перевізниками – для визначення параметрів роботи транспорту, так і органами місцевої влади – для планування стратегій розвитку вантажних міських перевезень. Збір даних про переміщення транспортних засобів з вантажем, час та місце їх розвантаження може бути визначено за допомогою геоінформаційних систем, однак таке вирішення питання є дорогавартісним і потребує злагодженої роботи усіх учасників процесу доставки.

Як відомо, параметри стейкхолдерів транспортного процесу, характеризуються саме взаємним розташуванням і обсягами вивезення та завезення вантажів і, таким чином, безпосередньо впливають на процес формування розвізних маршрутів. Збільшення кількості торговельних точок і обсягів завезень до них призводить до більшої кількості розвізних маршрутів або до підвищення номінальної вантажності транспортного засобу, що працює на маршруті. Але, якщо торгові точки, що обслуговують на одному маршруті, розташовуються поряд, то виникає необхідність корегування параметрів процесу.

Розширення асортиментного ряду продовольчих товарів на споживчому ринку призведе до збільшення кількості транспортних операцій для забезпечення системи доставки. Застосування існуючих інструментів для організації просування товарів на кінцевій ланці ланцюга постачань у таких умовах ставить під сумнів ефективність технологічних рішень.

ВИСНОВКИ

Результати проведеного аналізу літературних джерел з питань оптимізації системи доставки товарів на останньому етапі ланцюга постачань в роздрібну торговельну мережу представляють в своїй більшості район обслуговування як полігон з рівномірно розташованими торговими точками у ньому. Результати отриманих математичних моделей, що побудовані на даному допущенні, мають значні відхилення від реальних значень. Допущення про рівномірність розташування торгових точок є справедливим для торгових точок великих форматів. Так, торгові точки дрібних форматів утворюють певні майданчики-кластери, які характеризуються високою щільністю торгових точок та кількістю партій завезення в них. Оскільки транспортний процес є ключовим елементом ефективності функціонування ланцюга постачань в умовах жорсткої конкуренції на споживчому

ринку, то постає питання формалізації просторової структури торгових точок, що дасть змогу побудувати більш точну модель розподілу вантажопотоків в районах обслуговування.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Уотерс Д. Логистика. Управление цепью поставок: пер. с англ. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 503 с.
2. Сидоров Д. Розничные сети. Секреты эффективности и типичные ошибки при работе с ними / - М.: Вершина, 2007. – 230 с.
3. Нагорний Є.В. Комерційна робота на транспорті: підручник / Є.В. Нагорний, Н.Ю. Шраменко, Г.І. Нестеренко // Харків: ХНАДУ, 2012. 268 с.
4. Гаджинский А.М. Логистика: Учебник. – 11-е изд. перераб. и доп. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2005. – 432 с.
5. Воркут А.И. Транспортное обслуживание торгово-оптовых баз / А.И. Воркут, А.Г. Калинин, А.Г. Ковалик, А.С. Рудык // – К.: Техніка, 1985. – 112 с.
6. Транспортная логистика / Под ред. Л.Б. Миротина. – М.: Транспорт, 1996. – 211 с.
7. Reilly's Law of Retail Gravitation. URL: geography.about.com/cs/citiesurbangeo/a/aa041403a.htm (дата звернення: 10.06.2020).
8. Сеньків М.І. Транспортна і розподільча геологістика в західному регіоні України: Дис ... канд. техн. наук: 11.00.02. / ЛНУ ім. І. Франка: Львів, 2017. 210 с.
9. Ефремов И.С. Городской пассажирский транспорт и АСУ транспорта / И.С. Ефремов, Г.А. Гольц / под ред. В.М. Кобозева. – М.: Наука, 1988. – 480 с.
10. [Ковцур К.Г.](#) Резервування провізних можливостей парку автомобілів у логістичних ланцюгах постачань споживчих товарів: Дис ... канд. техн. наук: 05.22.01. / ХНАДУ: Харків, 2015. 256 с.
11. [Птиця Н.В.](#) Формування процесу доставки дрібнопартійних вантажів у логістичній системі роздрібною торгівельною мережею: Дис ... канд. техн. наук: 05.22.01. / ХНАДУ: Харків, 2020. 185 с.
12. Потаман Н.В. Выбор рационального количества складов в цепочке поставок продукции автомобильным транспортом в межрегиональном сообщении: Дис... канд. техн. наук: 05.22.01 – Транспортные системы / ХНАДУ. – Харьков, 2010. – 243 с.
13. Герасимчук З.В. Регіональні логістичні системи: теорія та практика: Монографія / З.В. Герасимчук, Л.Л. Ковальська, Н.В. Хвищун, О.Д. Мороз // – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2010. – 256 с.

PREFERENCES

1. Uoters D. (2003). Logistika. Upravleniye tsep'yu postavok: per. s angl, 503 p.
2. Sidorov D. (2007) Roznichnyye seti. Sekret'y effektivnosti i tipichnyye oshibki pri rabote s nimi, 230 p.
3. Nahornyy YE.V., Shramenko N.YU., Nesterenko H.I. (2012) Komertsiyna robota na transporti: pidruchnyk Kharkiv: KHNADU, 268 p.
4. Gadzhinskiy A.M. (2005) Logistika: Uchebnyk, 432 p.
5. Vorkut A.I., Kalinin A.G., Kovalik A.G., Rudyk A.S. (1985) Transportnoye obsluzhivaniye torgovo-optovykh baz. Tekhnika, 112 p.
6. Mirotin L.B (1996). Transportnaya logistika, 211.
7. Reilly's Law of Retail Gravitation. URL: geography.about.com/cs/citiesurbangeo/a/aa041403a.htm.
8. Sen'kiv M.I. (2017) Transportna i rozpodil'cha heolohistyka v zakhidnomu rehioni Ukrayiny: Candidate's thesis, 210.
9. Yefremov I.S., Gol'ts G.A. (1988) Gorodskoy passazhirskiy transport i ASU transporta. pod red. V.M. Kobozeva. Nauka, 480 p.
10. Kovtsur K.G. (2015). Rezervuvannya proviznykh mozhlyvostey parku avtomobiliv u lohistrychnykh lantsyuhakh postachan' spozhyvchykh tovariv: Candidate's thesis, 256.
11. Ptitsa N.V. (2013). Formuvannya protsesu dostavky dribnoprtynykh vantazhiv u lohistrychniy systemi rozdrubnoyi torhivel'noyi merezhi: Candidate's thesis, 185.
12. Potaman N.V. (2010). Vyibor ratsionalnogo kolichestva skladov v tsepoche postavok produktsii avtomobilnyim transportom v mezhregionalnom soobschenii: Candidate's thesis, 243.
13. Herasymchuk Z.V., Koval's'ka L.L., Khvyshchun N.V., Moroz O.D. (2010) Rehional'ni lohistrychni systemy: teoriya ta praktyka. Monohrafiya Luts'k: RVV LNTU. 256 p.

Ptytsia N.V., Kovtsur E.G. On the question of determining the nature of the location of consignees in the study of the delivery system

The retail supply chain, under pressure from high levels of competition in the marketplace, is forcing other participants in the process to turn their attention to improving the efficiency of operations and defining the parameters of the delivery process. A feature of the delivery of goods to the retail trade network is the territorial dispersion of retail points, which determines the dispersion of freight traffic in space and time. The existing ways to improve the efficiency of organizing the movement of material flow are historically established technological processes in the logistics supply chain: development of schemes for the delivery of goods to retail points, determination of rational batch sizes and frequency of deliveries, formation of rational routes and schedules for the delivery of goods, determination of the structure of the rolling stock fleet and other technological processes that allow to optimize logistics costs.

Solutions to the problems of reducing delivery costs, in which a uniform arrangement of points is accepted, which is inherent only for large format retail outlet spots. Small-format retail outlet spots cannot compete with large-format retail outlet spots, therefore, they are not evenly located in the service area. Existing approaches to determining the characteristics of the transportation area and the location of outlets show that the assumption of the uniformity of the location of points in the service area is adopted in order to simplify the solution of problems to rationalize transportation. The analyzed approaches and dependencies do not correspond to real processes, leading to significant deviations of real and model values when determining the operating conditions of transport in the supply chain. It is proposed to identify and formalize the patterns of the location of points in the service area, which will allow with a sufficient degree of accuracy to determine the operating conditions of transport in the supply chain.

Key words: delivery system, logistics costs, density of retail outlet spots, transportation costs, service area, format of retail outlet spots, retail.

ПТИЦЯ Наталія Василівна, кандидат технічних наук, асистент кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: nataliya.ptitsa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4559-7651>

КОВЦУР Катерина Григорівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: kovtsyr@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-0445-5438>

PTYTSIA Natalia Vasylyivna, Ph. D. of Engineering, assistant of Transport Systems and Logistics Department, Kharkiv National Automobile and Highway University, e-mail: nataliya.ptitsa@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4559-7651>

KOVTSUR Kateryna Grigorivna, Ph. D. of Engineering, Associate Professor of Transport Systems and Logistics Department, Kharkiv National Automobile and Highway University, e-mail: kovtsyr@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-0445-5438>

DOI 10.36910/automash.v1i16.515

ДИСКРЕТНЕ (ПІКСЕЛЬНЕ) ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ МІСТА ДЛЯ ТОПОЛОГІЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ЇЇ ГЕОМЕТРИЧНИХ СКЛАДОВИХ

Робота присвячена розробці способів дискретного (піксельного) представлення транспортної мережі міста для топологічної ідентифікації та фрактальної оцінки її структурних складових.

Розвиток транспортної мережі міст іде, як правило, шляхом ускладнення топологічної структури маршрутів пересування та взаємовідносин між геометричними характеристиками їх окремих елементів. Такі тенденції свідчать про необхідність розробки ефективних математичних методів моделювання нових та оптимізації вже існуючих мереж, в основі якої лежатимуть алгоритми аналізу та кількісної оцінки якості функціонування транспортної системи міста.

Властивості міської транспортної мережі істотним чином залежать від складності її геометрії та топологічної структури. Аналіз літературних джерел показав, що транспортну мережу міста, з топологічних позицій, можна розглядати як сукупність великого числа розподілених точок або областей (зупинкових вузлів чи обмежених територій), які взаємодіють між собою через транспортні канали, тобто маршрути. При цьому, топологія складної транспортної мережі є випадковим фракталом, оскільки її мала частина подібна цілої. Розмірність цієї множини точок, областей і ліній має дробову розмірність. Розрахувавши розмірність мережі, можна кількісно виразити її системні властивості і знайти загальні закономірності удосконалення існуючих та побудови нових транспортних потоків.

При визначенні фрактальної розмірності зображення клітковим методом геометрична структура мережі, на кожному кроці ітерації, покривається клітинами певних розмірів. Відтак, пропонується, відразу, представляти зображення у дискретному вигляді на решітці з клітинами мінімального розміру (може бути розмір пікселя), ідентифікувати фрагменти заданої структури, а у подальшому розраховувати потрібні геометричні параметри та проводити їх аналіз. При цьому, необхідно класифікувати окремі об'єкти та фрагменти, а також виявити геометричні критерії, за якими визначатиметься ступінь фрактальності як фрагментів, так і структури в цілому.

Для ідентифікації зображень запропоновано топологічну класифікацію дискретних моделей геометричних об'єктів та комбінованих множин на площині. Визначено основні характеристики зв'язності окремих клітин дискретних бінарних моделей множин довільної розмірності. Запропонована структура практичної ідентифікації комбінацій геометричних об'єктів, які зустрічаються на зображеннях міських маршрутних схем.

Подальші дослідження із даної тематики проводяться у напрямі виокремлення та обчислення геометричних характеристик об'єктів для запропонованих дискретних кліткових моделей.

Ключові слова: транспортна мережа міста, дискретне представлення, топологічна ідентифікація, фрактальний аналіз, комбіновані множини, кліткова модель.

ВСТУП

Сучасні транспортні мережі міст є великими системами із складною розгалуженою топологічною структурою і значною кількістю підсистем (наприклад, маршрутів), елементів (наприклад, зупинок) і зв'язків [8]. Топологія міських транспортних мереж обумовлює їх ключові системні властивості: доступність, надійність, пропускну здатність, економічність і т. і. [4].

Подальший розвиток транспортної мережі міст іде, як правило, шляхом ще більшого ускладнення топологічної структури маршрутів пересування та взаємовідносин між геометричними характеристиками їх окремих елементів [7]. Такі тенденції свідчать про необхідність розробки ефективних математичних методів моделювання нових та оптимізації вже існуючих мереж, в основі якої лежатимуть алгоритми аналізу та кількісної оцінки якості функціонування транспортної системи міста.

Властивості міської транспортної мережі істотним чином залежать від складності її геометрії та топологічної структури. При цьому, однією із фундаментальних характеристик геометричної складності мережі є її топологічна розмірність. Розрахувавши розмірність топології мережі, можна кількісно виразити її системні властивості і знайти загальні закономірності удосконалення існуючих та побудови нових транспортних потоків.

Розмірність топології складних транспортних систем і мереж не можна обчислити, використовуючи звичайну (Евклідову) розмірність, що має тільки цілочислові значення. На практиці такі складні мережі представляють собою «павутину» із «класичних» та фрактальних (квазіфрактальних) геометричних об'єктів, що характеризуються певними зовнішніми обмеженнями

геометричних властивостей фрагментів та можливостями їх росту. Ця обставина дозволяє використати метод визначення розмірності топології таких транспортних мереж, що базуються на властивостях, притаманних фракталам.

З топологічних позицій, транспортну мережу міста можна розглядати як сукупність великого числа розподілених точок або областей (зупинкових вузлів чи обмежених територій), які взаємодіють між собою через транспортні канали, тобто маршрути [6], [14]. При цьому топологія складної транспортної мережі є випадковим фракталом, оскільки її мала частина подібна цілої. Розмірність цієї множини точок, областей і ліній має дробову, або фрактальну розмірність.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

При проведенні фрактального аналізу зображення будь-яких «природних» чи штучно створених об'єктів із нечіткою, нерегулярною, зламанною геометричною формою, у тому числі схем транспортної мережі міст, слід враховувати той факт, що різні фрагменти цього зображення можуть мати різні величини розмірності [5]. На величину дробової розмірності суттєво впливає наявність різних множин фрагментів із фрактальною та нефрактальною структурою.

Методів для підрахунку фрактальної розмірності геометричних форм на зображеннях існує безліч [3], [9]. Але на практиці, як правило, не важливою є точність визначення фрактальної розмірності заданого зображення мережі або її окремих фрагментів. Важливими є стандарт процедури обчислення та тренд, закономірність зміни величини розмірності в залежності від покращення або погіршення певних визначальних характеристик структури.

Відомо достатньо багато наукових джерел у вітчизняних та зарубіжних виданнях, присвячених фрактальному аналізу і синтезу зображень різного роду природних і штучних об'єктів [3]. Ці роботи стосуються різних методів підрахунку фрактальної розмірності, дослідженням впливу величини розмірності на параметри і визначальні характеристики заданих об'єктів, у ряді публікацій обговорюються проблеми оптимізації модельованих систем на основі фрактального аналізу [10], [11], [12], [13].

Серед вищезгаданих наукових праць варто відмітити роботи [3], [13], у яких фрактальна розмірність заданих топологічних структур оцінюється за допомогою простого, однак ефективного для практичних задач, box-counting методу. У ньому розрахунок розмірності базується на основі, так

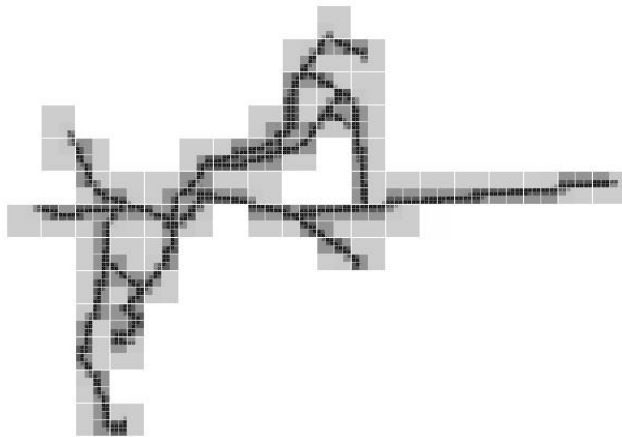


Рисунок 1

званого, кліткового підходу до визначення розмірності Хаусдорфа для об'єктів довільної геометричної форми або їх комплексів. Суть методу полягає у наступному. Зображення об'єкту покривається сіткою із розміром клітини δ (рис. 1). Підраховується число клітин $N(\delta)$, що повністю покривають досліджуваний об'єкт клітинами заданого розміру. А розмірність Хаусдорфа знаходиться за допомогою співвідношення:

$$D = -\lim_{\delta \rightarrow \infty} \frac{\ln N(\delta)}{\ln(\delta)}. \quad (1)$$

Основною відмінністю фрактальних об'єктів від традиційних, «класичних» геометричних образів, є відсутність цілочислової розмірності, тому одним із основних способів ідентифікації фрактальних структур є порівняння їх розмірності із топологічною розмірністю, яку часто називають індуктивною.

Оскільки достатньо важливим завданням як геометрії, так і практики розв'язання різних технічних задач (у тому числі, удосконалення складних транспортних мереж) є ефективна ідентифікація геометричних образів або їх сукупностей для розпізнавання та коректного фрактального аналізу зображень фрагментів, необхідно виробити стандартизований підхід до їх представлення.

При визначенні фрактальної розмірності образу клітковим методом геометрична структура, на кожному кроці ітерації, покривається клітинами певних розмірів (рис. 1). Відтак, пропонується, відразу представляти зображення у дискретному вигляді на решітці з клітинами певного мінімального розміру (може бути розмір пікселя), ідентифікувати фрагменти заданої структури, а у

подальшому розраховувати потрібні геометричні параметри та проводити їх аналіз. Для цього, перш за все, необхідно класифікувати окремі об'єкти та фрагменти, а також виявити геометричні критерії, за якими визначатиметься ступінь фрактальності як фрагментів, так і структури в цілому.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даної роботи є – розробка способів дискретного (піксельного) представлення транспортної мережі міста для топологічної ідентифікації та фрактального аналізу її структурних складових.

Для досягнення поставленої мети слід вирішити наступні задачі:

1. Проаналізувати можливість представлення транспортної мережі міста як дискретну сукупність геометричних об'єктів та фрактальних множин.

2. Розробити методикку дискретного (піксельного) представлення міської транспортної мережі для оцінки складності її структури.

3. Розробити способи кількісного вираження системних топологічних властивостей мережі або окремих її фрагментів для удосконалення існуючих та побудови нових транспортних потоків у місті.

4. Розробити топологічну класифікацію дискретних моделей геометричних об'єктів та комбінованих фрактальних множин на площині для ідентифікації зображень міських маршрутних схем.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз дискретних растрових моделей зображень міських транспортних мереж (рис. 2) із лініями та областями фрактального і нефрактального типу полягає у вивченні потрібних геометричних характеристик або зображення в цілому, або його окремих фрагментів.

Всі «класичні» (нефрактальні) геометричні образи мають таку властивість, що будь-який n -вимірний об'єкт має $(n-1)$ -вимірну границю. Наприклад: 3-вимірний об'єкт має 2-вимірні границі (куб - квадрати), 2-вимірний – 1- вимірні границі (квадрат - відрізки прямої), 1-вимірний – 0-вимірні границі (відрізок - точки). У роботах [10], [12] були розглянуті множини об'єктів (точок) із розмірністю 0. Про такі об'єкти можна сказати, що границя у них відсутня, або такі об'єкти обмежені пустою множиною із розмірністю (-1).

Користуючись поняттям границя, можна за індукцією побудувати всю множину топологічних розмірностей геометричних об'єктів у просторах довільного числа вимірів.

Якщо розглядати дискретні моделі об'єктів фрактального типу, наприклад, лінії, області та їх комбіновані множини на зображеннях (що часто зустрічається при розв'язанні практичних задач), то можна висловити гіпотезу, що такі фрактальні образи є хаотичними, геометрично нерегулярними і при скейлінгу будь-якого масштабу не вироджуються у прями лінії чи гладкі криві. При цьому, для них не існує такого поняття як диференційованість функції або поняття єдиної дотичної у довільних точках замкнутої чи незамкнутої фрактальної лінії. Вимірюючи довжину дискретної моделі фрактальної лінії різномасштабними лінійками, ми весь час будемо отримувати зростаючу довжину об'єкту. Так як і для дискретних моделей «класичних» геометричних образів, для об'єктів фрактального або квазіфрактального типу важливим фактором ідентифікації є поняття границі. Відповідно до цього ми пропонуємо наступну класифікацію всієї множини дискретних геометричних об'єктів стосовно аналізу транспортних мереж, маршрутів та систем міста (рис. 3).



