

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*

**№1 (8)**

**2017**

<http://avtomash.lntu.edu.ua>

ЛУЦЬК

LUTSK

Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк: Луцький НТУ, 2017.– №1(8).– 158 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 № 528 від 12.05.2015р.**

#### РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

**Пустюльга С.І.**, д.т.н., професор, Луцький НТУ (головний редактор); **Дідух В.Ф.**, д.т.н., професор, Луцький НТУ (заступник головного редактора), **Плюський В.О.**, д.т.н., професор, Київський національний університет будівництва і архітектури (заступник головного редактора); **Сахно В.П.**, д.т.н., професор, Національний транспортний університет (заступник головного редактора); **Ярошевич М.П.**, д.т.н., професор, Луцький НТУ (заступник головного редактора); **Онищук В.П.**, к.т.н., доцент (відповідальний секретар); **Самостян В.Р.**, к.т.н., доцент (відповідальний секретар); **Владут Валентин**, PhD. Eng., Національний інститут проектування машин та обладнання для сільського господарства і харчової промисловості (INMA, Румунія); **Головачук І.П.**, к.т.н., доцент, Луцький НТУ; **Голячук С.Є.**, к.т.н., доцент, Луцький НТУ; **Дударев І.М.**, д.т.н., професор, Луцький НТУ; **Заболотний О.В.**, к.т.н., доцент, Луцький НТУ; **Захарчук В.І.**, д.т.н., професор, Луцький НТУ; **Кравченко О.П.**, д.т.н., професор, Житомирський державний технологічний університет; **Лобанова С.І.**, к.пед.н., доцент Луцький НТУ; **Марчук В.І.**, д.т.н., професор, Луцький НТУ; **Матейчик В.П.**, д.т.н., професор, Національний транспортний університет; **Мурований І.С.**, к.т.н., доцент, Луцький НТУ; **Олександренко В.П.**, д.т.н., професор, Хмельницький національний університет; **Рудь В.Д.**, д.т.н., професор, Луцький НТУ; **Савчук П.П.**, д.т.н., професор, ректор Луцького НТУ; **Селезньов Е.Л.**, к.т.н., доцент, Луцький НТУ; **Славінскас Стасіс**, д.т.н., професор, Університет ім. Александраса Стулгінскіса (Литва); **Цизь І.Є.**, к.т.н., доцент, Луцький НТУ; **Хамед Ашраф**, Dr.-Ing., ВАТ «Dornier Consulting» (Німеччина); **Бартломейчик Миколай**, доктор інженерії, Політехніка Гданська (Польща); **Шимчук С.П.**, к.т.н., доцент, Луцький НТУ.

Друкується за рішенням Вченої ради  
Луцького національного технічного університету  
(Протокол №12 від 29.06.2017р.)

## ЗМІСТ

<b>Бартломейчик Миколай</b> Гібридні акумуляторні тролейбуси на практиці .....	5
<b>Лабецкас Г., Славінскас С., Канапкіене І.</b> Вплив цетанового числа різних сумішей дизельного палива і гідробробленої рослинної олії (hvo) на процес згоряння дизельного двигуна з турбонаддувом ....	12
<b>Біліченко В.В., Коробов С.С.</b> Статистичне дослідження законів розподілу фактичного ресурсу міських автобусів в процесі експлуатації.....	20
<b>Бондаренко А.Є.</b> Електро-механічне зміцнення та його можливості для підвищення довговічності деталей будівельної техніки	26
<b>Герасимчук О.П., Ткачук О.Л.</b> Системно-технологічний метод модернізації та його реалізація на прикладі льонобралки ТЛН-1,5.....	32
<b>Дацюк Л.М., Вржеш М.В., Юхимчук С.Ф., Дацюк Т.Л.</b> Аналіз роботи двигунів великої потужності.....	40
<b>Дерюгін О.В., Чеберячко С.І.</b> Аналіз санітарно-гігієнічних умов роботи водіїв маршрутних автобусів.....	45
<b>Дударев І.М.</b> Розрахунок багатопотокового спірального змішувача сипких матеріалів.....	53
<b>Сітовський О.П., Жилко І.С., Бодак В.І.</b> Використання сонячних батарей для автономного руху автомобіля з електроприводом.....	63
<b>Кожушко А.П., Таран І.О.</b> Обґрунтування впровадження безступінчастої трансмісії на автомобілях для ремонту нафтогазових свердловин.....	68
<b>Кравченко О.П., Кравченко К.О.</b> Аналіз закономірностей порушень працездатності автомобілів-тягачів Volvo FH 1242.....	74
<b>Мазилук П.В.</b> Спостереження за діями водіїв під час руху вуличними мережами м. Луцька.....	80