Рисунок 2

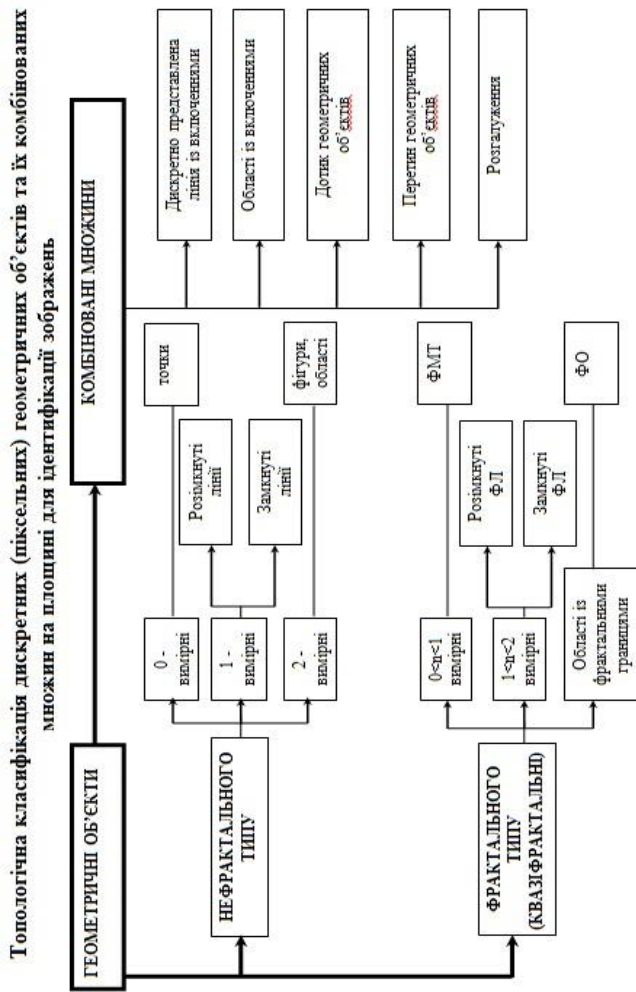


Рисунок 3

виділити потрібні об'єкти на зображенні і є основою для аналізу і розпізнавання геометричної форми виділених об'єктів [1].

Процес перетворення кольорових або півтонових зображень у бінарні - називається бінаризацією [2] (рис. 4). Результатом перетворень, зокрема, являється визначення таких властивостей точок зображення, які дають однозначну інформацію, чи належать точки тому або іншому об'єкту, чи їх слід відносити до фону.

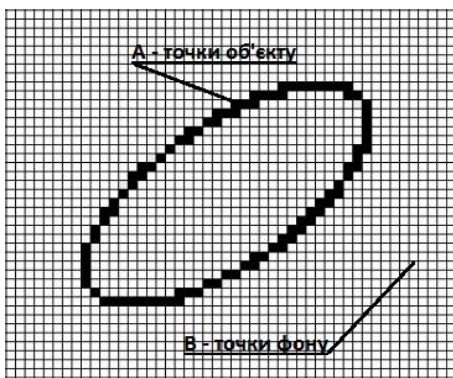


Рисунок 4

На основі перевірки виконання цих властивостей для усіх точок зображення і створюється дискретне двокольорове растрове зображення, у якому чорні точки відповідають об'єкту, а білі - фону.

Звісно, що дискретне зображення, представлене у вигляді матриці точок, є надзвичайно зручним для вводу та обробки його на комп'ютері. Однак, описати будь-яку «класичну» фігуру, наприклад, круг, овал або багатокутник, в термінах матриці точок представляється набагато важчим завданням, а ніж описання тих же фігур класичними математичними методами.

При достатньо малому кроці дискретизації людське око не сприймає точки як окремі елементи зображення, а об'єднує їх у неперервні фігури. Проте комп'ютер сприймає зображення саме як матрицю точок, незалежно від роздільної здатності відеокамер і відповідних сканерів.

Ще складнішими будуть виглядати алгоритми бінаризації об'єктів фрактального або квазіфрактального типу із-за достатньо нерегулярної, різної структури їх геометричної форми і

Як відмічалось нами вище, для того, щоб у практичних задачах можна було оцінити всі визначальні геометричні характеристики об'єктів на зображенні, необхідно привести його до певного стандарту. Таким стандартом вважатимемо бінарне представлення заданого зображення.

Бінарне зображення - це двокольорова картинка, на якій представлені один, декілька, або певна множина геометричних об'єктів одного кольору на фоні, що має інший колір. Такі зображення представляються у комп'ютері у вигляді матриці точок, кожна із яких може мати лише одне із двох значень кольору, що умовно визначаються через 0 або 1. Точки можна також називати пікселями (pixel - pictures element) (рис. 1).

Для розв'язання наших задач, будемо вважатимемо бінарне зображення завжди «чорно-білим»: точки об'єктів є чорними (значення кольору дорівнює 1), а точки фону - білими (значення кольору рівне 0). Таке представлення відповідає звичному способу малювання чорним чорнилом на білому папері.

Бінарні зображення вимагають мінімальних розмірів пам'яті для зберігання ПК (досить одного біта на один піксель) і дозволяють мінімізувати витрату інших обчислювальних ресурсів для вирішення завдань обробки та аналізу.

У сучасних системах комп'ютерної ідентифікації бінарні зображення відіграють достатньо важливу роль. Вони дозволяють

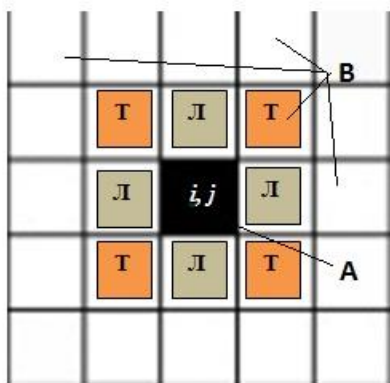
особливостей знаходження порогу сегментації піксельного двокольорового представлення. Тому побудова якісних моделей дискретного представлення як «класичних», так і фрактальних об'єктів вкрай важлива для розв'язання цілої низки практичних задач.

Моделлю дискретного зображення у вигляді матриці двокольорових точок можуть служити квадратні решітки (рис. 4), які утворюються із точок перетину двох взаємно перпендикулярних сімейств паралельних прямих із відстанню між ними, рівною масштабній одиниці (*unit*). А у якості одиниці може вибиратися величина, рівна, наприклад, розміру пікселя на бінарному зображенні. Растровою решіткою, при цьому, будемо називати квадратну сітку із цілочисловими координатами.

Якщо у неперервному представленні немає особливих проблем із зв'язністю множин точок, що представляють певні геометричні образи, то у дискретних моделях тих же образів на растрових решітках питання зв'язності потребує додаткових визначень.

З цією метою, для точок геометричних образів різної розмірності на растрових решітках, вводиться поняття структури сусідства. Структура сусідства є бінарним відношенням між точками окремих об'єктів на решітці, тобто чорними та білими клітинами.

Нехай задано A і B - дві множини: дискретні елементи об'єкту і фону. Кожен елемент (піксель) i,j зображення має вісім сусідів, які визначаються відповідно до схеми (рис. 5).



Рисунк 5

Безліч усіх сусідів (T і L) елементу i,j будемо називати 8-сусідами. Сусіди зі спільними лініями (L) – називаються прямими сусідами, або 4-сусідами. Сусіди зі спільними точками (T) - це непрямі сусіди. У загальному випадку під поняттям сусідства будемо розуміти об'єднання всіх восьми сусідів.

Одним із найважливіших параметрів на бінарному зображенні є відстань між пікселями. Відстань між двома пікселями - це довжина найкоротшого відрізка, що їх сполучає. У растрових решітках дві точки називаються безпосередніми сусідами (чи просто сусідами), якщо відстань між ними дорівнює $1(\text{unit})$. Дві точки називаються непрямими сусідами, якщо відстань між ними рівна $\sqrt{2}(\text{unit})$. Найбільш популярними

структурами сусідства точок на растрових решітках - є 4-суміжність і 8-суміжність. 4-суміжністю будемо називати структуру сусідства, при якій сусідніми точками вважаються тільки безпосередні сусіди (L). 8-суміжністю (чи слабкою суміжністю) буде називатися структура сусідства, при якій сусідніми точками вважаються як безпосередні, так і непрямі сусіди (L і T).

Із структурою сусідства тісно пов'язане поняття зв'язності. Множина точок у растрових решітках буде називатися зв'язною, якщо кожна із точок множини має хоча б один із варіантів сусідства. Дві множини точок називаються розділеними, якщо їх об'єднання не є зв'язним.

На основі зв'язності окремих елементів моделі об'єкту, наведемо визначення дискретної фігури на бінарному зображенні. Дискретною фігурою називається «максимально зв'язна» множина чорних точок на растровій решітці. Термін «максимально зв'язна» буде означати, що дискретна фігура не міститься ні в якій іншій зв'язній множині чорних точок, що не співпадає із цією фігурою. Таких «максимально зв'язних» множин на бінарному зображенні може бути декілька. Цим і будемо ідентифікувати наявність різної кількості геометричних фігур на заданому зображенні.

Слід зазначити, що склад і кількість дискретних фігур для одного і того ж бінарного зображення може різнитися залежно від того, яка структура сусідства задана на растровій решітці. При цьому, як зазначалося вище, важливим фактором визначеності моделі є поняття границі і для нефрактальних об'єктів, і для об'єктів фрактального типу.

Для представлення границь клітинної (піксельної) моделі дискретно представлені фігури необхідно визначити поняття граничної точки та граничної лінії на растрових решітках. Ці поняття сформулюємо також через структуру сусідства пікселів.

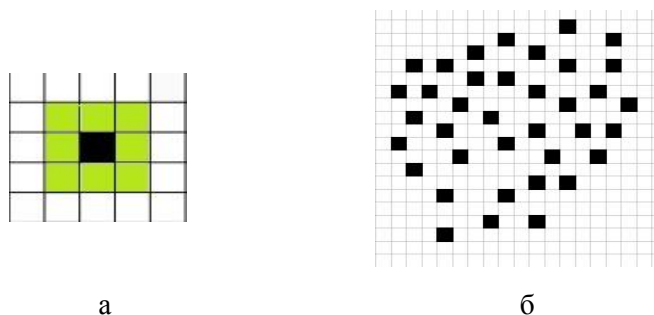


Рисунок 6

Точка (піксель), елемент дискретної фігури називається граничною, якщо вона має сусідню (білу) точку, що не належить фігурі.

Назвемо 0-вимірним дискретним об'єктом точку, що на бінарному зображенні відображається одним чорним пікселем і має на решітці 8 білих сусідів (рис. 6а). Відповідно, фрактальна множина точок - це незліченна множина окремих чорних пікселів, кожен із яких обов'язково має 8 білих сусідів растрової решітки (рис. 6б).

Під дискретно представленою лінією на растровій решітці будемо розуміти зв'язну множину точок шириною у одну клітину (піксель). При цьому ширина визначається стосовно структури сусідства. Це означає, що для кожної дискретно представленої точки (пікселя) лінії серед усіх 8 сусідніх точок мають бути, як мінімум, ще одна, а як максимум чотири чорні точки (за 8-зв'язністю) цієї лінії. У випадку наявності одного (безпосереднього (*L*) чи непрямого (*T*)) сусідства, або ж двох (із яких обов'язковими є обидва типи) чорних сусідів - точка моделі лінії є кінцевою (граничною) (рис. 7б,в). У випадку, коли клітина (піксель) має від 2 до 4 чорних сусідів - вона є внутрішньою точкою дискретно представленої незамкнутої лінії (рис. 7в). Такий тип зв'язності, де враховуються і безпосередні, і непрямі сусіди можна назвати **змішаним** або **комбінованим** типом зв'язності.

У замкнутої лінії на растрових решітках не існує кінцевих точок, тому у її дискретній клітковій (піксельній) моделі кожна точка повинна мати від 2 до 4 чорних сусідів (рис. 4). Приклади зображення ліній на растрових решітках представлені на рис. 7 а,б,в.

Запропоновані визначення у багатьох випадках дозволяють легко виділити на зображенні граничні точки (чорні пікселі) і об'єднати їх у лінію. Це надає можливість алгоритмічного визначення границь одновимірного образу на зображенні. Запропонована модель із комбінованою зв'язністю і шириною 1 клітина (рис. 7в) для 1-вимірного криволінійного об'єкту дозволяє (на відміну від інших моделей представлення - (рис. 7а та 7 б)) значно точніше ідентифікувати геометричні характеристики заданих образів для їх морфологічного аналізу (округлість, кривину і т.і.) та визначення порогу сегментації.

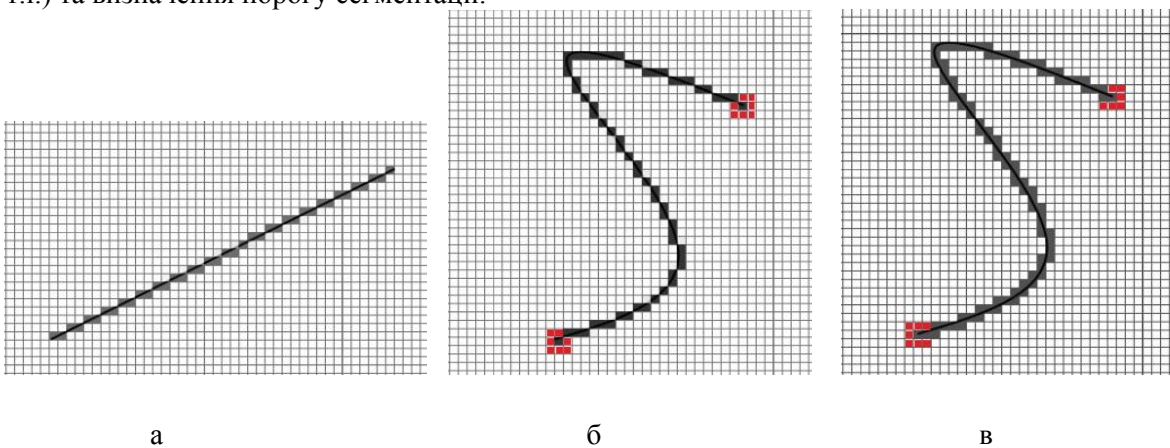


Рисунок 7

Якщо ж на дискретній клітковій моделі фрагменту зображення або її матричному представленні існує хоча б одна чорна клітина із чорними сусідами у кількості від 5 до 7 за 8-зв'язністю (рис. 8), то, в залежності від геометричних характеристик фрагменту, можна ідентифікувати об'єкт або сукупність об'єктів як 1-вимірний образ із потовщенням, або перетин, дотик декількох одновимірних образів загального положення (рис. 8).

Дискретні елементи (рис. 8) 1- є безпосередніми сусідами, елементи 2 - непрямі сусіди. Тобто, можна дискретну модель даного зображення ідентифікувати як перетин двох 1-вимірних образів.

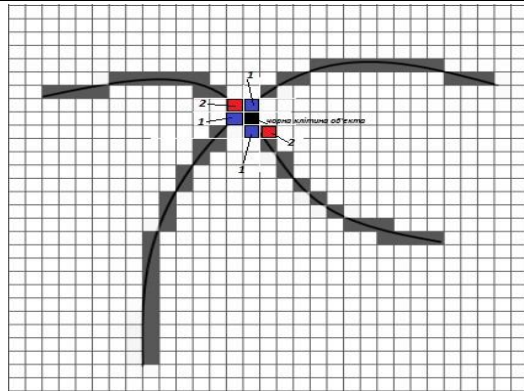


Рисунок 8

Ці об'єкти або їх сукупності можуть бути як нефрактального, так і фрактального типу, а також замкнутими або розімкнутими.

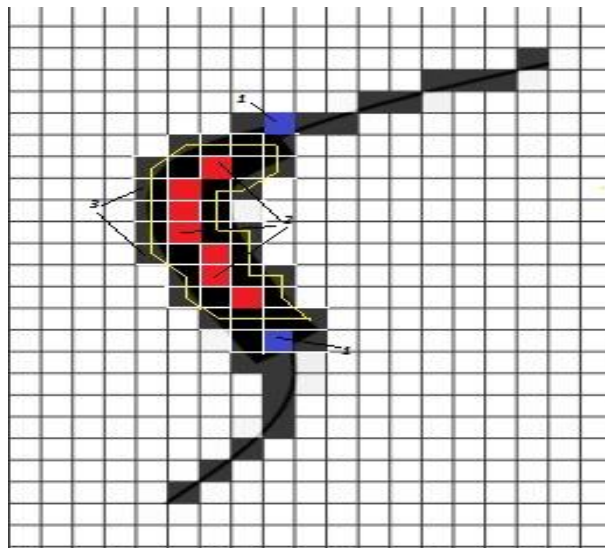


Рисунок 9

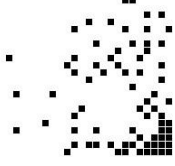
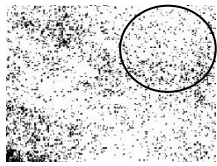

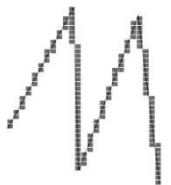
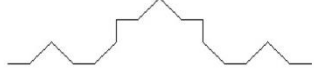
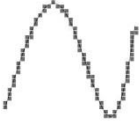



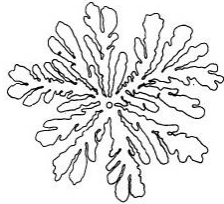
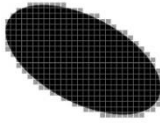
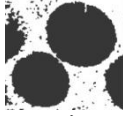
Якщо ж дискретна модель фрагменту має хоча б одну чорну клітину із 8 чорними сусідами (за 8-зв'язністю), то ідентифікується 2-вимірний геометричний образ фрактального чи нефрактального типу (рис. 9). Границями такого об'єкту будуть одновимірні множини клітин із мінімум 3 чорними сусідами за 8-зв'язністю (рис. 9).






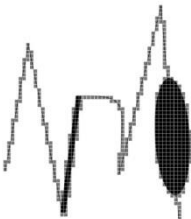
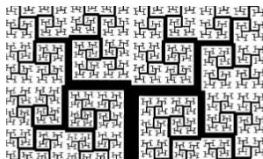





ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

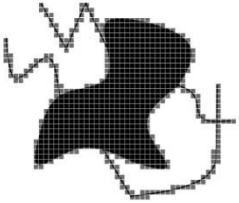
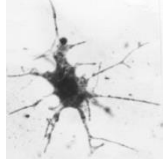
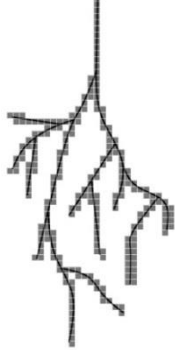

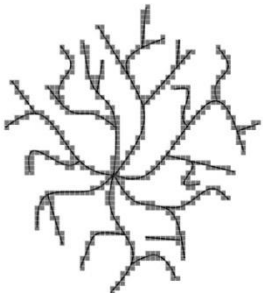

Дискретне кліткове представлення основних геометричних елементів, що зустрічаються на зображення транспортної мережі міста, дозволили узагальнити можливі комбінації фрагментів у вигляді таблиці 1. Вона дозволяє швидко ідентифікувати фрагменти схем за основними характеристиками, які наведені нами у топологічній класифікації (рис. 3) і стати основою для аналізу відповідної транспортної мережі.

Таблиця 1

N	ГЕОМЕТРИЧНИЙ ОБ'ЄКТ	Розм.	Тип	ПРИКЛАДИ ФОТО РЕАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ
1		0-вимірні об'єкти	Нефрактальний тип	

N	ГЕОМЕТРИЧНИЙ ОБ'ЄКТ	Розм.	Тип	ПРИКЛАДИ ФОТО РЕАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ
2		$0 < n < 1$ вимірні множини	Квазіфрактальна множина точок	 Фрагмент порошкового фарбування металу
3		1-вимірний об'єкт	Відрізок прямої. Нефрактальний тип	
4		$1 < n < 2$ вимірні множини	Фрагмент ламаної лінії. Квазіфрактальний тип	 Фрагмент тріадної кривої Коха
5		1-вимірний об'єкт	Фрагмент кривої, розімкнута лінія. Нефрактальний тип	
6		1-вимірний об'єкт	Замкнута крива. Нефрактальний тип	 Зображення нервових волокон мізків голови
7		$1 < n < 2$ вимірні множини	Фрактальна замкнута лінія. Квазіфрактальний тип	 Зображення в'язких пальців гліцерину
8		2-вимірний об'єкт	Замкнута область. Нефрактальний тип	 Зображення клітин крові

N	ГЕОМЕТРИЧНИЙ ОБ'ЄКТ	Розм.	Тип	ПРИКЛАДИ ФОТО РЕАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ
9		1<n<2 вимірний об'єкт	Фрактальна замкнута область. Квазіфрактальний тип	 Зображення кліткових структур
10		1<n<2 вимірний об'єкт	Комбіновані множини із включеннями. Квазіфрактальний тип	
11		1<n<2 вимірний об'єкт	Комбіновані множини із включеннями. Квазіфрактальний тип	 Зображення еволюції кліткового автомату
12		1<n<2 вимірний об'єкт	Товста ламана лінія із включеннями. Квазіфрактальний тип	 Модель бронхіального дерева тварин
13		1<n<2 вимірний об'єкт	Комбіновані множини (дотик, перетин). Квазіфрактальний тип	 Зображення впадання ріки у море
14		1-вимірні об'єкти	Дві криві (перетин). Нефрактальний тип	
15		1<n<2 вимірний об'єкт	Перетин фрактальних фрагментів. Квазіфрактальний тип	 Фрагмент дельти річки

N	ГЕОМЕТРИЧНИЙ ОБ'ЄКТ	Розм.	Тип	ПРИКЛАДИ ФОТО РЕАЛЬНИХ ЗОБРАЖЕНЬ
16		1<n<2 вимірний об'єкт	Перетин фрактальних ліній та областей. Квазіфрактальний тип	 Зображення мультиполярної клітини морського їжака
17		1<n<2 вимірний об'єкт	Фрактальне розгалуження. Квазіфрактальний тип	 Фрагмент розряду звичайної блискавки
18		1<n<2 вимірний об'єкт	Фрактальне розгалуження. Квазіфрактальний тип	 Кластер двовимірної дифузії

Так, наприклад, фрагменти дискретної моделі схеми автобусних маршрутів міста (рис. 2) включають одно- та двох-вимірні образи нефрактального та фрактального типу, сітка транспортної мережі досить щільно покриває запропоновану область, а окремі її вітки хаотично перетинаються як між собою, так із 2-вимірними областями. Це говорить про те, що зображення у цілому носить фрактальний характер. Відтак, підрахунок розмірності і фрагментів, і всієї структури спонукає до розрідження одних і ущільнення інших зон дискретної моделі для покращення показників доступності, наприклад, міського пасажирського транспорту.

ВИСНОВКИ

У роботі запропоновано розглядати транспортну мережу міста як сукупність певного числа розподілених точок або областей (зупинкових вузлів чи обмежених територій), які взаємодіють між собою через транспортні канали, тобто маршрути. Доведено, що топологія складної транспортної мережі є випадковим фракталом, оскільки її мала частина подібна цілої. Розмірність цієї множини точок, областей і ліній має дробову, або фрактальну розмірність.

Наведено методику дискретного (піксельного) представлення міської транспортної мережі для оцінки складності її структури. Доведено, що однією із фундаментальних характеристик геометричної складності мережі є її топологічна розмірність. Показано, що через параметри розмірності топології мережі або окремих фрагментів, можна кількісно виразити її системні властивості і знайти загальні закономірності удосконалення існуючих та побудови нових транспортних потоків.

Для ідентифікації зображень запропоновано топологічну класифікацію дискретних моделей геометричних об'єктів та комбінованих множин на площині. Визначено основні характеристики зв'язності окремих клітин дискретних бінарних моделей множин довільної розмірності. Запропонована структура практичної ідентифікації комбінацій геометричних об'єктів, які зустрічаються на зображеннях міських маршрутних схем.

Подальші дослідження із даної тематики проводяться у напрямі виокремлення та обчислення геометричних характеристик об'єктів для запропонованих дискретних кліткових моделей.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1.Абламейко С.В., Лагуновский Д.М. Обработка изображений: технология, методы, применение. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 1999. – 300 с.
- 2.Абламейко С.В., Недзьведь А.М. Обработка оптических изображений клеточных структур в медицине. – Мн.: ОИПИ НАН Беларуси, 2005. – 156с.
- 3.Балханов В.К. Введение в теорию фрактального исчисления. – Улан-Удэ.: Изд-во Бурятского гос-университета, 2001. – С. 58.
- 4.Бойко Г.В. Методика оптимизации структуры транспорта для обслуживания городских пассажирских перевозок: дис. канд.техн.наук: 05.22.10 /Г.В. Бойко. –Волгоград, 2006. - 18с.
- 5.Barbera L.P., Rosso R. On the fractal dimension of stream networks // Water Resour. Res. – 1989. – 25, (4). – P. 735.
- 6.Вельможин А. В. Основы теории транспортных процессов и систем: учебное пособие / А. В. Вельможин, В. А. Гудков, Л. Б. Миротин// - Москва: Академия, 2015. - 221с.
- 7.Гасников А.В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учебное пособие / А. В. Гасников [и др.]; ред. А. В. Гасников.// - 2-е изд., испр. и доп. - Москва: МЦНМО, 2013. - 426 с.
- 8.Дубовик В.О. Методы оценки транспортной доступности территории // Региональные исследования. Смоленск, 2013, №4 (42). С. 11-18
- 9.Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – Москва: Институт компьютерных исследований, 2002. - 656 с.
- 10.Pustiulha, S., Samostian, V., Tolstushko, N., Korobka, S., Babych, M.: Fractal diagnostics of the degree of fuel atomization by diesel engine injectors. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 6, 8(90), p. 40-47 (2017).
- 11.Пустюльга С.І., Самостян В.Р., Головачук І.П., Придюк В.М., Оксенюк В.А. Методика ідентифікації зображень п'ятен розпилу палива форсунками // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. – Луцьк, 2018. – Вип. 2 (11). с. 110-116.
- 12.Pustiulha, S., Holovachuk, I., Samchuk, V., Samostian, V., Prydiuk, V.: Improvement of the technology of tribostate application of powder paints using fractal analysis of spray quality. 2 International conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange 11-14 june, 2019, Lutsk, DOI:10.1007/978-3-030-22365-6_28, – 10с.
- 13.Пустюльга С.І., Самчук В.П.,Самостян В.Р., Головачук І.П. Кількісний аналіз нуль-вимірних (точкових) множин методами фрактальної геометрії. Прикладна геометрія та інженерна графіка”: Зб. наук. пр. - К., 2020. - Вип. 97. – С. 64-72.
- 14.Спирин И.В. Организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: учебник. - М.: ИД Академия, 2008. - 400 с.

REFERENCES

- 1.Ablamejko S.V., Lagunovskij D.M. Obrabotka izobrazhenij: tekhnologiya, metody, primenenie. – Мн.: In-t tekhn. kibernetiki NAN Belarusi, 1999. – 300 s.
- 2.Ablamejko S.V., Nedz`ved` A.M. Obrabotka opticheskikh izobrazhenij kletochnykh struktur v mediczine. – Мн.: OIPI NAN Belarusi, 2005. – 156s.
- 3.Balkhanov V.K. Vvedenie v teoriyu fraktalnogo ischisleniya. – Ulan-Ude.: Izd-vo Buryatskogo gos-universiteta, 2001. – S. 58.
- 4.Bojko G.V. Metodika optimizaczii struktury transporta dlya obsluzhivaniya gorodskikh passazhirskikh perevozok: dis. kand.tekhn.nauk: 05.22.10 /G.V. Bojko. –Volgograd, 2006. - 18s.
- 5.Barbera L.P., Rosso R. On the fractal dimension of stream networks // Water Resour. Res. – 1989. – 25, (4). – P. 735.

6. Velmozhin A. V. *Osnovy teorii transportnykh processov i sistem: uchebnoe posobie* / A. V. Velmozhin, V. A. Gudkov, L. B. Mirotin // - Moskva: Akademiya, 2015. - 221s.
7. Gasnikov A.V. *Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie transportnykh potokov: uchebnoe posobie* / A. V. Gasnikov [i dr.]; red. A. V. Gasnikov. // - 2-e izd., ispr. i dop. - Moskva: MCzNMO, 2013. - 426 s.
8. Dubovik V.O. *Metody ocenki transportnoj dostupnosti territorii* // *Regionalnye issledovaniya*. Smolensk, 2013, #4 (42). S. 11-18
9. Mandelbrot B. *Fraktalnaya geometriya prirody*. – Moskva: Institut komp`yuternykh issledovaniy, 2002. - 656 s.
10. Pustiulha, S., Samostian, V., Tolstushko, N., Korobka, S., Babych, M.: Fractal diagnostics of the degree of fuel atomization by diesel engine injectors. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 6, 8(90), p. 40-47 (2017).
11. Pustylga S.I., Samostyan V.R., Golovachuk I.P., Prydiuk V.M., Oksenyuk V.A. *Metodika identifikaciyi zobrazhen pyaten rozpilu paliva forsunkami* // *Suchasni tekhnologiyi v mashinobuduvanni ta transporti*. – Luczk, 2018. – Vip. 2 (11). s. 110-116.
12. Pustiulha, S., Holovachuk, I., Samchuk, V., Samostian, V., Prydiuk, V.: Improvement of the technology of tribostate application of powder paints using fractal analysis of spray quality. 2 International conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange 11-14 june, 2019, Lutsk, DOI:10.1007/978-3-030-22365-6_28, – 10s.
13. Pustylga S.I., Samchuk V.P., Samostyan V.R., Golovachuk I.P. *Kilkisnij analiz nul-vimirnykh (tochkovykh) mnozhin metodami fraktal'noyi geometriyi. Prikladna geometriya ta inzhenerna grafika: Zb. nauk. pr. - K., 2020. - Vip. 97. – S. 64-72.*
14. Spirin I.V. *Organizacziya i upravlenie passazhirskimi avtomobilnymi perevozkami: uchebnik*. - M.: ID Akademiya, 2008. - 400 s.

S. Pustiulha, V. Samchuk, V. Prydiuk, V. Samostian. Discrete (pixel) presentation of a transport network of city for topological authentication and fractal analysis her geometrical constituents

Work is sanctified to development of methods of discrete (pixel) presentation of a transport network of city for topological authentication and fractal estimation her structural constituents.

Development of a transport network of cities goes, as a rule, by complication of topological structure of routes of movement and mutual relations between geometrical descriptions them separate elements. Such tendencies testify to the necessity of development of effective mathematical methods of design of new and optimization of already existent networks, that algorithms of analysis and quantitative estimation of quality of functioning of a transport system of city will be the basis of.

Properties of a municipal transport network depend substantial character on complication of her geometry and topological structure. The analysis of literary sources showed that a transport network of city, from topological positions, it can examine as an aggregate of large number of the up-diffused points or areas (зупинкових knots or limited territories) that co-operate inter se through transport channels, id est routes. Thus, a topology of a difficult transport network is a casual fractal, as her small part is similar whole. The dimension of this great number of points, areas and lines has a fractional dimension. Expecting the dimension of network, it is possible in number to express her system properties and to find general conformities to law of improvement of existing and construction of new transport streams.

At determination of fractal dimension of image a cellular method a geometrical network structure, at every step iterations, is covered by cages determined size. Consequently, it is suggested, at once, to present an image in a discrete kind on a grate with the cages of low-limit (there can be a size of pixel), to identify the fragments of the set structure, and in further to expect necessary geometrical parameters and conduct their analysis. Thus, it is necessary to classify separate objects and fragments, and also find out geometrical criteria, after that the degree of fractal of both fragments and structure will be determined on the whole.

For authentication of images topological classification of discrete models of geometrics and combined great numbers is offered on a plane. Basic descriptions of connectedness of separate cages of discrete binary models of great numbers of arbitrary dimension are certain. Offered structure of practical authentication of combinations of geometrics, that meet on the images of municipal rout charts.

Further researches from this subjects are conducted in the direction of selection and calculation of geometrical descriptions of objects for the offered discrete cellular models.

Keywords: a transport network of city, discrete presentation, topological authentication, fractal analysis, combined great numbers, cellular model.

ПУСТЮЛЬГА Сергій Іванович, доктор технічних наук, професор кафедри інженерної та комп'ютерної графіки Луцького національного технічного університету, e-mail: mbf.declutsk@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-7623-7803>.

САМЧУК Володимир Петрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії Луцького національного технічного університету, e-mail: volsamchuk@ukr.net <http://orcid.org/0000-0001-9045-9525>

ПРИДЮК Валентин Михайлович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: pred.mbf@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-7791-1230>

САМОСТЯН Віктор Русланович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький національний технічний університет e-mail: cvmbf@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0001-6823-8558>

Serhii PUSTIULHA, Doctor of Technical Sciences, Professor of Engineering and Computer Graphics department, Lutsk National Technical University e-mail: mbf.declutsk@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-7623-7803>.

Volodymyr SAMCHUK Ph.D in Engineering, associate professor ,Lutsk National Technical University, e-mail: volsamchuk@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0001-9045-9525>

Valentyn PRYDIUK, Ph.D in Engineering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University, e-mail: 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: cvmbf@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0001-6823-8558>

DOI 10.36910/automash.v1i16.516

Сахно В.П., Тімков О.М., Ященко Д.М., Босенко В.М.
Національний транспортний університет, Київ, Україна

РОЗРОБКА МАСШТАБНОЇ ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ АВТОПОЇЗДА ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проведення досліджень з керованості та маневреності на реальних автопоїздах має багато труднощів і вимагає витрат значних матеріальних та часових ресурсів. Їх проведення також пов'язано з можливими небезпечними ситуаціями при випробуваннях. Стаття присвячена розробці масштабної фізичної моделі довгобазового автопоїзда яка б мала універсальні модулі. Модульний принцип дозволяє швидко переходити до різних конструювальних схем. Детально описана конструкція масштабної фізичної моделі та використаних електронних модулів. Модель має незалежний електричний привід на ведучі колеса, керування здійснюється мікроконтролером. Модель оснащена вимірювальною, реєструючою та апаратурою дистанційного керування, для експериментального дослідження властивостей керованих автопоїздів.

Виходячи з основних положень теорії подібності, впливає, що якщо дві динамічні системи описані однаковими диференціальними рівняннями, то рішення диференціальних рівнянь буде масштабно незмінним при тих самих групах. Щоб модель була динамічно подібна до оригіналу, величини цих груп повинні бути однакові для обох систем. Базуючись на цій ідеї, можна визначити параметри моделі що відповідають реальному об'єкту.

В подальшому планується проведення порівняльного аналізу результатів теоретичних досліджень за математичною моделлю та результатів експериментальних досліджень на масштабній фізичній моделі. Перевірка адекватності математичної моделі.

Ключові слова: автопоїзд, масштаб, фізична модель, керованість, маневреність, експеримент, контролер, подвійний привід.

ВСТУП

Процес руху автопоїзда залежить від багатьох факторів. Для того, щоб найбільш повно вивчити процеси, що відбуваються при русі автопоїзда з керованим напівприцепом при комбінованому способі управління, за рахунок повороту осі та бортової нерівномірності гальмівних сил, необхідно здійснити велику кількість спостережень та вимірів. Математичне моделювання дозволяє аналітично визначити показники маневреності, стійкості та керованості автопоїзда при виконанні різних маневрів з урахуванням корекції траєкторії возика шляхом гальмування коліс одного борту, проте такі дослідження потребують обов'язкової подальшої перевірки експериментом.

Для вивчення поведінки автопоїзда при русі по кривих використовуються різні методи. Так, у перших роботах М.М. Бергмана і К. Біна використовувався графічний метод, заснований на кінематичному підході. Подальший розвиток кінематичного підходу знайшов відображення в роботах Закіна Я.Х. [1], Азбеля А.Б. [2], Сахно В.П. [3] і інших дослідників. Проте такий підхід не може дати досить точної інформації про траєкторії ланок автопоїзда через накопичення похибок в процесі побудови, не дозволяє проаналізувати вплив різних конструктивних параметрів на траєкторію їх криволінійного руху.

В роботах Бобошка А.А., Волкова В.П., Подригала М.А. [4...7] визначені резерви поліпшення показників керованості, повороткості (маневреності) за традиційного (кінематичного) та комбінованого способів управління поворотом. Поліпшено властивості маневреності колісних тракторів і самохідних шасі за рахунок використання комбінованого способу управління поворотом. Експериментальні дослідження належать до основних засобів для одержання нових наукових знань, особливо в технічних науках. До їх основи закладено експеримент, що являє собою науковий дослід або спостереження у точно контрольованих умовах. Вони дозволяють прослідкувати послідовно за його перебігом, керувати експериментом, проводити його при повторенні в адекватних умовах. Від звичайного пасивного спостереження явищ експеримент відрізняється активним впливом дослідника на процес або об'єкт, які треба вивчити.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Подібність фізичних процесів і систем широко використовується в техніці для дослідження методом моделювання. Відомі роботи Сахно В.П., Дячука М.В., Абрамова Л.С. та інших вчених присвячені використанню експериментальних масштабних моделей в наукових дослідженнях [8...10]

У тих випадках коли математичне рішення задачі ускладнене, а то й просто неможливе, цілком природним є звернення до експериментального дослідження на моделях з подальшим перерахунком

отриманих результатів на натуру, яка є прототипом моделі. При цьому модель і натура повинні перебувати між собою у відношеннях подібності [11].

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ціль роботи є розробка масштабної фізичної моделі багатобазового автопоїзда, обладнаного її вимірювальною, реєструючою та апаратурою дистанційного керування, для експериментального дослідження властивостей автопоїздів з подвійним приводом керування напівприцепом і корекцією траєкторії возика шляхом гальмування коліс одного борту. Для досягнення цілі дослідження вирішувалися такі задачі:

- вибір натурального багатобазового автопоїзда прототипу для експериментальних досліджень;
- вибір масштабного коефіцієнту подібності для фізичної моделі;
- виготовлення масштабної моделі та обладнання її необхідною електронною апаратурою.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Принцип механічної подібності може бути покладений в основу побудови однотипних машин. Якщо будь-яку машину прийняти за зразок (модель) та задатися коефіцієнтом подібності, то можна побудувати ряд подібних машин. Закон механічної подібності повинен вказати ті масштаби, в яких потрібно змінити розміри різних частин, щоб отримати машини, подібні даному зразку. Вибір коефіцієнтів подібності базується на наступних механічних міркуваннях:

$$\rho = mj = m \frac{\Delta V}{\Delta t} = m \frac{\Delta l}{\Delta t^2} \quad (1)$$

Теорія подібності охоплює всі механічні явища. Вони можуть бути різноманітні по відношенню до будь-якої механічної величини. Наприклад, сили можуть залежати: 1) від часу, 2) від відстані, 3) від швидкості, 4) від маси, 5) залишатися постійними.

Для машин коефіцієнтом подібності можна визначити деяку механічну величину. При цьому машини, подібні в одному відношенні, можуть виявитися не подібними в іншому, наприклад нерівномірними. А так як міцність для машин має суттєве значення, то порушення подібності у відношенні до міцності повинно бути завжди перевірено і може мати рішуче значення для вибору коефіцієнта подібності.

Фізичною моделлю автомобіля є зменшена копія об'єкта дослідження, наділена тими ж фізичними властивостями, що і оригінал, і експеримент проводиться з моделлю. Для фізичної моделі не обов'язкова модель математична, отже спрощуються розрахунки, а дані можна отримувати напряму з об'єкту дослідження, використовуючи датчики, записуючі елементи і т.п., а рух задавати виконавчими пристроями [11].

В якості об'єкту експериментальних досліджень була обрана масштабна фізична модель автопоїзда. Модель обладнана електронним приводом керування напівприцепом з можливістю корекції траєкторії возика шляхом гальмування коліс одного з бортів. Фізична модель автопоїзда, розроблена співробітниками кафедри «Автомобілі» Національного транспортного університету.

Натурним зразком при складанні фізичної моделі автопоїзда був обраний автопоїзд категорії N3+O4 у складі двовісного сідельного тягача Volvo FM-500 та тривісного напівприцепа KRONE – SDP 24. Геометричні та масові параметри ланок автопоїзда зазначені в табл.1.

У разі геометричної подібності використовується декартова система координат, при кінематичній подібності вводиться додаткова змінна – час. Про геометрично подібні рухомі системи говорять як про кінематично подібні в тих випадках, коли відповідні точки системи, описують за відповідні інтервали часу подібні траєкторії.