## CONTENT

<b>Mikołaj Bartłomiejczyk.</b> Hybrid battery trolleybuses in practice .....	5
<b>Labeckas G., Slavinskis S., Kanapkiene I.</b> The effect of the cetane number of various diesel-hvo fuel blends on the combustion process of a turbocharged diesel engine.....	12
<b>Bilichenko V.V., Korobov S.S.</b> The statistical study of probability distributions actual buses in service.....	20
<b>Bondarenko A.</b> Electro-mechanical hardening and its ability to improve the durability of the construction machinery parts.....	26
<b>O. Herasymchuk. O. Tkachuk.</b> System-technological method of modernisation and his realization on the example of the flax puller spring TLN-1.5...	32
<b>L. Datsiuk, M. Vrzhesch, S. Yuhymchuk, T. Datsiuk.</b> Analysis of robots for heavy-duty engines.....	40
<b>Deryugin, O.V., Cheberyachko, S.I.</b> Analysis of hygienic and sanitary conditions of labour conditions of drivers of public transport buses.....	45
<b>Дударев И.Н.</b> Расчет многопотокового спирального смесителя сыпучих материалов.....	53
<b>O. Sitovskyy, I. Zhylo, V. Bodak.</b> The use of solar panels for autonomous movement of the car with electric drive.....	63
<b>A. Kozhushko, I. Taran.</b> Substantiation the introduction of a stepless transmission in cars for repair of oil and gas wells.....	68
<b>Kravchenko O., Kravchenko K.</b> Analysis of the regularities of the failure of the working capacity of motor vehicles VOLVO FH 1242.....	74
<b>P. Mazylyuk.</b> Monitoring actions of the vehicle drivers when driving network of streets in the 80 Lutsk..	