Динамічно подібні системи – це геометрично подібні рухомі системи, в яких співвідношення між усіма відповідними силами однакові. Для того, щоб вибрати модель яка б найбільш точно відповідала умовам теорії подібності, необхідно порівняти її деякі параметри з натурою. Лінійні розміри моделі, виконаної в певному масштабі, подібні розмірам природи і мають коефіцієнт подібності λ_l .

$$\lambda_l = \frac{l_n}{l_m} \quad (2)$$

де l_n, l_m – відповідно лінійний розмір натурального зразку та моделі.

Таблиця 1 – Технічні характеристики натурального автопоїзда

Параметр	Значення
<i>Сідельний тягач</i>	<i>Volvo FM-500</i>
Габаритна довжина, м	6,850
Габаритна ширина, м	2,490
Габаритна висота, м	3,037
Колісна формула	6x4
Колісна база, м	3,2+1,37
Споряджена маса тягача, кг	8605
Повна маса тягача, кг	34000
Максимальна повна маса автопоїзда, кг	70000
Максимальне навантаження на передню вісь, кг	8000
Максимальне навантаження на задню вісь, кг	26000
Розмірність шин	315/70 R22,5
<i>Напівпричіп</i>	<i>KRONE – SDP 24</i>
Максимальне навантаження на сідло, кг	11000
Максимально допустиме навантаження на осі, кг	24000
Максимальна повна маса напівпричіпа, кг	33610
Споряджена маса, кг	8000
Відстань між осями, м	1,310
Висота сідла, м	1,050-1,170
Габаритна довжина, м	13,485
Габаритна ширина, м	2,440
Габаритна висота, м	4,000
Розмірність шин	385/65 R22,5

Тоді подібність площі відповідає λ^2 , а подібність об'єму λ^3 .

Кінематична подібність. Процеси кінематики подібні, якщо в них дотримано геометрична подібність (в тому числі і траєкторій точок, що здійснюють рух), а також якщо для всіх пар проміжків часу, протягом яких протікають подібні явища, справедливо співвідношення

$$\frac{v_n}{v_m} = \frac{l_n t_m}{l_m t_n} = \frac{\lambda_l}{\lambda_t} = \lambda_v, \quad (3)$$

$$\frac{j_n}{j_m} = \frac{v_n t_m}{v_m t_n} = \frac{\lambda_v}{\lambda_t} = \frac{\lambda_v^2}{\lambda_l} = \lambda_j.$$

Згідно теорії подібності, модель буде подібна до натурі, якщо її маса дорівнює масі моделі помноженої на масштабний коефіцієнт в кубі. Тобто:

$$m_m = m_n \lambda^3 \quad (4)$$

Це положення безпосередньо витікає з основного рівняння механічної подібності при підстановці:

$$P \propto m \propto \lambda^3 \quad (5)$$

Принцип механічної подібності може бути покладений в основу побудови однотипних машин. Якщо будь-яку машину прийняти за зразок (модель) та завдатися коефіцієнтом подоби, то можна побудувати ряд подібних машин. Закон механічної подібності повинен вказати масштаби, в яких потрібно змінити розміри різних частин, щоб отримати машини, подібні даному зразку. Вибір коефіцієнтів подібності базується на наступних міркуваннях:

$$\rho = mj = m \frac{\Delta V}{\Delta t} = m \frac{\Delta l}{\Delta t^2} \quad (6)$$

При розрахунку подібності прийнято використовувати π -теорему, згідно з якою для побудови моделі необхідно і достатньо $p=n-k$ безрозмірних величин, де n – кількість фізичних змінних, які описуються за допомогою k фундаментальних фізичних величин. З π -теореми випливає, що якщо дві динамічні системи описані однаковими диференціальними рівняннями, то рішення диференціальних

рівнянь буде масштабно незмінним при тих самих π групах. Щоб модель була динамічно подібна до оригіналу, величини цих π груп повинні бути однакові для обох систем. Базуючись на цій ідеї, можна визначити параметри моделі відповідні реальним [11].

Обрано масштаб для зменшення натурального автопоїзда $\lambda_l = 18$, його визначено за базою автопоїзда. Колісна база шасі реального і зменшеного автомобіля є фіксованою. Довжина фізичної моделі автомобіля 235 мм, колісна база 137 мм, колія 117 мм. Розмір шин фізичної моделі розраховується прирівнюванням π групи, що відповідає розміру шин зменшеної копії, до π групи реального автомобіля.

Розмір шин автомобіля 315/80R22,5 або 385/65R22,5. Підставляючи значення оригіналу, отримуємо $R_{\text{моделі}} = 38 \text{ мм}$. Ширина шин моделі тягача 38 мм.

Для кінематичної подібності фізичної моделі зроблено припущення, що час за який відбувається переміщення точок моделі та натурального автопоїзда однаковий, тобто $t_n = t_m$, тоді масштабний коефіцієнт за швидкістю та прискоренням, відповідно, буде дорівнювати

$$\lambda_v = \lambda_l, \lambda_j = \lambda_l. \quad (7)$$

Фізична модель автопоїзда (рис. 1) складається з автомобіля-тягача (1) і ходового возика (2), шарнірно з'єднаних між собою рамою напівпричепи.



Рисунок 1 – Фізична модель автопоїзда з керованим напівпричепом з можливістю корекції траєкторії возика шляхом гальмування коліс одного з бортів

Для можливості дослідження систем управління автопоїздом за подвійного приводу керування колесами передньої осі напівпричепи як при гальмуванні коліс одного борту, а також за його відсутності, у конструкції возика реалізовані два способи повороту: кінематичний та динамічний. Перший спосіб – з мікропроцесорною системою управління, яка реалізує закон зміни передаточного відношення подвійного приводу керування. Виконавчим пристроєм цього способу є сервомотор, корпус якого закріплений на рамі напівпричепи, а шток шарнірно з'єднаний з поворотним візком. Другий спосіб – з поворотом керованих коліс за першим способом і регулюванням кутових швидкостей коліс возика шляхом гальмування коліс одного борту. Для реалізації цього способу всі колеса фізичної моделі є ведучими і обладнані кроковими моторами. Це дозволяє створювати як тяговий, так і гальмівний моменти (рис. 2), за допомогою яких оператор при русі автопоїзда створює необхідний гальмівний момент для корекції траєкторії руху возика напівпричепи. Можлива корекція як вручну, так і програмно.

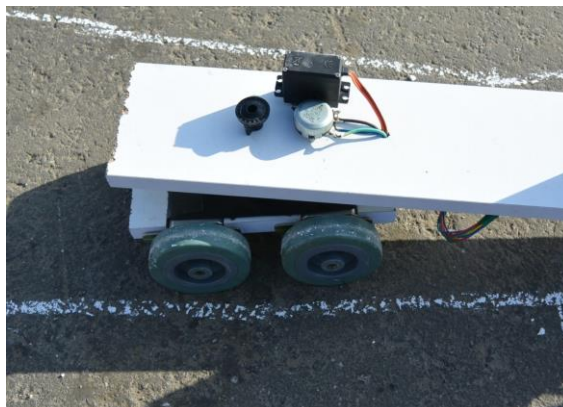


Рисунок 2 – Ходовий возик напівпричепи

Автомобіль–тягач фізичної моделі (рис. 3), виготовлений на основі шасі від моделі автомобіля, яке було суттєво перероблено. Поворот керованих коліс задає сервопривод Blade Inductrix, який приводить у рух поздовжню тягу рульової трапеції, котра, у свою чергу, повертає цапфи керованих коліс. Автомобіль–тягач приводиться до руху одним колекторним електромотором Motor (RC 473) з механічним редуктором, від якого крутний момент передається на задню ведучу вісь.



Рисунок 3 – Автомобіль–тягач фізичної моделі

Рама напівпричепа зібрана з окремих секцій. Секції мають різну довжину, мають композитну конструкцію, виготовлені з алюмінію, дерева та пластику. Секції можна з'єднувати між собою, тим самим змінюючи довжину рами до необхідної величини. Рама напівпричепа переднім кінцем шарнірно з'єднується з поворотним коником, що встановлений на автомобілі–тягачі (цей коник імітує собою сидельно–зчіпний пристрій), а інший – фланцем з поворотним кругом ходового возика напівпричепа.

Швидкість руху та кут повороту керованих коліс фізичної моделі задає оператор за допомогою пульту керування, який реалізовано на базі Android пристрою. Команди з пульту передаються за Bluetooth каналом через приймальний модуль до мікроконтролера Arduino Mega. Який, після обробки отриманих сигналів керування та виконання заданих алгоритмів, передає керуючий сигнал до драйверу електромоторів. Після підсилення керуючого сигналу за струмом відбувається управління електромоторами ведучої осі та керованих коліс. Мікроконтролер Arduino Mega дозволяє запрограмувати необхідні дії роботи електромоторів на мові програмування C++.

Розташування приладів на фізичній моделі автомобіля–тягача наведено на рис. 5. У даному випадку алгоритм програми складений наступним чином: по–перше, перевіряється наявність зв'язку з пультом керування за Bluetooth каналом, при розриві з'єднання фізична модель припиняє виконання будь–яких попередніх команд і відразу ж зупиняється. При відновленні зв'язку виконання команд починається з початку. В першу чергу обробляється команда заданої швидкості руху. По–друге, виконується команда повороту керованих коліс, якщо модель рухається прямо, то працює лише електромотор ведучої осі. Якщо ж, надходить команда повороту керованих коліс і модель має повертати, то одночасно працюють обидва електромотори.

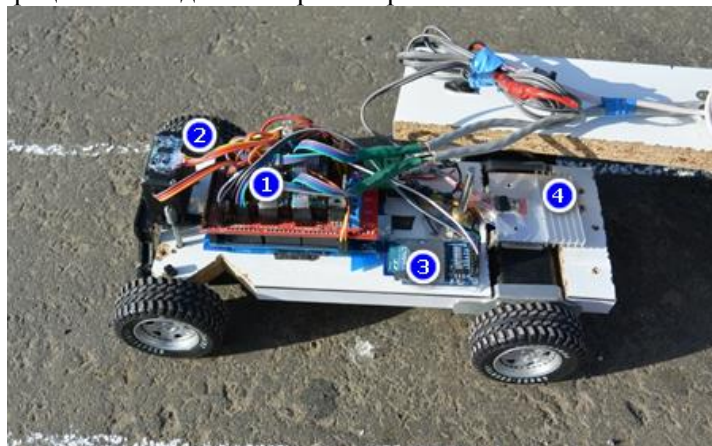


Рисунок 5 – Розташування елементів на моделі автомобіля:

1 – Arduino Mega; 2 – Акселерометр ADXL345; 3 – Модуль SD карти пам'яті, 4 – Драйвер електродвигуна.

Сучасні мікроконтролери, що керують частотним перетворювачем, дозволяють обробляти дані за період у кілька десятків мікросекунд, (десять років тому цей час становило 200 мс), що дозволило розширити діапазон регулювання зі зворотним зв'язком до 1:1000 з точністю підтримки швидкості 0,2 оберти у всьому діапазоні, при цьому, ККД таких перетворювачів складає 90...99%, що наближає частотні приводи до сервоприводів.

Середовищем розробки плат Arduino є багатоплатформовий Java-додаток, що заснований на мові Processing. Синтаксис даного середовища подібний до C++, але використовує деякі додаткові бібліотеки. Після успішної компіляції програма передається у процесор засобами віртуального COM-порта. Вбудований у середовище розробки монітор дозволяє реалізувати зворотній зв'язок із платою у процесі виконання програми. Можлива передача команд процесору, а також зчитування і відображення даних.

Потужний сервомотор MG 995 для управління передніми колесами тягача. Вихідний вал сервоприводу повертається приблизно на 120 градусів та має максимальний крутний момент 0.85 Н·м. Для управління MG 995 можна використовувати будь-які контролери з живленням логіки 5 В, в тому числі і Arduino. Даний мотор підключається за схемою з трьома дротами.

Драйвер двигунів A4988 для обробці імпульсів від мікроконтроллера та подачі напруги на двигуни. Особливостями A4988 є регульований струм, захист від перевантаження і перегріву, драйвер також має п'ять варіантів мікрокроку (до 1/16 кроку). Він працює від напруги 8...35 В і може забезпечити струм до 1 А на фазу без радіатора. У крокових двигунів зазвичай встановлена конкретна величина (наприклад 1,8 ° або 200 кроків на оборот), при якій досягається повний оберт на 360°. Мікрокроковий драйвер, такий як A4988 дозволяє збільшити крок управління за рахунок можливості керування проміжними кроками.

Безколекторний 2-фазний електродвигун 17HS8401 з максимальним крутним моментом 0.52 Н·м, маса електродвигуна складає 0.37 кг. Електромотор працює від напруги 12...24 В.

Аналоговий датчик кута повороту, Arduino – сумісний датчик обертання, максимальний кут повороту 270°, точність вимірів 0,2°, має високу надійність і достатню для вирішення поставлених завдань точність. У даній системі використовується два датчики: для визначення кута складання між тягачем і напівпричепом та кута повороту возика напівпричепа. Підключення датчика відбувається за трьох провідною схемою. На фізичній моделі автопоїзда корпус датчика кута повороту обертання жорстко закріплений на напівпричепі, а його обертальний елемент відіграє роль шворня, що вставляється у зчепний пристрій тягача та фіксується у ньому. Під час руху положення осі датчика відповідає напрямку тягача, а положення плати – напрямку причепа. Таким чином, покази датчика рівні куту складання автопоїзда.

Модель обладнана Bluetooth модулем HC – 06, від забезпечує безпроводне підключення Arduino Mega до інших пристроїв за bluetooth каналом зв'язку. Модуль HC – 06 працює в пасивному режимі, тобто спочатку потрібно виконати команду пошуку на керуючому (Master) пристрої (ноутбук, телефон), знайти пристрій HC – 06 (за замовчуванням його ім'я HC – 06), після цього в Майстер-пристрої з'явиться послідовний порт, в подальшому все що буде надіслано до нього з'явиться на вашому Arduino Mega, і навпаки, все що Arduino Mega надішле вам буде прийнято на вашому пристрої. Налаштування параметрів модуля відбувається за допомогою AT команд [12, 13].

Модуль SD карти пам'яті, управління ним здійснюється за протоколом SPI. Модуль має вбудований лінійний стабілізатор напруги на 3.3В AMS1117-3.3 Всі виходи SD модуля карти пам'яті підключені до штирового роз'єму та мають позначення.

Для живлення електронних модулів масштабної фізичної моделі автопоїзда було використано свинцеві гелієві акумуляторні батареї марки Gembird з номінальною напругою 12 В та ємністю 7 А·год. Для живлення мікроконтролера використовувалася напруга 12 В, а для живлення крокових моторів послідовне з'єднання батарей для отримання напруги 24 В, що дозволило забезпечити їх оптимальний режим роботи.

Програмне забезпечення розробленої масштабної фізичної моделі автопоїзда складається з програми записаної безпосередньо до пам'яті мікроконтролера Arduino Mega. Реалізовано інтерактивний режим управління, при якому всі команди до автопоїзда подаються через безпроводне підключення з сенсорного телефону чи планшета та базі Android.

Алгоритм керуючої програми складається з двох функціональних частин, до першої частини відноситься код який здійснює управління рухом фізичної моделі та відповідає за обмін даними за Bluetooth каналом з мобільним терміналом. Друга частина коду є розробкою кафедри автомобілів НТУ, вона здійснює реєстрацію параметрів руху масштабної моделі автопоїзда, а саме прискорення

по трьом координатним вісям, кута повороту керованих коліс, кута складання та швидкості моделі, в цифровому вигляді на карту пам'яті. В подальшому отримані данні обробляються на комп'ютері та будуються відповідні графічні залежності.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження на моделях дозволяє прискорити або сповільнити процеси, які в природних умовах розвиваються з певною швидкістю, що ускладнює спостереження за ними. При проведенні експерименту безпосередньо на натурі майже завжди доводиться відмовлятися від активного пошуку оптимальних конструктивних рішень, бо це пов'язано зі значними витратами коштів, а не рідко і просто не можливо. Ці принципи, полягають у дотриманні умов, які визначають співвідношення між параметрами моделі і природи, а також правила перерахунку досліджуваних величин з моделі на натуру і назад. Однак, відомо, що жодна модель не може з абсолютною точністю відтворити досліджуваний оригінал — для цього має бути повна їх тотожність. Тому при моделюванні намагаються зберегти в моделі принаймні ті характеристики природи, які є найбільш важливими у загальній картині фізичного процесу, забезпечуючи задану точність результатів.

ВИСНОВКИ

Розроблена самохідна масштабна фізична модель автопоїзда, що відтворює вантажний автомобіль категорії N3, з напівприцепом категорії O4 з керованим возиком. Фізична модель обладнана вимірною, реєструючою та апаратурою дистанційного управління. Програмне забезпечення дозволяє реалізувати як ручне управління так і за заданим алгоритмом.

В подальшому планується проведення порівняльного аналізу результатів теоретичних досліджень на математичній моделі та експериментальних досліджень на фізичній моделі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Закин, Я.Х. Ширина проездов при движении автопоездов. Лен. филиал. – М.: Транспорт, 1968. – 81с.: ГосНИИ автомобильного транспорта.
2. Азбель А.Б., Беленький Ю.Ю., Мартыненко Г.В. Вписываемость длиннобазных седельных автопоездов на перекрестках дорог. Автомобильная промышленность.// 1984. – № 4. – С. 19–20.
3. Сахно В.П., Боднарук В.Б., Крестьянполь Е.А. К определению показателей маневренности автопоезда с самоустанавливающейся осью полуприцепа. Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів. Збірник наукових праць. – Київ, УТУ, ТАУ, 1998 – С. 45–50.
4. Бобошко, А.А. Підвищення маневреності колісних тракторів і самохідних шасі. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.02. ХНАДУ. Харьков, 2002. 19 с.
5. Бобошко А.А. Нетрадиционные способы маневрирования колесных машин / А.А. Бобошко – Х.: ХНАДУ, 2006. – 172 с. – ISBN 966–303–106–9.
6. Подригало, М.А., и др. Маневренность и тормозные свойства колёсных машин. Изд-во ХНАДУ, 2003. 403 с.
7. Подригало, М., Греко, Л. и Бобошко, А. Підвищення маневреності колісних тракторів. Машинознавство. Всеукраїнський щомісячний науково-технічний і виробничий журнал, 1999. Вип. №10. С. 55 – 58.
8. Дослідження керованості автомобіля на моделі з трьома ступенями свободи /М.В. Дячук, Д.І. Петренко // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2008. – № 6–7. – С. 55–59. – рис. 4. – Бібліогр.: (3 назв.).
9. Сахно В.П., Костенко А.В. Вибір факторів при плануванні експерименту для дослідження курсової стійкості руху // Управління проектами, системний аналіз і логістика. Науковий журнал. – 2006. – №3 . – С. 137–140.
10. Імітаційна модель руху транспортних засобів при маневруванні /Л.С. Абрамова, С.В. Капінус // Научно-технический сборник "Коммунальное хозяйство городов". Выпуск 69. Серия: Технические науки и архитектура. – 2006. – С. 221 – 228. – Режим доступа до статті: <http://eprints.kname.edu.ua/1691/>
11. Седов, Л.И. Методы подобия и размерности в механике. Москва : 10-е изд., доп, М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 432 с., 1987.
12. Список АТ-команд. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://arduino.ua/docs/ВТ0417С_АТcommand.pdf : б.н.
13. DataSheet. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://arduino.ua/docs/ВТ0417С_datasheet.pdf : б.н.

REFERENCES

1. Zakyn, Ya. Kh. Shyryna proezdov pry dvyzheny avtopoezdov. Len. fylyal. – M.: Transport, 1968. – 81s : HosNYI avtomobylnoho transporta.
2. Azbel A.B., Belenkyi Yu.Iu., Martynenko H.V. Vpysyvaemost dlynnobaznykh sedelnykh avtopoezdov na perekrestkakh doroh. Avtomobylnaia promyshlennost.// 1984. – № 4. – P. 19–20.
3. Sakhno V.P., Bodnaruk V.B., Krestianpol E.A. K opredeleniyu pokazatelei manevrennosti avtopoezda s samoustanavlyvaiushcheisia osiu poluprytsepa. Systemni metody keruvannia, tekhnolohiia ta orhanizatsiia vyrobnytstva, remontu i ekspluatatsii avtomobiliv. Zbirnyk naukovykh prats. – Kyiv, UTU, TAU, 1998 – pp.45–50.
4. Boboshko, A.A. Pidvyshchennia manevrenosti kolisnykh traktoriv i samokhidnykh shasi. Avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: 05.22.02. KhNADU. Kharkov, 2002. 19 p.
5. Boboshko A.A. Netradytsyonnye sposoby manevryrovanyia kolesnykh mashyn / A.A. Boboshko – Kh.: KhNADU, 2006. – 172 p. – ISBN 966–303–106–9.
6. Podryhalo, M.A., y dr. Manyvrennost y tormozyne svoistva kolisnykh mashyn. Yzd-vo KhNADU, 2003. 403 p.
7. Podryhalo, M., Hreko, L. y Boboshko, A. Pidvyshchennia manevrenosti kolisnykh traktoriv. Mashynoznavstvo. Vseukrainskyi shchomisiachnyi naukovo-tekhnichnyi i vyrobnychy zhurnal, 1999. Vyp. №10. PP. 55 – 58.
8. Doslidzhennia kerovanosti avtomobilia na modeli z troma stupeniamy svobody /M.V. Diachuk, D.I. Petrenko // Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury. – Dnipropetrovsk: PDABA, 2008. – № 6–7. – S. 55–59. – rys. 4. – Bibliohr.: (3 nazv.).
9. Sakhno V.P., Kostenko A.V. Vybir faktoriv pry planuvanni eksperymentu dlia doslidzhennia kursovoi stiikosti rukhu // Upravlinnia proektamy, systemnyi analiz i lohistyka. Naukovyi zhurnal. – 2006. – №3. – P. 137–140.
10. Imitatsiina model rukhu transportnykh zasobiv pry manevruvanni /L.S.Abramova, S.V.Kapinus // Nauchno-tekhnicheskyy sbornyk "Kommunalnoe khoziaistvo horodov" . Vypusk 69. Seryia: Tekhnicheskyye nauky y arkhytektura. – 2006. – C. 221 – 228. – Rezhym dostupu do statti: <http://eprints.kname.edu.ua/1691/>
11. Sedov L.Y. (1987) Methods of similarity and dimension in mechanics. M.: Nauka. Hl. red. fiz.-mat. lyt., 432 p.
12. List of AT commands. https://arduino.ua/docs/BT0417C_ATcommand.pdf
13. DataSheet BT0417C. https://arduino.ua/docs/BT0417C_datasheet.pdf

Sakhno V., Timkov O., Yashchenko D., Bosenko V. Design of a scale physical model of a road train for experimental research

Carrying out research on controllability and maneuverability on real road trains has many difficulties and requires significant material and time resources. They are also associated with potentially dangerous test situations. The article is devoted to the design of a large-scale physical model of a long-base road train that would have universal modules. The modular principle allows it to quickly change over to different configuration schemes. The design of a large-scale physical model and used electronic modules is described in detail. The model has an independent electric drive on the drive wheels, controlled by a microcontroller. Model equipped with measuring, recording and remote control equipment for experimental study of the properties of controlled road trains.

Based on the main provisions of the theory of similarity, it follows that if two dynamical systems are described by the same differential equations, then the solution of differential equations will be large invariant for the same groups. For the model to be dynamically similar to the original, the values of these groups must be the same for both systems. Based on this idea, it can determine the parameters of the model that correspond to the real object.

In the future it is planned to conduct a comparative analysis of the results of theoretical research on a mathematical model and the results of experimental research on a large-scale physical model. And also checking the adequacy of the mathematical model.

Key words: road train, scale, physical model, controllability, maneuverability, experiment, controller, dual drive.

САХНО Володимир Прохорович, д.т.н., професор, завідувач кафедри автомобілів, Національного транспортного університету, e-mail: svp_40@ukr.net . <https://orcid.org/0000-0002-5144-7131>

ТИМКОВ Олексій Миколайович, доцент, к.т.н., доцент кафедри автомобілів Національного транспортного університету, e-mail: alextimkov@gmail.com . <https://orcid.org/0000-0002-7925-7030>

ЯЩЕНКО Дмитро Миколайович, к.т.н., доцент, кафедри автомобілів Національного транспортного університету, e-mail: y_d2@ukr.net . <https://orcid.org/0000-0003-3674-0089>

БОСЕНКО Володимир Миколайович, к.т.н., асистент кафедри автомобілів Національного транспортного університету, e-mail: bosia4ok@ukr.net . <https://orcid.org/0000-0003-2126-3902>

Volodymyr SAKHNO, Doctor of Science in Engineering, Professor, Head of Automobiles Department, National Transport University, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua. <https://orcid.org/0000-0002-5144-7131>

Oleksii TIMKOV, Associate professor, PhD, Department of Automobiles National Transport University, e-mail: alextimkov@gmail.com . <https://orcid.org/0000-0002-7925-7030>

Dmitro YASHCHENKO, Associate professor, PhD, Department of Automobiles National Transport University, <https://orcid.org/0000-0003-3674-0089>

Volodymyr BOSENKO, Assistant, PhD, Department of Automobiles National Transport University, <https://orcid.org/0000-0003-2126-3902>

DOI 10.36910/automash.v1i16.517

Сахно¹ В.П., Шарай¹ С.М., Мурований² І.С., Поляков¹ В.М.¹Національний транспортний університет²Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ЗАГАЛЬНІ ВИТРАТИ ВИКОНАННЯ ОБОРОТНОГО РЕЙСУ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОЇ ТЕОРІЇ ЕКСПЕРИМЕНТУ

В роботі розглянуті питання впливу різних статей загальних витрат (факторів) на розмір таких загальних витрат при виконанні оборотного рейсу доставки вантажів автомобільним транспортом у міжнародному сполученні.

Для розробки заходів щодо підвищення ефективності виконання процесу перевезень вантажів у міжнародному сполученні та зменшення загальних витрат на його виконання необхідно проводити аналіз статей витрат, які входять до складу загальних витрат. Для дослідження впливу окремих статей загальних витрат на виконання перевезень вантажів у міжнародному сполученні пропонується використання ефективних методів практичної реалізації системного підходу – методів математичної теорії експерименту або планування експерименту. При цьому вирішення задачі дослідження впливу окремих статей витрат (факторів впливу) на розмір загальних витрат проводиться на основі формування плану експерименту та створення експериментально-статистичної моделі.

В результаті розрахунків коефіцієнтів регресії за розробленою моделлю загальних витрат на виконання оборотного рейсу доставки вантажів у міжнародному сполученні та їх аналізу зроблено висновки щодо значущості коефіцієнтів, які формують найбільший вплив на розмір загальних витрат, та визначені статті витрат (досліджувані фактори впливу), що мають найбільший вплив на формування загальних витрат.

Ключові слова: загальні витрати, стаття витрат, міжнародні вантажні перевезення, оборотний рейс, фактор впливу, теорія планування експерименту.

ВСТУП

До складу загальних витрат на виконання перевезень вантажів у міжнародному сполученні входять витрати на паливно-мастильні матеріали, на заробітну плату водія (включаючи витрати на відрядження), на технічне обслуговування, на шини, на амортизацію, на організацію виконання перевезення тощо, які можуть розглядатися як фактори впливу на формування розміру загальних витрат.

Для дослідження впливу окремих статей загальних витрат на виконання перевезень вантажів у міжнародному сполученні з подальшою розробкою заходів щодо регулювання їх впливу на скорочення розміру загальних витрат можуть бути використані методи теорії планування експерименту. Застосування даних методів для аналізу факторів впливу на розмір загальних витрат при здійсненні доставки вантажів у міжнародному сполученні є актуальними для транспортних підприємств, основною діяльністю яких є виконання міжнародних вантажних перевезень.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Аналізуючи систему доставки вантажів автомобільним транспортом у міжнародному сполученні можна виділити такі її початкові ланки: «вантаж – автотранспортний засіб – маршрут – підприємство, що забезпечує виконання процесу доставки». Кожна ланка такої системи має свої компоненти. Кожен компонент у процесі планування, підготовки та виконання перевезень вантажів буде пов'язаний із витратами на його реалізацію. При здійсненні перевезень вантажів у міжнародному сполученні рухомим складом автомобільного транспорту на величину загальних витрат на виконання оборотного рейсу впливають такі витрати, як витрати на заробітну плату водія з урахуванням відшкодування витрат на відрядження, витрати на паливно-мастильні матеріали, витрати на технічне обслуговування, витрати на оформлення та організацію виконання перевезення тощо. Для аналізу загальних витрат на виконання оборотного рейсу доставки вантажів у міжнародному сполученні та розробки заходів щодо підвищення його ефективності та зменшення загальних витрат на його виконання можуть бути використані як аналітичні, так і експериментальні дослідження.

Експериментальні дослідження можуть бути замінені експериментом на моделі. Класична модель експерименту враховує ряд факторів, які можуть змінюватись при зміні умов проведення дослідження. З метою зменшення кількості проведених дослідів в основу досліджень може бути покладена математична теорія планування експерименту [1]. Питанням факторного експерименту

присвячена велика кількість робіт, де обґрунтовується доцільність застосування одночасного варіювання різними факторами, які впливають на досліджувану результуючу величину [2-5].

При вивченні та дослідженні складних об'єктів, до яких відносяться і транспортні системи та транспортні процеси, які в них відбуваються, пропонується застосування математичної теорії планування експерименту, якою передбачається формування плану експерименту [6].

Для вирішення задачі визначення загальних витрат на виконання перевезень вантажів у міжнародному сполученні, визначення ступеня впливу різних витрат на величину загальних витрат, пропонується формування плану експерименту та створення експериментально-статистичної моделі.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою роботи є виявлення сумісного впливу низки факторів на загальні витрати при виконанні оборотного рейсу доставки вантажів у міжнародному сполученні з використанням математичної теорії планування експерименту.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі задачі:

- аналіз факторів, які мають найбільшу вагу у загальних витратах на виконання оборотного рейсу доставки вантажів;
- формування плану експерименту;
- визначення розрахункових значень коефіцієнтів регресії та їх значущості;
- створення експериментально-статистичної моделі для розрахунку загальних витрат на виконання оборотного рейсу доставки вантажів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Перед формуванням плану експерименту та визначенням вагомості впливу факторів на результуючу величину, необхідно мати результати розрахунків загальних витрат на виконання конкретного оборотного рейсу у міжнародному сполученні (результуюча величина) з визначенням статей таких витрат для різних умов його виконання: застосування одиночної та турної їзди, використання автотранспортних засобів, які мають різну лінійну норму витрат палива.

Загальні витрати на виконання оборотного рейсу «м. Київ (Україна) – м. Брно (Чехія) – м. Київ (Україна)» доставки м'ясної продукції за умови роботи 1 водія та використання автопоїзду у складі сідельного тягача Renault MAGNUM 460.19 T із напівприцепом-рефрижератором KÖGEL SV 24 наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Загальні витрати на виконання оборотного рейсу при одиночній їзді

Стаття витрат	Розмір витрати, грн.
Фонд заробітної плати водія	7874,40
Витрати на автомобільне паливо	47195,99
Витрати на мастильні матеріали	5663,52
Витрати на сервісне обслуговування	109,59
Витрати на відновлення і ремонт шин	1500,72
Витрати на оформлення перевезення	7606,00
Амортизаційні відрахування	6806,15
Загальногосподарські витрати	11513,46
Загальні витрати	88269,83

Загальні витрати на виконання оборотного рейсу «м. Київ (Україна) – м. Брно (Чехія) – м. Київ (Україна)» за умови роботи 2 водіїв та використання автопоїзду у складі сідельного тягача MAN TGX 18.440 із напівприцепом-рефрижератором KÖGEL SV 24 наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Загальні витрати на виконання оборотного рейсу при виконанні турної їзди

Стаття витрат	Розмір витрат, грн.
1	2
Фонд заробітної плати водія	9187,77
Витрати на автомобільне паливо	44728,12
Витрати на мастильні матеріали	5367,37
Витрати на сервісне обслуговування	82,19
Витрати на відновлення і ремонт шин	1500,72
Витрати на оформлення перевезення	7606,00
Амортизаційні відрахування	6253,0
Загальногосподарські витрати	11208,78
Загальні витрати	85933,95

На основі аналізу даних табл. 1, 2 можна виділити три основні фактори, що найбільше впливають на величину загальних витрат при виконанні оборотного рейсу у міжнародному сполученні (результуючу величину) – це фонд заробітної плати водія X_1 , витрати на автомобільне паливо X_2 і загальногосподарські витрати X_3 . Для проведення дослідження буде використаний план другого ступеня повного факторного експерименту ПФЕ³.

Завданням експерименту є отримання рівняння регресії, яке при дослідженні трьох факторів, має вигляд [5]:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (1)$$

де b_{ij} – коефіцієнти регресії;

x_1, x_2, x_3 – кодоване значення фактору.

Для формування плану другого ступеня повного факторного експерименту, в якому три фактори змінюються на двох рівнях (ПФЕ³), необхідно визначити інтервали змінювання кожного із досліджуваних факторів – $X_{i\min}, X_{i\max}$, нульовий рівень X_{0i} та напівдіапазон зміни фактору ΔX_i .

Для наведеного прикладу інтервали змінювання кожного із досліджуваних факторів – $X_{i\min}$ та $X_{i\max}$ визначені таким чином.

Для фактору X_1 (фонд заробітної плати водія, ФЗП):

- $X_{i\min}$ відповідає умові застосування одиночної їзди та чисельно дорівнює розрахованим витратам фонду заробітної плати водія ФЗП при виконанні оборотного рейсу;

- $X_{i\max}$ відповідає умові застосування турної їзди та чисельно дорівнює розрахованим витратам фонду заробітної плати водія ФЗП при виконанні оборотного рейсу.

Для фактору X_2 (витрати на автомобільне паливо, C_{II}):

- $X_{i\min}$ відповідає умові використання автопоїзду у складі сідельного тягача MAN TGX 18.440 із напівпричепом-рефрижератором KÖGEL SV 24 вантажопідйомністю 27,056 т. Лінійна норма витрати палива становить 20,6 л/100 км. Значення витрат C_{II} чисельно дорівнює розрахованому значенню витрат на паливо при виконанні оборотного рейсу зазначеним автопоїздом;

- $X_{i\max}$ відповідає умові використання автопоїзду у складі сідельного тягача Renault MAGNUM 460.19 T із напівпричепом-рефрижератором KÖGEL SV 24 вантажопідйомністю 27,056 т для виконання оборотного рейсу. Лінійна норма витрати палива становить 22,8 л/100 км. Значення витрат C_{II} чисельно дорівнює розрахованому значенню витрат на паливо при виконанні оборотного рейсу зазначеним автопоїздом.

Для фактору X_3 (загальногосподарські витрати, C_3):

- $X_{i\min}$ відповідає умові застосування турної їзди і використання автопоїзду у складі сідельного тягача MAN TGX 18.440 із напівпричепом-рефрижератором KÖGEL SV 24, та чисельно дорівнює розрахованим витратам при виконанні оборотного рейсу двома водіями;

- $X_{i\max}$ відповідає умові застосування одиночної їзди і використання автопоїзду у складі сідельного тягача Renault MAGNUM 460.19 T із напівпричепом-рефрижератором KÖGEL SV 24, та чисельно дорівнює розрахованим витратам при виконанні оборотного рейсу одним водієм.

У табл. 3 наведені визначені та розраховані інтервали змінювання факторів.

Таблиця 3 – Інтервали змінювання факторів

Фактори	Мінімум ($X_{i\min}$)	Максимум ($X_{i\max}$)	Нульовий рівень (X_{0i})	Напівдіапазон зміни фактору (ΔX_i)
Фонд заробітної плати водія, ФЗП, грн.	7874,40	9187,77	8531,09	656,69

Витрати на автомобільне паливо, C_{II} , грн.	44728,12	47195,99	45962,06	1233,94
Загальногосподарські витрати, C_3 , грн.	11208,78	11513,46	11361,12	152,34

Враховуючи, що для дослідження обрано 3 фактори, необхідно скласти план другого ступеня повного факторного експерименту. Для складання робочого плану експерименту необхідно скласти матрицю ортогонального плану. Для цього визначаються натуральні та кодовані значення досліджуваних факторів. Перехід від кодованих змінних до натуральних і навпаки виконується за наступними залежностями:

$$x_i = \frac{X_i - X_{0i}}{\Delta X_i}; \quad (2)$$

$$X_i = x_i \times \Delta X_i + X_{0i}, \quad (3)$$

де X_i , x_i – натуральне та кодоване значення фактору відповідно.

Для першого фактору – фонд заробітної плати водія, $\Phi ЗП$: X_1 – натуральне значення фактору; x_1 – кодоване значення фактору. Для другого фактору – витрати на автомобільне паливо, C_{II} : X_2 – натуральне значення фактору; x_2 – кодоване значення фактору. Для третього фактору – загальногосподарські витрати, C_3 : X_3 – натуральне значення фактору; x_3 – кодоване значення фактору.

Для виконання операції кодування натуральному значенню $X_{i\max}$ відповідає кодоване значення x_i «+1», а значенню $X_{i\min}$ – відповідає кодоване значення x_i «-1». Кодованому значенню x_0 відповідає значення «+1». Натуральне значення кожного фактору для «зіркової точки» («+1,215» або «-1,215») визначається шляхом множення цього кодованого значення на відповідне натуральне значення фактору («+1,215» – на максимальне значення, «-1,215» – на мінімальне).

Матриця ортогонального плану другого ступеня повного факторного експерименту, в якому три фактори змінюються на двох рівнях (ПФЕ³), наведена в табл. 4.

Таблиця 4 – Організація матриці ПФЕ³

№ п/п	Кодовані значення факторів				Натуральні значення факторів		
	x_0	x_1	x_2	x_3	$\Phi ЗП$, грн. (X_1)	C_{II} , грн. (X_2)	C_3 , грн. (X_3)
1	2	3	4	5	6	7	8
1	+1	+1	+1	+1	9187,77	47195,99	11513,46
2	+1	-1	+1	+1	7874,40	47195,99	11513,46
3	+1	+1	-1	+1	9187,77	44728,12	11513,46
4	+1	-1	-1	+1	7874,40	44728,12	11513,46
5	+1	+1	+1	-1	9187,77	47195,99	11208,78
6	+1	-1	+1	-1	7874,40	47195,99	11208,78
7	+1	+1	-1	-1	9187,77	44728,12	11208,78
8	+1	-1	-1	-1	7874,40	44728,12	11208,78
9	+1	+1,215	0	0	11163,14	45962,06	11361,12
10	+1	-1,215	0	0	9567,40	45962,06	11361,12
11	+1	0	+1,215	0	8531,09	57343,13	11361,12
12	+1	0	-1,215	0	8531,09	54344,67	11361,12
13	+1	0	0	+1,215	8531,09	45962,06	13988,85
14	+1	0	0	-1,215	8531,09	45962,06	13618,67
15	+1	0	0	0	8531,09	45962,06	11361,12

Робочий план експерименту наведений в табл. 5.

Таблиця 5 – Кодовані і натуральні значення факторів $\PhiЗП$, C_{II} , C_3 та функції відгуку $C(y)$

	$\PhiЗП$		C_{II}		C_3		$C(y)$
	x_1	X_1	x_2	X_2	x_3	X_3	y
1	+1	9187,77	+1	47195,99	+1	11513,46	89144,85
2	-1	7874,40	+1	47195,99	+1	11513,46	87831,48
3	+1	9187,77	-1	44728,12	+1	11513,46	86676,98
4	-1	7874,40	-1	44728,12	+1	11513,46	85363,61
5	+1	9187,77	+1	47195,99	-1	11208,78	88840,17
6	-1	7874,40	+1	47195,99	-1	11208,78	87526,80
7	+1	9187,77	-1	44728,12	-1	11208,78	86372,30
8	-1	7874,40	-1	44728,12	-1	11208,78	85058,93
9	+1,215	11163,14	0	45962,06	0	11361,12	89733,95
10	-1,215	9567,40	0	45962,06	0	11361,12	88138,21
11	0	8531,09	+1,215	57343,13	0	11361,12	98482,97
12	0	8531,09	-1,215	54344,67	0	11361,12	95484,51
13	0	8531,09	0	45962,06	+1,215	13988,85	89729,63
14	0	8531,09	0	45962,06	-1,215	13618,67	89359,45
15	0	8531,09	0	45962,06	0	11361,12	87101,90

В цій матриці величина загальних витрат (функції відгуку) на виконання оборотного рейсу у міжнародному сполученні $C(y)$ розраховується з урахування значень досліджуваних факторів (табл. 1) та витрат, які входять до складу загальних витрат, але не мають суттєвого впливу на них, прийнятих як постійна величина, грн:

$$C(y) = X_1 + X_2 + X_3 + A_{const}, \quad (4)$$

де $C(y)$ – загальні витрати на виконання оборотного рейсу у міжнародному сполученні, грн;

X_1, X_2, X_3 – натуральні значення факторів, вплив яких досліджується, грн;

A_{const} – сума витрат, які входять до складу загальних витрат, але не мають суттєвого впливу на них (витрати на мастильні матеріали, витрати на сервісне обслуговування, витрати на відновлення і ремонт шин, амортизаційні відрахування, витрати на оформлення перевезення), грн.