<b>Мельничук С.В., Чуйко С.П., Рафальський О.І.</b> Підвищення паливної економічності та екологічних показників міського автобуса шляхом оптимізації параметрів і режимів руху. постановка проблеми.....	<b>Melnychuk C.B., Chuiko S.P., Rafalskyi A.I.</b> Increasing fuel economy and environmental indicators of the city bus by optimizing parameters and modes of movement. Statement of problem.....
84	84
<b>Мошковський С.О., Павлюк В.І., Дембіцький В.М.</b> Коригування питомих трудомісткостей то і ремонту легкових автомобілів під час технологічного розрахунку СТО..	<b>S. Moshkovskiy, V. Pavliuk., V. Dembitskiy,</b> Correct the specific labour intensities of motor cars servicing and repair for the technological designing of the maintenance and service stations.....
94	94
<b>Муравинець Ю. В., Селезньов Д. Е.</b> Наукові передумови удосконалення обладнання для первинної переробки трести льону.....	<b>Muravunets Y. V., Seleznev D. E.</b> Scientific prerequisites for improving equipment for primary processing of flax trusts.....
100	100
<b>Опанасюк Є.Г., Бегерський Д.Б., Опанасюк О.Є.</b> Покращення показників роботи ДВЗ шляхом створення розрідження в випускному колекторі.....	<b>E. Opanasyuk, D. Beherskiy, O. Opanasyuk</b> Improvement in internal combustion engine performance by creating a vacuum in the exhaust manifold.....
106	106
<b>Познаховський В.А., Кірічок О.Г.</b> Оцінка ефективності функціонування автомобільного транспорту.....	<b>V. Poznakhovskiy, O. Kirichok.</b> Evaluation of road transport service.....
115	115
<b>Пустюльга С.І., Самостян В.Р., Клак Ю.В.</b> Побудова дискретних моделей просторових замкнутих траєкторій із заданими геометричними властивостями	<b>S. Pustiulha, V. Samostian, Yu. Klak.</b> Construction of discrete models of spatial closed trajectories with given geometric properties.....
123	123
<b>Рибай О.В.</b> Оцінка ефективності експлуатації автобусів в Україні.....	<b>O.Rybai</b> Evaluation of Bus exploitation in Ukraine.....
130	130
<b>Сахно В.П., Ященко Д.М., Мурований І.С., Селезньов В.Е.</b> Дослідження маневреності шарнірно-зеднаних автобусів особливо великого класу за гібридної системи повороту.....	<b>V. Sakhno, D. Yaschenko, I. Murovani, V. Seleznov.</b> The study of the maneuverability of hinged-connected buses of a particularly large class with a hybrid turning system.....
135	135
<b>Хомич С.М., Цизь І.Є., Павлік В.А.</b> Технологічні основи пневматичного добування озерного сапропелю.....	<b>S. Khomych, I. Tsiz' V. Pavlik.</b> Technological basis of pneumatic extraction of lake sapropel.....
144	144
<b>Шведик М.С., Гунько Ю.Л., Теслюк В.В.</b> Визначення установочних параметрів лемеша картоплекопача з конічно-спіральним сепаратором.....	<b>N.Shvedik, Y.L. Gunko, V.V. Teslyuk.</b> Determination of the setting parameters of the share of the potato digger with a conical-spiral separator.....
150	150
<b>Перелік зовнішніх рецензетів .....</b>	<b>List of invited reviewers .....</b>
157	157



Mikołaj Bartłomiejczyk

*Gdańsk University of Technology, Faculty of Electrical and Control Engineering  
G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk, Poland, mikolaj.bartlomiejczyk@pg.gda.pl***Hybrid battery trolleybuses in practice**

Electric energy is ecological alternative for fossil fuels. Battery electric buses are believed to be means of transportation of the future. However, despite the continuous development of electrochemical batteries technology and the multitude of electric buses on offer, it is still no proved solutions that can be widely used. Charging is the one of the weakness point of the electric buses. Trolleybuses are alternative for them. Especially, trolleybuses equipment with traction batteries for autonomous drives can split advantages of electric buses and classical busses. The two European cities can be given as examples of hybrid battery trolleybuses implementation: Gdynia (Poland) and Landskrona (Sweden). Nowadays city of Gdynia exploits more than 30 trolleybuses equipment with traction batteries for autonomous ride. In Landskrona in 2011 started the Slide-In project with aim of the practical implementation hybrid buses service on diesel bus routes.

**Keywords:** Electric bus, trolleybus, traction batteries, Eliptic, emobility

**Introduction.** Despite the continuous development of electrochemical batteries technology and the multitude of electric buses on offer, it is still not possible to exploit electric buses in urban transport on all-day route operation without the necessity of charging them. Therefore it is necessary to build contact charging stations. This results in substantial financial outlays connected with the construction of charging stations, and in the necessity to extend the stopping time at the terminals [1 - 4]. The alternative solution is the so-called In Motion Charging (IMC), also called the Slide-In system [6]. It consists in building an infrastructure allowing for charging vehicles in motion, most often with the use of overhead contact line (Fig. 1) [5]. A prototype route based on the IMC functions in Landskrona (Sweden) within the existing trolleybus network. In the IMC system a part of a transport route is covered by overhead contact line which is used to charge traction batteries. The vehicles move the remaining part of the route, i.e. the part where there is no contact line, with the use of battery supply. This allows for charging the vehicle without the necessity of excluding it from traffic, thus increasing the flexibility and functionality of the system.