Завданням експерименту є отримання рівняння регресії. Результати експерименту представляються поліномом другого ступеня, який при застосуванні трьох факторів має вигляд:

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i \times x_i + \sum_{1 \leq i \leq j \leq k} b_{ij} \times x_i \times x_j + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} \times x_i^2, \quad (5)$$

де y – величина функції відгуку;

b_{ij} – коефіцієнти регресії;

x_{ij} – кодовані значення факторів експерименту;

k – кількість прийнятих факторів ($k=3$).

Таким чином, якщо кількість факторів $k=3$, рівняння регресії для визначення витрат на виконання оборотного рейсу у міжнародному сполученні матиме вигляд:

$$C = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2. \quad (6)$$

Для забезпечення ортогональності здійснюється перетворення моделі (5) до виду:

$$y = b_0' + \sum_{i=1}^k b_i \times x_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} \times x_i \times x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} \times x_i', \quad (7)$$

де b_0' – вільний член рівняння;

b_i, b_{ij}, b_{ii} – коефіцієнти (змінні) рівняння;

x_i, x_j, x_i' – кодовані значення факторів та їх похідних.

Вільний член рівняння та коефіцієнти (змінні) розраховуються за виразами:

$$b_0' = \frac{\sum_{u=1}^N m_u \times y_{cp_u}}{\sum_{u=1}^N m_u} = \frac{m \times \sum_{u=1}^N y_{cp_u}}{m \times N} = \frac{\sum_{u=1}^N y_{cp_u}}{N}; \quad (8)$$

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N m_u \times x_{i_u} \times y_{cp_u}}{\sum_{u=1}^N m_u \times x_{i_u}^2} = \frac{m \times \sum_{u=1}^N x_{i_u} \times y_{cp_u}}{m \times \sum_{u=1}^N x_{i_u}^2} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{i_u} \times y_{cp_u}}{\sum_{u=1}^N x_{i_u}^2}; \quad (9)$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^N m_u \times (x_i \times x_j)_u \times y_{cp_u}}{\sum_{u=1}^N m_u \times (x_i \times x_j)_u^2} = \frac{m \times \sum_{u=1}^N (x_i \times x_j)_u \times y_{cp_u}}{m \times \sum_{u=1}^N (x_i \times x_j)_u^2} = \frac{\sum_{u=1}^N (x_i \times x_j)_u \times y_{cp_u}}{\sum_{u=1}^N (x_i \times x_j)_u^2}; \quad (10)$$

$$b_{ii} = \frac{\sum_{u=1}^N m_u \times x_{i_u}' \times y_{cp_u}}{\sum_{u=1}^N m_u \times x_{i_u}'^2} = \frac{m \times \sum_{u=1}^N x_{i_u}' \times y_{cp_u}}{m \times \sum_{u=1}^N x_{i_u}'^2} = \frac{\sum_{u=1}^N x_{i_u}' \times y_{cp_u}}{\sum_{u=1}^N x_{i_u}'^2}; \quad (11)$$

$$x_i' = x_i^2 - \lambda_2, \quad (12)$$

де λ_2 – середній квадрат значень будь-якого фактора.

Середній квадрат значень будь-якого фактора визначається за формулою:

$$\lambda_2 = N^{-1} \times \sum_{u=1}^N x_{i_u}^2. \quad (13)$$

$$\lambda_2 = \frac{(+1)^2 + (-1)^2 + (+1)^2 + (-1)^2 + (+1)^2 + (-1)^2 + (+1)^2 + (-1)^2 + (+1,215)^2 + (-1,215)^2}{15} = \frac{10,95}{15} = 0,73.$$

$$x_i' = x_i^2 - 0,73.$$

Симетричний композиційний ортогональний план другого порядку для трьох факторів з одним дослідом в центрі плану наведено в табл. 6.

Таблиця 6 – Симетричний композиційний ортогональний план другого порядку

	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 \times x_2$	$x_1 \times x_3$	$x_2 \times x_3$	x_1'	x_2'	x_3'
1	1	1	1	1	1	1	1	0,27	0,27	0,27
2	1	-1	1	1	-1	-1	1	0,27	0,27	0,27
3	1	1	-1	1	-1	1	-1	0,27	0,27	0,27

4	1	-1	-1	1	1	-1	-1	0,27	0,27	0,27
5	1	1	1	-1	1	-1	-1	0,27	0,27	0,27
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	0,27	0,27	0,27
7	1	1	-1	-1	-1	-1	1	0,27	0,27	0,27
8	1	-1	-1	-1	1	1	1	0,27	0,27	0,27
9	1	1,215	0	0	0	0	0	0,75	-0,73	-0,73
10	1	-1,215	0	0	0	0	0	0,75	-0,73	-0,73
11	1	0	1,215	0	0	0	0	-0,73	0,75	-0,73
12	1	0	-1,215	0	0	0	0	-0,73	0,75	-0,73
13	1	0	0	1,215	0	0	0	-0,73	-0,73	0,75
14	1	0	0	-1,215	0	0	0	-0,73	-0,73	0,75
15	1	0	0	0	0	0	0	-0,73	-0,73	-0,73

Розраховані значення коефіцієнтів регресії перетвореної моделі наведені в табл. 7.

Таблиця 7 – Коефіцієнти регресії

b_0'	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{11}	b_{22}	b_{33}
88989,72	656,83	1234,21	152,37	0,00	0,00	0,00	-3292,43	2164,86	-2879,82

Значення коефіцієнтів регресії підставляються у рівняння регресії для визначення загальних витрат на виконання оборотного рейсу у міжнародному сполученні (6):

$$C = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2.$$

Отримаємо:

$$C = 88989,72 + 656,83 + 1234,21 + 152,37 + 0 + 0 + 0 + (-3292,43) + 2164,86 + (-2879,82) = 87025,74.$$

Розраховуємо похибку:

$$\Delta = \frac{C(y)_{(+1,+1,+1)} - C}{C(y)_{(+1,+1,+1)}} \times 100 \% ; \quad (14)$$

$$\Delta = \frac{89144,85 - 87025,74}{89144,85} \times 100 = 2,377 \approx 2,4 \%$$

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

З використанням математичного апарату теорії планування експерименту при формуванні плану експерименту, створенні експериментально-статистичної моделі та визначенні вагомості впливу факторів на результуючу величину – загальні витрати на виконання оборотного рейсу доставки вантажів – визначаються фактори, які мають найбільшу вагу. Фактори вибираються із розрахованих для різних умов виконання оборотного рейсу статей витрат, які входять до складу загальних витрат. Умови виконання перевезень можуть розрізнятися способом організації роботи водіїв (турна чи одиночна їзда), використанням різного за витратами палива автотранспортного засобу, умовами страхування вантажу та автотранспортного засобу тощо.

За допомогою теорії планування експерименту можна практично реалізувати дослідний експеримент і визначити впливові та мало впливові на результуючу величину фактори, а кількість дослідів факторного експерименту може приблизно визначати кількість факторів, вплив яких на кінцевий результат буде підлягати дослідженню.

ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

- за допомогою теорії планування експерименту розроблена експериментально-статистична модель для розрахунку загальних витрат на виконання оборотного рейсу доставки вантажів у міжнародному сполученні;
- розраховані значення окремих коефіцієнтів регресії b_1 , b_2 , b_3 , а також їх квадратів b_{11} , b_{22} , b_{33} показують, що найбільшу значущість мають коефіцієнти b_2 і b_{22} , тобто витрати на автомобільне паливо;
- розраховані значення парних коефіцієнтів регресії b_{12} , b_{13} , b_{23} показують, що комбінації досліджуваних факторів суттєво не впливають на значення загальних витрат на виконання оборотного рейсу;
- похибка розрахунку загальних витрат на виконання оборотного рейсу у міжнародному сполученні за експериментально-статистичною моделлю з використанням теорії експерименту не перевищує 2,4 %, що є допустимим при використанні таких моделей.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гришук Ю.С. Основи наукових досліджень: Навч. посібник. / Ю.С. Гришук. – Харків: НТУ «ХПІ», 2008. – 232 с.
2. Аністратенко В.О., Федоров В.Г. Математичне планування експериментів в АПК. / В.О. Аністратенко, В.Г. Федоров. – Київ: Вища школа, 2005. – 375 с.
3. Кислий В.М. Організація наукових досліджень: Навч. посібник. / В.М. Кислий. – Суми: Університетська книга, 2011. – 224 с.
4. Полтавець В.В. Планування і обробка даних наукового експерименту: Конспект лекцій. / В.В. Полтавець. – Донецьк: ДВНЗ ДонНТУ, 2008 – 52 с.
5. Статюха Г.О., Складанний Д.М., Бондаренко О.С. Вступ до планування оптимального експерименту: Навч. посібник. / Г.О. Статюха, Д.М. Складанний, О.С. Бондаренко. – К.: ІВЦ «Політехніка», 2011. – 117 с.
6. Давідіч Ю.О. Конспект лекцій з дисципліни «Моделювання транспортних систем» (для магістрів усіх форм навчання спеціальності 275 – Транспортні технології) / Ю.О. Давідіч, Г.І. Фалецька; Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 71 с.

REFERENCES

1. Hryshchuk Yu.S. Osnovy naukovykh doslidzhen: Navch. posibnyk. / Yu.S. Hryshchuk. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2008. – 232 s.
2. Anistratenko V.O., Fedorov V.G. Matematychnе planuvannia eksperymentiv v APK. / V.O. Anistratenko, V.G. Fedorov. – Kyiv: Vyshcha shkola, 2005. – 375 s.
3. Kyslyi V.M. Orhanizatsiia naukovykh doslidzhen: Navch. posibnyk. / V.M. Kyslyi. – Sumy: Universytetska knyha, 2011. – 224 s.
4. Poltavets V.V. Planuvannia i obrobka danykh naukovogo eksperymentu: Konspekt leksii. / V.V. Poltavets. – Donetsk: DVNZ DonNTU, 2008 – 52 s.
5. Statiukha H.O., Skladannyi D.M., Bondarenko O.S. Vstup do planuvannia optymalnogo eksperymentu: Navch. posibnyk. / G.O. Statiukha, D.M. Skladannyi, O.S. Bondarenko. – K.: IVTs «Politekhnik», 2011. – 117 s.
6. Davidich Yu.O. Konspekt leksii z dystsypliny «Modeliuvannia transportnykh system» (dlia mahistriv usikh form navchannia spetsialnosti 275 – Transportni tekhnolohii) / Yu.O. Davidich, H.I. Faletska; Kharkiv. nats. un-t. misk. hosp-va im. O. M. Beketova. – Kharkiv: KhNUMH im. O. M. Beketova, 2019. – 71 s.

V. Sakhno, S. Sharai, I. Murovani, V. Polyakov. Investigations of factors influence on the total costs of the implementation of turnaround flight in international transportation with using mathematical theory of experiment.

The paper considers the issues of the impact of different items of total costs (factors) on the amount of such total costs in the implementation of a return flight of the delivery of goods by road in international traffic.

To develop the measures to improve the efficiency of the process of transportation of goods in international traffic and reduce the total cost of its implementation, it is necessary to analyze the cost items

that are the part of the total costs. To study the impact of separate items of total costs on the implementation of cargo transportation in international traffic, it is proposed to use effective methods of practical realization of a systematic approach - the methods of mathematical theory of experiment or experiment planning. Thus the decision of a problem of research of influence of separate articles of expenses (factors of influence) on the size of the total costs is carried out on the basis of formation of the plan of experiment and creation of experimental-statistical model/

As a result of calculations of regression coefficients according to the developed model of total costs for the implementation of a return flight in international traffic and their analysis, conclusions were made about the significance of the coefficients that have the greatest impact on total costs and identified the items of costs (investigated factors of influence), which have the greatest influence on the formation of total costs.

Keywords: total costs, cost item, international cargo transportation, return flight, influencing factor, theory of planning of experiment.

САХНО Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобілів Національного транспортного університету, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua. <https://orcid.org/0000-0002-5144-7131>

ШАРАЙ Світлана Михайлівна, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри міжнародних перевезень та митного контролю Національного транспортного університету, e-mail: Svetasharai@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0001-6568-4990>

МУРОВАНІЙ 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>

ПОЛЯКОВ Віктор Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри автомобілів Національного транспортного університету, e-mail: poljakov_2006@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-7042-3066>

Volodymyr SAKHNO, Doctor of Science in Engineering, Professor, Head of Automobiles Department, National Transport University, e-mail: sakhno@ntu.edu.ua. <https://orcid.org/0000-0002-5144-7131>

Svitlana SHARAI, PhD. in Engineering, Associate Professor, Professor, Department of International Transport and Customs Control, National Transport University, e-mail: Svetasharai@gmail.com <http://orcid.org/0000-0001-6568-4990>

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>

Victor POLYAKOV, Ph.D., associate professor, professor of «Automobiles», National Transport University, e-mail: poljakov_2006@ukr.net. <https://orcid.org/0000-0001-7042-3066>.

DOI 10.36910/automash.v1i16.518

Хаврук В.О.

*Національний транспортний університет, Київ, Україна***ВПЛИВ ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ НА ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ**

У роботі розглядаються комплексні показники, за якими оцінюється ефективність експлуатації рухомого складу – вантажних автомобілів: продуктивність, собівартість перевезень, коефіцієнт технічної готовності. З'ясовано, що продуктивність визначається за певний період часу – розрізняють годинну, добову, місячну, квартальну, річну продуктивності. Наведені формули для визначення річної продуктивності враховують конструкцію, простої автомобіля в ремонтах і технічних обслуговуваннях. На основі аналізу встановлено, що річна продуктивність вантажних автомобілів залежить від техніко-експлуатаційних властивостей, які включають дві групи параметрів: 1) пов'язані з конструкцією автомобіля (середня технічна швидкість, вантажопідйомність); 2) не пов'язані з конструкцією автомобіля (кількість днів роботи в році, час знаходження автомобіля в наряді в добу, середня довжина їзди з вантажем, коефіцієнт використання пробігу). Досліджено вплив вантажопідйомності автомобіля на продуктивність і доведено, що продуктивність зростає з підвищення вантажопідйомності автомобіля і зменшується зі збільшенням відстані їзди з вантажем. На основі залежності собівартості транспортування вантажу для автомобілів самоскидів і вантажівок загального призначення показано, що із збільшенням вантажопідйомності автомобіля собівартість знижується. Обгрунтовано доцільність використання на коротких відстанях малотоннажних автомобілів, оскільки за таких умов спрощуються процеси навантаження і розвантаження, маневрування автомобілів, як результат знижуються витрати на паливо-мастильні матеріали, навантажувально-розвантажувальні роботи. Аналіз цієї залежності дозволив встановити, що на коротких відстанях використання малотоннажних автомобілів вигідніше, оскільки спрощуються умови вантаження і розвантаження, спрощується маневрування автомобілів, а отже знижуються витрати на паливо, навантажувально-розвантажувальні роботи. Але ця залежність була отримана для специфічних умов експлуатації при організації роботи автотранспорту на відкритих розробках. Можливість повного використання вантажопідйомності автомобіля охарактеризовано за допомогою коефіцієнта використання вантажопідйомності. Встановлено, що між продуктивністю і коефіцієнтом використання вантажопідйомності існує пряма пропорційна залежність, при цьому, конструктивні особливості автомобіля характеризуються трьома експлуатаційними властивостями: швидкість руху, прохідність і надійність автомобіля. З'ясована залежність продуктивності деяких вантажних автомобілів і собівартості транспортування вантажу від середньої технічної швидкості. Коефіцієнт технічної готовності переставлений як комплексний показник, який характеризує такі властивості надійності, як: безвідмовність, ремонтпридатність і довговічність та враховує простої в усіх видах технічного обслуговування і ремонтах. З'ясовано, що між продуктивністю на певному пробігу і собівартістю перевезень існує прямо пропорційний зв'язок – чим вища продуктивність тим нижча собівартість перевезень і навпаки.

Ключові слова: вантажний автомобіль, коефіцієнт технічної готовності, продуктивність, простий, рухомий склад, собівартість перевезень, техніко-експлуатаційні властивості.

ВСТУП

Ефективність експлуатації автомобілів при здійсненні вантажних комерційних перевезень для власника рухомого складу (РС) в кінцевому підсумку визначається отриманням якомога більшого прибутку. Величина, отриманого прибутку, залежить від ефективності використання автомобілів і собівартості перевезення вантажу, що в свою чергу залежать від величини експлуатаційних витрат. Таким чином, техніко-експлуатаційні властивості РС мають безпосередній вплив на показники ефективності експлуатації.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Проблема підвищення ефективності експлуатації автомобілів є досить важливою, яку досліджують, зокрема, такі науковці, як: Бачурин О.О., Бичков В.П., Бочкарьова М.М., Гудков В.О., Мигачов В.А., Пеньшин Н.В., Резник Л.Г., Фасхiev А.Х.

В роботах авторів, дослідження проблеми підвищення ефективності експлуатації автомобілів здійснюється або через аналіз і розрахунок загальних показників виробничо-господарської діяльності автопідприємства [1; 2], або через кількісну оцінку якості транспортних послуг [3; 4]. Більш послідовне і комплексне дослідження проблеми ефективності експлуатації РС на прикладі вантажних автомобілів здійснив в дисертаційній роботі Мигачов В.А. [5], розглянувши як загальні фактори і тенденції, які впливають на експлуатацію вантажних автомобілів, так і обгрунтувавши показники, за якими доцільно здійснювати оцінку ефективності експлуатації безпосередньо на автопідприємствах з наявними РС.

Нині в Україні парк вантажних автомобілів комерційного призначення оновлюється за рахунок сучасних моделей ближнього зарубіжжя (ГАЗ, МАЗ, КамАЗ) та відомих виробників вантажівок (DAF, Iveco, MAN, Mercedes, Scania, Volvo та ін.). При цьому власники автотранспортних підприємств здійснюють вибір автомобілів, орієнтуючись на престиж марки, наявність тих або інших моделей на ринку, їх вартість і т.д. Але в процесі експлуатації виявляється, що придбаний автомобіль має великі в порівнянні з конкурентами експлуатаційні витрати, хоча і відповідає вимогам технологічного процесу перевезень. У більшості випадків це пов'язано або з відмовами автомобілів або з високою вартістю запасних частин, витратних і мастильних матеріалів. За таких умов, для суб'єктів підприємницької діяльності, які надають послуги з перевезення вантажів, актуальним питанням є аналіз та оцінка ефективності використання (експлуатації) наявного РС.

Крім того, беручи до уваги, що існує багато методів оцінки ефективності експлуатації РС, постає необхідність у додатковому дослідженні даної проблематики, зокрема в обґрунтуванні показників, за якими можливо здійснити оцінку ефективності експлуатації РС на автотранспортному підприємстві.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основною метою дослідження є з'ясування основних техніко-експлуатаційних властивостей (ТЕВ) вантажних автомобілів, які впливають на показники ефективності експлуатації, а також встановити взаємозв'язок між ними.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Основними показниками ефективності експлуатації вантажних автомобілів є: продуктивність, собівартість перевезень, коефіцієнт технічної готовності.

Розглянемо формули річної продуктивності, оскільки в них враховуються залежності від конструкції простої автомобіля в ремонтах і технічних обслуговуваннях (ТО), які у формулах годинної або добової продуктивності відсутні. Для вантажних автомобілів залежність має наступний вигляд [5, с. 25; 6]:

$$W_B = \frac{q \cdot \gamma \cdot \beta \cdot v_T \cdot T \cdot D \cdot \alpha}{l + \beta \cdot v_T \cdot t_{\text{пр}}}, \quad (1)$$

де v_T – середня технічна швидкість, км/год.;

q – вантажопідйомність, т;

γ – коефіцієнт використання вантажопідйомності;

l – середня довжина їзди з вантажем, км;

β – коефіцієнт використання пробігу;

$t_{\text{пр}}$ – час простою під завантаженням і вивантаженням за одну їзду, год.;

T – час роботи в добу, год.;

D – кількість днів роботи в році;

α – коефіцієнт використання автомобіля за рік.

Залежність (1) дозволяє встановити взаємозв'язок між конструктивними особливостями і продуктивністю автомобіля, який характеризується окремими техніко-експлуатаційними властивостями. Тут можуть бути виділені параметри, не пов'язані з конструкцією автомобіля. До них відносяться: кількість днів роботи в році D ; час знаходження автомобіля в наряді в добу T ; середня довжина їзди з вантажем l ; коефіцієнт використання пробігу β . Ці параметри можна виділити в постійні величини, позначивши їх через a з відповідним індексом (a_B). Тоді функціональну залежність продуктивності від параметрів, які визначаються конструкцією автомобіля, можна виразити в наступному загальному вигляді [5, с. 26]:

$$W_B = a_B \cdot f(q, \gamma, v_T, t_{\text{пр}}, \alpha) \quad (2)$$

Усі параметри в дужках залежності (2) в тій чи іншій мірі залежать від конструкції автомобіля. Для кожного з них можна встановити техніко-експлуатаційні властивості, що дозволяють оцінювати особливості конструкції автомобіля, що впливають на ефективність його експлуатації.

Вантажопідйомність автомобіля визначається конструктивною розмірністю і міцністю основних вузлів, що несуть, і агрегатів його шасі: рами мостів, підвіски, коліс, шин та ін. При обмеженні дорожніми нормами повної маси автомобіля вантажопідйомність залежить від власної його маси: чим вона менша, тим відповідно більше вантажопідйомність. Вплив вантажопідйомності автомобіля на продуктивність (рис. 1) показує, що продуктивність зростає з підвищення вантажопідйомності автомобіля і зменшується зі збільшенням відстані їзди з вантажем [7].

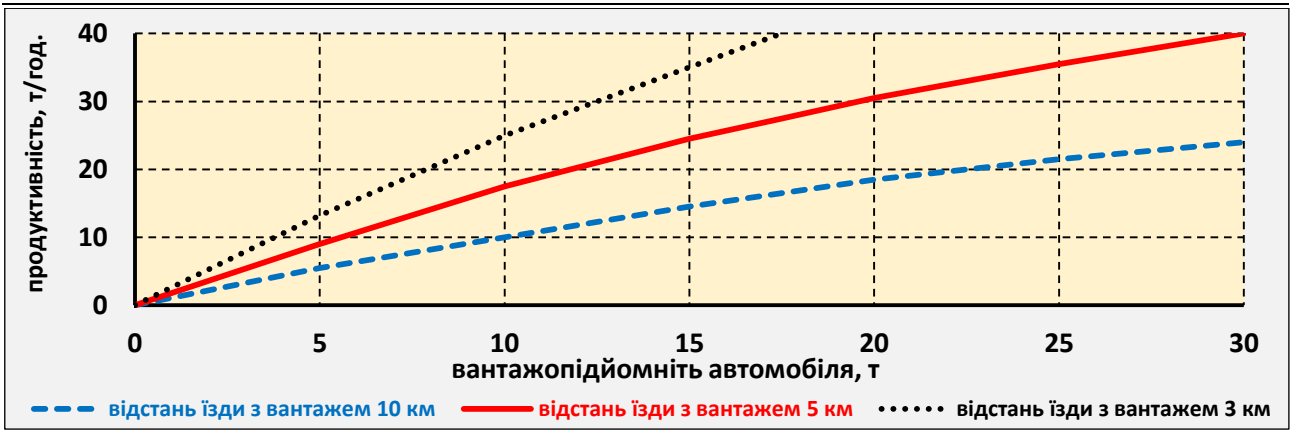


Рисунок 1 – Залежність продуктивності автомобіля від вантажопідйомності

Але з підвищенням вантажопідйомності автомобіля підвищується абсолютна металоємність перевезень, витрата палива (оскільки зростає потужність двигуна), збільшується навантаження на дорожнє полотно і т.д. Але встановлені залежності собівартості транспортування вантажу для автомобілів самоскидів і вантажівок загального призначення рис. 2, рис. 3) показують, що із збільшенням вантажопідйомності автомобіля собівартість знижується [7].

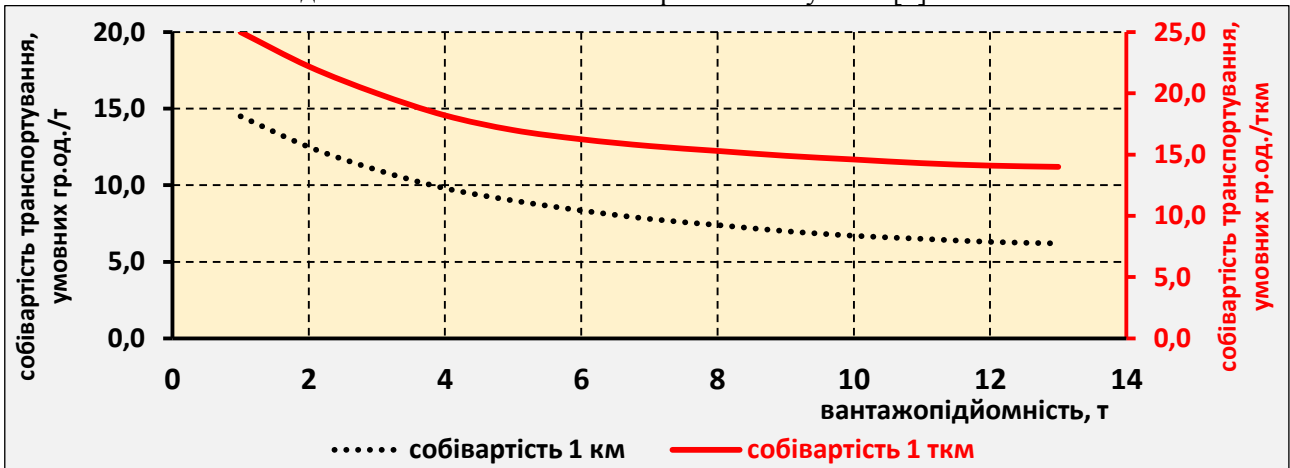


Рисунок 2 – Залежність собівартості транспортування в залежності від вантажопідйомності автомобілів-самоскидів

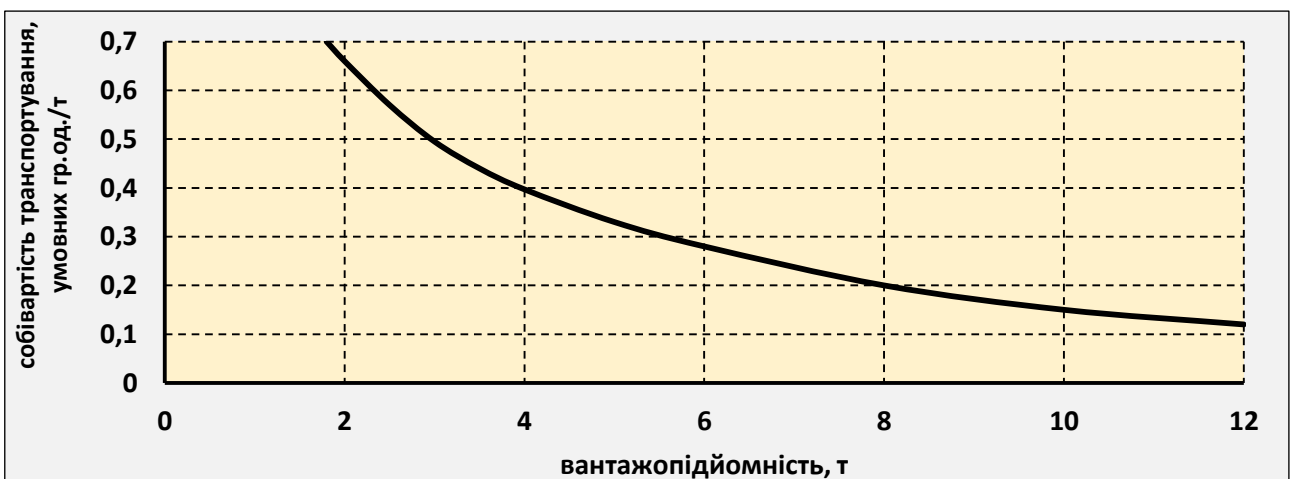


Рисунок 3 – Залежність собівартості транспортування від вантажопідйомності вантажних автомобілів загального призначення

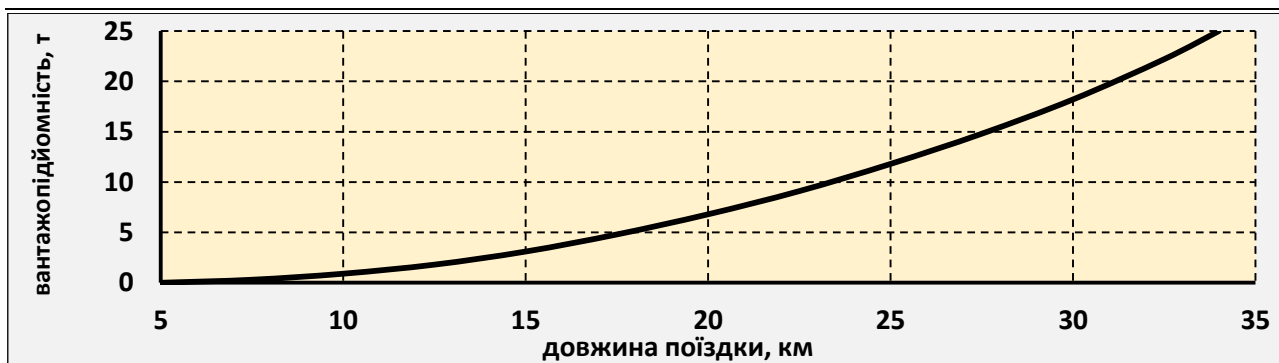


Рисунок 4 – Залежність вантажопідйомності автомобілів-самоскидів від відстані перевезень

Виконані розрахунки за порівняльною економічною оцінкою застосування різних видів транспорту дозволили встановити залежність раціональної вантажопідйомності автомобілів самоскидів від відстані поїздки з вантажем (рис. 4). Аналіз цієї залежності дозволив встановити, що на коротких відстанях використання малотоннажних автомобілів вигідніше, оскільки спрощуються умови навантаження і розвантаження, спрощується маневрування автомобілів, а отже знижуються витрати на паливо, навантажувально-розвантажувальні роботи. Але ця залежність була отримана для специфічних умов експлуатації при організації роботи автотранспорту на відкритих розробках. Застосування її для аналізу роботи вантажних автомобілів для дальніх поїздок неприйнятне.

Можливість повністю використати вантажопідйомність автомобіля залежить від внутрішніх розмірів кузова і об'ємної маси вантажу. Це потребує врахування другого параметра у формулі продуктивності – коефіцієнта використання вантажопідйомності γ . Величина його може залежати не лише від розмірів кузова, але в деяких випадках від інших особливостей його конструкції. Залежність продуктивності вантажного автомобіля від коефіцієнта використання вантажопідйомності представлена на рис. 5 [7].



Рисунок 5 – Залежність продуктивності автомобіля від коефіцієнта використання вантажопідйомності

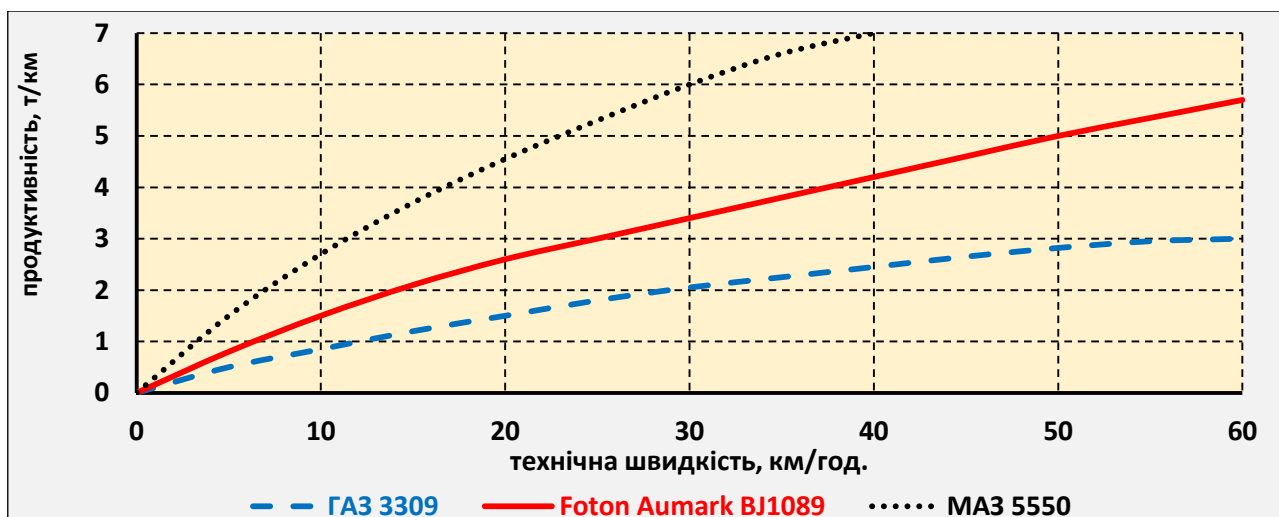


Рисунок 6 – Залежність продуктивності деяких автомобілів від технічної швидкості

Як видно з рис. 5 продуктивність пропорційно залежить від коефіцієнта використання вантажопідйомності, отже на цей показник не впливають інші змінні величини у формулі (2). Вантажопідйомність автомобіля у поєднанні з можливим коефіцієнтом використання при перевезенні вантажу, що визначається об'ємною масою і характеризується експлуатаційною якістю, називається місткістю автомобіля. Залежність продуктивності деяких вантажних автомобілів і собівартості транспортування вантажу від середньої технічної швидкості (v_T) представлена на рис. 6, рис. 7.

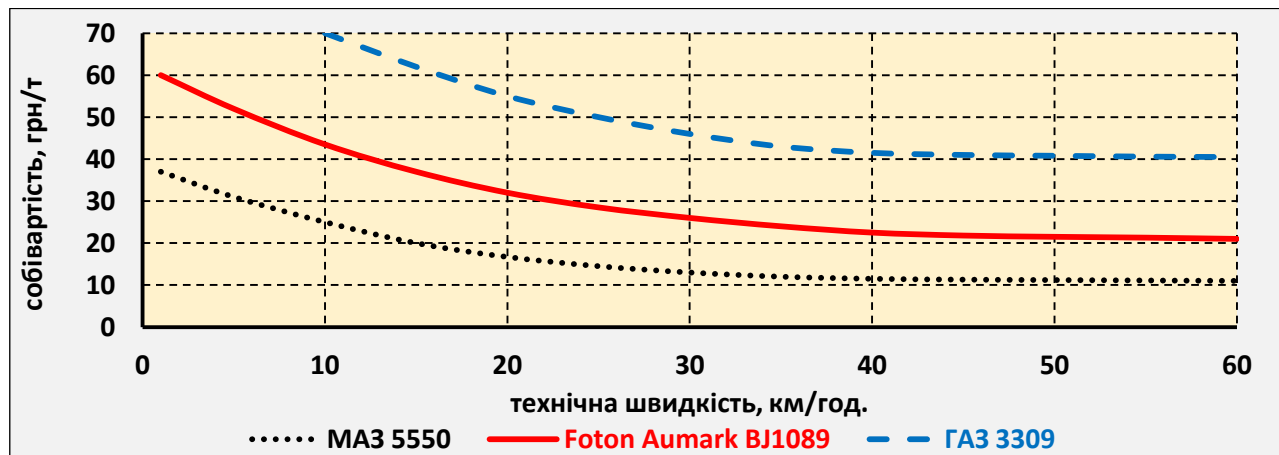


Рисунок 7 – Залежність собівартості транспортування вантажу від технічної швидкості

Технічна швидкість визначається як шлях, пройдений автомобілем за сумарний час руху і простоїв на лінії через несправності автомобіля і їх усунення [6; 7]. Тому вона безпосередньо залежить від міцності і надійності деталей основних вузлів автомобіля, пускових якостей двигуна, безвідмовності систем і механізмів автомобіля. Це багато в чому визначається конструкцією автомобіля і здатністю автотранспортного підприємства підтримувати його в працездатному стані [8; 9].

Таким чином, технічна швидкість падає зі зниженням надійності автомобіля і його агрегатів, отже, знижується продуктивність, а собівартість транспортування підвищується. Надійність автомобілів багато в чому залежить від режимів його роботи. Технічна швидкість автомобіля також залежить: від потужності двигуна, повної маси автомобіля, передаточного числа трансмісії, її коефіцієнта корисної дії, радіусу кочення ведучих коліс, величини опору коченню автомобіля і аеродинамічного опору руху. Середня технічна швидкість залежить від роботи гальмівних механізмів автомобіля і параметрів, що визначають його стійкість і керованість, оглядовість дороги в денний і нічний час, а також параметрів підвіски, маневреності і ряду інших особливостей конструкції. Наприклад, встановлена залежність середньотехнічної швидкості від типу покриття (табл. 1) [9].

Таблиця 1 – Вплив типу покриття на середньотехнічну швидкість автомобіля [9]

Параметр	Тип дорожнього покриття				
	Цементобетон, асфальтобетон	Бітумно-мінеральні суміші	Щебінь, гравій	Кругляк, ґрунт укріплений	Звичайний ґрунт
Коефіцієнт опору	0,014	0,020	0,032	0,040	0,080
Середньотехнічна швидкість	66	56	36	27	20

Отже, чим більшу надійність, довговічність шин, ремонтпридатність в дорожніх умовах, запас потужності двигуна і кращу прохідність має автомобіль, тим більшу технічну швидкість він матиме при транспортуванні вантажів, а отже і більшу продуктивність.

Таким чином, проаналізовані конструктивні особливості автомобіля характеризуються наступними трьома експлуатаційними властивостями: швидкість руху, прохідність і надійність автомобіля.

Час простою під вантаженням і вивантаженням $t_{\text{ПР}}$ може залежати від конструкції кузова, навантажувальної висоти кузова, конструкції бортів або у випадку кузова-фургона від розмірів дверей, їх розташування, наявності і ефективності дії різних механізмів і спеціальних пристроїв для

полегшення вантаження і вивантаження (пристроїв самоскидів, навантажувачів та ін.). Продуктивність вантажного автомобіля від часу навантаження-розвантаження представлена на рис. 8 [9].

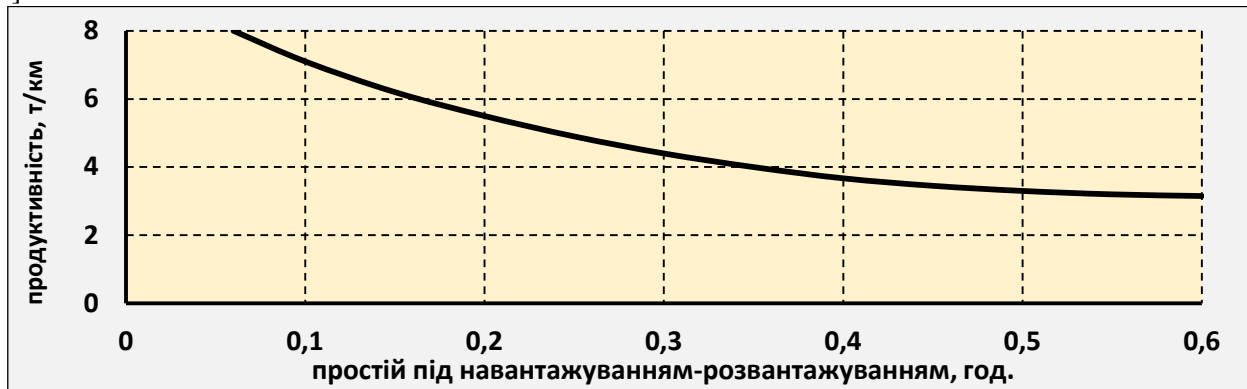


Рисунок 8 – Залежність продуктивності автомобіля від часу навантаження-розвантаження

Цей час також залежить від маневреності автомобіля, що характеризується мінімальним радіусом повороту, габаритним коридором, простотою керування при русі заднім ходом. Вказані особливості конструкції автомобіля характеризуються експлуатаційною якістю, що називається зручністю використання автомобіля.

Коефіцієнт технічної готовності α_T характеризує такі властивості надійності, як: безвідмовність, ремонтпридатність і довговічність. В цьому випадку, чим менше відмов у автомобілів, тим нижча трудомісткість обслуговування і ремонту, вищий середній ресурс автомобіля до ремонту, тим вищий α_T за інших рівних умов. Вплив показників надійності на α_T і продуктивність автомобіля має наступну логічну послідовність [5, с. 33]:

$$(\Delta L_{\text{ПП}}, \Delta t_{\text{ПП}}) \rightarrow \Delta B_p \rightarrow \Delta \alpha_T \rightarrow \Delta \alpha_B \rightarrow \Delta W, \quad (3)$$

де $\Delta L_{\text{ПП}}$ – зміна середнього напрацювання на відмову, км;

$\Delta t_{\text{ПП}}$ – зміна тривалості простою в робочий час автомобіля, год.;

ΔB_p – зміна питомих простоїв з втратою робочого часу за цикл автомобіля в усіх видах ТО і ремонту, днів/1000 км;

$\Delta \alpha_B$ – зміна коефіцієнта випуску автомобілів;

ΔW – зміна продуктивності автомобілів, ткм.

Встановлений взаємозв'язок α_T з конкретними показниками надійності автомобілів, тобто з напрацюванням на випадок простою $L_{\text{ПП}i}$ і тривалості простою $t_{\text{ПП}i}$ [5, с. 34; 8]:

$$\alpha_T = \frac{1}{1 + l_{\text{CC}} \cdot \frac{\bar{t}_{\text{ПП}}}{L_{\text{ПП}}}} = \frac{1}{1 + l_{\text{CC}} \cdot B_p} - \frac{1}{1 + l_{\text{CC}} \cdot \bar{t}_{\text{ПП}} \cdot \omega_{\text{ПП}}}, \quad (4)$$

де $\omega_{\text{ПП}}$ – параметр потоку відмов, що викликали простій автомобіля з втратою робочого часу;

$\bar{t}_{\text{ПП}}$ – середня тривалість простою в робочий час автомобіля, год.;

B_p – питомі простої з втратою робочого часу за цикл автомобіля в усіх видах ТО і ремонтах, днів/1000 км;

l_{CC} – середньодобовий пробіг, що характеризує умови та інтенсивність експлуатації автомобілів, км.

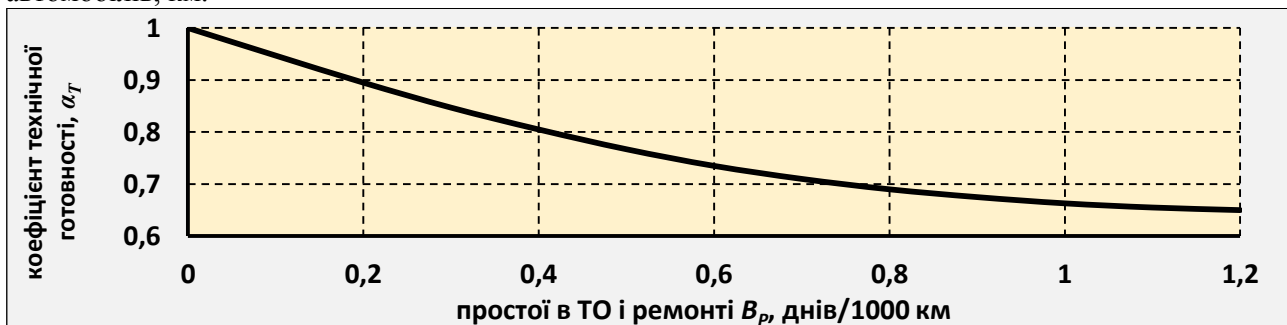


Рисунок 9 – Вплив простоїв в ТО і ремонті на коефіцієнт технічної готовності

Середня тривалість простою в робочий час автомобіля $\bar{t}_{пр}$ (коли усувається відмова або несправність) характеризує рівень технології і організації виробництва, а також пристосованість автомобіля і його агрегатів до ТО і ремонту, тобто експлуатаційну технологічність. Залежність тривалості простою в ТО і ремонті на величину α_T представлена на рис. 9 [9].

Середнє напрацювання на відмову визначається надійністю автомобіля, умовами експлуатації, а також якістю проведення ТО і ремонту.

Системний зв'язок вказаних властивостей з розглянутими показниками ефективності експлуатації автомобілів дає змогу стверджувати, що на продуктивність автомобіля впливають його конструктивні особливості. Це пояснюється пристосованістю конструкції до перевезення певного виду вантажу максимально можливої маси (формула 1). Надійність автомобіля визначає його работоздатність, тобто саму можливість здійснення перевезень, таким чином, впливає на продуктивність. Експлуатаційна технологічність визначає час виконання робіт з ТО і ремонту а, отже, час вилучення автомобіля з лінії, що впливає на його продуктивність. Динамічність, стійкість, маневреність, легкість керування і комфортабельність автомобіля визначають величину часу навантаження-розвантаження і середньотехнічну швидкість, від яких залежить продуктивність автомобіля.

Оскільки собівартість перевезень вимірюється в питомих одиницях до обсягу виконаної транспортної роботи (грн/ткм), то тип і надійність автомобіля, безпосередньо впливають на собівартість перевезень. Чим вища продуктивність на певному пробігу, тим нижча собівартість перевезень. Експлуатаційна технологічність визначає трудомісткість підтримки автомобілів в працездатному стані, а, отже, величину витрат на заробітну плату ремонтного персоналу, що у свою чергу впливає на собівартість перевезень. Паливна економічність і ресурсомісткість визначають величину грошових витрат на паливо, мастильні та інші експлуатаційні матеріали, ремонт автомобільних шин, на запасні частини і матеріали. Ці витрати є статтями собівартості перевезень, а значить безпосередньо впливають на її величину.

Тип автомобіля визначає періодичність ТО і його трудомісткість, а отже впливає на величину простоїв і коефіцієнт технічної готовності. Надійність і експлуатаційна технологічність визначають кількість відмов і тривалість відновлення работоздатного стану, що також впливає на час вилучення автомобіля з лінії у разі відмови і відповідно на коефіцієнт технічної готовності.

Динамічність впливає на режими руху автомобіля з підсиленням яких знижується періодичність ТО і напрацювань на відмову, а значить знижується коефіцієнт технічної готовності. Із збільшенням ресурсомісткості збільшується витрата запасних частин і трудомісткість ТО і ремонт. При цьому збільшується час очікування запасних частин і матеріалів, що призводить до збільшення простоїв в ТО і ремонті і знижується коефіцієнт технічної готовності.

Оскільки собівартість перевезень вимірюється в питомих одиницях до обсягу виконаної транспортної роботи (грн/ткм), то тип і надійність автомобіля, безпосередньо впливають на собівартість перевезень. Чим вища продуктивність на певному пробігу, тим нижча собівартість перевезень. Експлуатаційна технологічність визначає трудомісткість підтримку автомобілів в працездатному стані, а, отже, величину витрат на заробітну плату ремонтного персоналу, що у свою чергу впливає на собівартість перевезень. Паливна економічність і ресурсомісткість визначають величину грошових витрат на паливо, мастильні та інші експлуатаційні матеріали, ремонт автомобільних шин, на запасні частини і матеріали. Ці витрати є статтями собівартості перевезень, а значить безпосередньо впливають на її величину.

Тип автомобіля визначає періодичність ТО і його трудомісткість, а отже впливає на величину простоїв і коефіцієнт технічної готовності. Надійність і експлуатаційна технологічність визначають кількість відмов і тривалість відновлення работоздатного стану, що також впливає на тривалість вилучення автомобіля з лінії у разі відмови і відповідно на коефіцієнт технічної готовності.

Динамічність впливає на режими руху автомобіля з підсиленням яких знижується періодичність ТО і напрацювань на відмову, а значить знижується коефіцієнт технічної готовності. Із збільшенням ресурсомісткості збільшується витрата запасних частин і трудомісткість ТО і ремонт. При цьому збільшується час очікування запасних частин і матеріалів, що призводить до збільшення простоїв в ТО і ремонті і знижується коефіцієнт технічної готовності.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Отже, такі ТЕВ, як швидкість руху, прохідність і надійність автомобіля визначаються конструктивними особливостями та умовами експлуатації або режимом використання конкретних

марок РС. Коефіцієнт технічної готовності α_T є показником, за яким характеризуються такі властивості надійності, як: безвідмовність, ремонтпридатність і довговічність.

Встановлено, що між всіма ТЕВ є взаємозв'язок і чітко відокремити їх не видається можливим. Так, якщо взяти такий показник як надійність, то він буде різним для кожного, оремо взятого, компонента автомобіля – неможливо спрогнозувати в який саме період часу виникне несправність того чи іншого вузла або агрегата, при цьому не всі несправності призводять до повної зупинки автомобіля, отже, за таких умов, наприклад, технічна швидкість може змінюватися, а на останню, крім того, впливають дорожні умови, інтенсивність руху і т.д. Однозначно можна стверджувати, що між такими показниками ефективності експлуатації як продуктивність на певному пробігу і собівартість перевезень існує прямий зв'язок – чим вища продуктивність на певному пробігу, тим нижча собівартість перевезень і навпаки.

ВИСНОВКИ

Розглянуті ТЕВ можливо структурувати в наступні групи: тип автомобіля; надійність автомобіля; експлуатаційна технологічність; динамічність; стійкість; маневреність; прохідність; паливна економічність; ресурсоемність; легкість керування; комфортабельність.

Таким чином, проведений аналіз дозволив встановити вплив ТЕВ автомобілів на основні показники ефективності експлуатації (продуктивність вантажних автомобілів, собівартість перевезень, коефіцієнт технічної готовності).

Всі встановлені ТЕВ є необхідними для оцінки ефективності експлуатації автомобіля.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Бачурин А.А. Анализ производственно-хозяйственной деятельности автотранспортных организаций : учеб. пособие. Москва : Академия, 2004. 387 с.
2. Бычков В.П. Экономика автотранспортного предприятия : учебник. Москва : Инфра-М, 2006. 381 с.
3. Бочкарева М.М., Гудков В.А., Дулина Н.В. Количественная оценка качества транспортных услуг. *Автотранспортное предприятие*. Москва, 2007. №12. С. 49–53.
4. Пенынин Н.В. Эффективность и качество как фактор конкурентоспособности услуг на автомобильном транспорте : монография / под ред. В.П. Быčkova. Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. 224 с.
5. Мигачев В.А. Повышение эффективности использования грузовых автомобилей на основе выбора наиболее рационального парка подвижного состава : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. Пенза, Ульяновск, 2012. 137 с.
6. Горев А.Э. Грузовые автомобильные перевозки : учеб. пособие. Москва : Изд. центр «Академия», 2004. 288 с.
7. Грузовые автомобильные перевозки : учебник / А.В. Вельможин и др. Москва : Горячая линия-Телеком, 2019. 560 с.
8. Хасанов Р.Х. Основы технической эксплуатации автомобилей : учеб. пособие. Оренбург : ГОУ ОГУ, 2003. 193 с.
9. Техническая эксплуатация автомобилей : учебник для вузов / Е.С. Кузнецов и др. Москва : Наука, 2001. 535 с.

REFERENCES

1. Bachurin A.A. (2004). *Analysis of production and economic activities of motor transport organizations*. [Analiz proizvodstvenno-hozjajstvennoj dejatel'nosti avtotransportnyh organizacij. Uchebnoye posobiye] Moscow, Akademija Publ. 387 p.
2. Bychkov V.P. (2006). *The economics of a trucking company*. [Jekonomika avtotransportnogo predpriyatija. Uchebnik] Moscow, Infra-M Publ. 381 p.
3. Bochkareva M.M., Gudkov V.A., Dulina N.V. (2007). Quantitative assessment of the quality of transport services. [Kolichestvennaja otsenka kachestva transportnyh uslug]. «Motor transport enterprise». No. 12, Moscow Publ. pp. 49–53.
4. Penynin N.V. (2008). Efficiency and quality as a factor in the competitiveness of road transport services. [Jeffektivnost i kachestvo kak faktor konkurentosposobnosti uslug na avtomobilnom transporte. Monografija] za red. V.P. Bychkov. Tambov, Tambov State Technical University Publ. 224 p.
5. Migachev V.A. (2012). Increasing the efficiency of the use of trucks based on the selection of the most rational fleet of rolling stock. Doct. Diss. [Povyshenie jeffektivnosti ispol'zovanija gruzovyh

avtomobilej na osnove vybora naibolee racional'nogo parka podvizhnogo sostava. Dokt, Diss.] Penza, Uljanovsk. 137 p.

6. Gorev A.Je. (2004). Freight road transport. [Gruzovye avtomobilnye perevozki. Uchebnoye posobiye] Moscow, Akademija Publ. 288 p.

7. Velmozhin A.V., Gudkov V.A., Mirotin L.B., Kulikov A.V. (2019). Freight road transport. [Gruzovye avtomobilnye perevozki. Uchebnoye posobiye] Moscow, Gorjachaja linija-Telekom Publ. 560 p.

8. Khasanov R.Kh. (2003). Basics of technical operation of cars. [Osnovy tehničeskoj jekspluatacii avtomobilej. Uchebnoye posobiye] Orenburg, Orenburg State University Publ. 193 p.

9. Technical maintenance of cars (2001). [Tehničeskaja jekspluatacija avtomobilej. Uchebnik] E.S. Kuznetsov & et al. Moscow, Nauka Publ. 535 p.

V. Khavruk. Influence of technical and operating properties of trucks on exploitation efficiency indicators.

The paper considers complex indicators, which assess the efficiency of operation of rolling stock trucks: productivity, cost of transportation, the coefficient of technical readiness. It was found that productivity is determined over a period of time there are hourly, daily, monthly, quarterly, annual productivity. The given formulas for definition of annual productivity consider a design, idle time of the car in repairs and maintenance. Based on the analysis, it is established that the annual productivity of trucks depends on the technical and operational properties, which include two groups of parameters: 1) related to the design of the car (average technical speed, load capacity); 2) not related to the design of the car (the number of working days per year, the time the car is in gear per day, the average length of driving with the load, the mileage utilization rate). The influence of car carrying capacity on productivity is investigated and it is proved that productivity increases with increase of loading capacity of the car and decreases with increase in distance of driving with cargo. Based on the dependence of the cost of transporting cargo for dump trucks and general-purpose trucks, it is shown that with increasing load capacity of the car, the cost decreases. The expediency of using low-tonnage cars over short distances is substantiated, as under such conditions the processes of loading and unloading, maneuvering of cars are simplified, as a result the costs for fuels and lubricants, loading and unloading works are reduced. The analysis of this dependence allowed to establish that on short distances use of low-tonnage cars is more favorable as conditions of loading and unloading are simplified, maneuvering of cars is simplified, and consequently expenses for fuel, loading and unloading works decrease. But this dependence was obtained for specific operating conditions when organizing the work of vehicles on opencast development. The possibility of full use of the car's load capacity is characterized by the load capacity utilization factor. It is established that between productivity and capacity utilization factor there is a direct proportional dependence, thus, design features of the car are characterized by three operational properties: speed of movement, passability and reliability of the car. The dependence of the productivity of some trucks and the cost of transportation of goods on the average technical speed. The coefficient of technical readiness is rearranged as a comprehensive indicator that characterizes such reliability properties as: reliability, maintainability and durability and takes into account downtime in all types of maintenance and repairs. found that there is a directly proportional relationship between productivity on a certain mileage and the cost of transportation the higher the productivity, the lower the cost of transportation and vice versa.

Keywords: truck, coefficient of technical readiness, productivity, simple, rolling stock, cost of transportation, technical and operational properties.

ХАВРУК Володимир Олександрович, асистент кафедри технічної експлуатації автомобілів та автосервісу, Національний транспортний університет, e-mail: khavruk@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-4686-4109>.

Volodymyr KHAVRUK, Assistant of Motor Vehicle Maintenance and Service Department, Kyiv National Transport University, e-mail: khavruk@gmail.com. <http://orcid.org/0000-0002-4686-4109>.

DOI 10.36910/automash.v1i16.519

ПЕРЕЛІК РЕЦЕНЗЕТІВ

Бартоломейчик Миколай, доктор інженерії, Політехніка Гданська (Польща).

Грабовець Віталій Валерійович, к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького НТУ.

Дембіцький Валерій Миколайович, к.т.н., доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького НТУ.

Дударєв Ігор Миколайович, д.т.н., професор, професор кафедри технологій і обладнання переробних виробництв Луцького НТУ.

Захарчук Віктор Іванович, д.т.н., професор, професор кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького НТУ.

Кравченко Олександр Петрович, доктор технічних наук, професор, Житомирський державний технологічний університет, завідувач кафедрою автомобілів і транспортних технологій

Матейчик Василь Петрович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, декан автомеханічного факультету Національного транспортного університету, Київ, Україна.

Мурований Ігор Сергійович, к.т.н., доцент, завідувач кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького НТУ.

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 інженерної та комп'ютерної графіки Луцького НТУ.

Самостян Віктор Русланович, к.т.н., доцент, доцент кафедри інженерної та комп'ютерної графіки Луцького НТУ.

Самчук Володимир Петрович, к.т.н., доцент, доцент кафедри будівництва та цивільної інженерії Луцького НТУ.

Сахно Володимир Прохорович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Автомобілі», Національний транспортний університет, Київ, Україна.

Сітовський Олег Пилипович, к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького НТУ.

Стельмашук Валерій Віталійович, к.т.н., доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького НТУ

Таран Ігор Олександрович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Управління на транспорті», НТУ «Дніпровська політехніка».

Толстущко Микола Миколайович, к.т.н., доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування та

LIST REVIEWERS

Nikolai Bartolomeychyk, Doctor of Engineering, Gdansk Polytechnic (Poland).

Vitaliy Grabovets - Ph.D., Associate Professor, Department of Automobiles and Transport Technologies of Lutsk NTU.

Valery Dembitsky, Ph.D., Associate Professor, Department of Automobiles and Transport Technologies of Lutsk NTU.

Igor Dudarev, Doctor of Science (Engineering), Professor, Professor of the Department of Technology and Equipment for Manufacturing of Lutsk NTU.

Viktor Zakharchuk, Doctor of Science (Engineering), Professor, Professor of Automobile and Transport Technologies Department of Lutsk NTU.

Alexander Kravchenko, Doctor of Science in Engineering, Professor, Zhytomyr State Technological University, Head of Department «Cars and transport technologies»

Vasyl Mateichyk, Doctor of Science (Engineering), professor, National Transport University, Dean of the Automechanical Faculty, Kyiv, Ukraine.

Igor Murovani, Ph.D. in Engineering, Assoc. Professor, Head of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University.

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 Department of Engineering and Computer Graphics Lutsk NTU.

Victor Samostyan, Ph.D., Associate Professor of the Engineering and Computer Graphics Department of Lutsk NTU.

Volodymyr Samchuk, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor, Department of Civil Engineering and Civil Engineering Lutsk NTU.

Volodymyr Sakhno, Doctor of Science in Engineering, Professor, Head of Automobiles Department, National Transport University, Kiev, Ukraine.

Oleg Sitovsky, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor, Department of Automobiles and Transport Technologies of Lutsk NTU.

Valery Stelmashchuk, Ph.D in Engineering, associate professor of automobiles and transport technologies department, Lutsk National Technical University

Igor Taran, Doctor of Science in Engineering, Professor, Head of the Department "Transport Management", NTU "Dniprovsk Polytechnic".

Mykola Tolstushko, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industry

лісового господарства Луцького НТУ.

Цизь Ігор Євгенович, к.т.н., доцент, декан машинобудівного факультету Луцького НТУ.

Шимчук Сергій Петрович, к.т.н., доцент, проректор з науково-педагогічної роботи Луцького НТУ.

Ярошевич Микола Павлович, д.т.н., професор, професор кафедри галузевого машинобудування та лісового господарства Луцького НТУ.

Engineering and Forestry of Lutsk NTU.

Igor Tsizh, Ph.D., Associate Professor, Dean of the Engineering Faculty of Lutsk NTU.

Sergiy Shymchuk, Ph.D., Associate Professor, Vice-Rector for Scientific and Pedagogical Work of Lutsk NTU.

Mykola Yaroshevych, Doctor of Science in Engineering, Professor, Department of Sector Engineering and Forestry of Lutsk NTU.

Ціна договірна

Колектив авторів

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ ТА ТРАНСПОРТІ

ADVANCES IN MECHANICAL ENGINEERING AND TRANSPORT

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ SCIENTIFIC JOURNAL

Випуск 1 (16), 2021 Volume 1 (16), 2021

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 26.06.2020 р.
Формат 60x84/8. Гарнітура Times. Папір офсетний.
Ум. друк. арк. 19,93. 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.