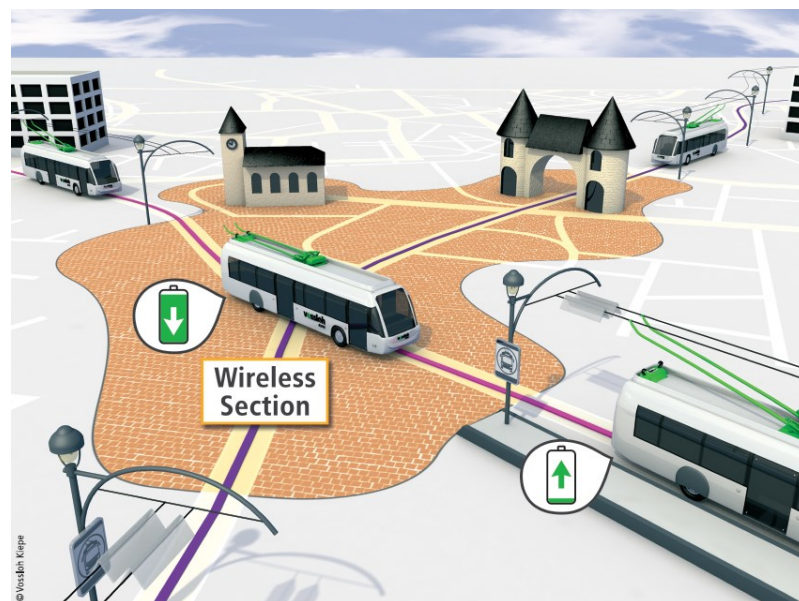


Fig. 1. The idea of In Motion Charging system (IMC) [© Vossloh Kiepe]

**Trolleybus transport system of Gdynia.** The city of Gdynia, Poland, exploits an extensive, 50-km-long trolleybus network, which is serviced by 85 vehicles. The trolleybus system is operated by Przedsiębiorstwo Komunikacji Trolejbusowej Sp. z o.o. (PKT). In order to increase the reliability of

trolleybus transport in 2009, the first vehicles equipped with a battery autonomous drive system were introduced into operation.

**The first generation of traction batteries in Gdynia - NiCd technology.** The first two trolleybuses equipped with auxiliary battery drive Solaris Trollino 12 MEDCOM, with electrical accessories manufactured by the Polish company Medcom, were put in operation in 2009. Another 25 trolleybuses of the same type were purchased one year later, financed by the Regional Operational Fund [7, 8].

The trolleybuses are equipped with NiCd STH 800 batteries obtained from SAFT (Fig. 2, 3). The capacity of the batteries with 168 cells is 80 Ah, which equals 16 kWh. This capacitance allows to run 2 - 4 km in autonomous regime. The total weight of the battery equipment, DC/DC converter included, is 800 kg. The maximum power when running the vehicle by using the traction batteries is 70 kW. This allows the vehicle to be run at a speed up to 40 km/h and with acceleration 0.4 m/s<sup>2</sup>.



Fig.2 Solaris Trollino 12 Medcom trolleybus



Fig. 3 Traction NiCd batteries (right) and DC converter (left)

**The second generation of traction batteries - Li Ion technology** Experience in operating trolley buses equipped with traction batteries has confirmed the value of this solution. However, a small capacitance of NiCd battery not allowed for a wider use of the auxiliary drive, especially in standard schedule operation [13]. Therefore, it was decided to purchase vehicles equipped with newer technology batteries. Since 2015 vehicles with high-capacity lithium-ion batteries with the capacities of 40 kWh and 69 kWh have been introduced into exploitation (fig. 4, 5, tabl 1).

Tabl. 1. Technical data of batteries in Solaris Trollino 12 MEDCOM trolleybuses for Gdynia

Producer of electrical equipment	MEDCOM
Power of the traction motor	175 kW
Number of battery modules	3, parallel
Total capacity of batteries	69 kWh
Single module capacity	23 kWh / 36 Ah
Vehicle weight	13 tons
Number of seats	30
Total number of passenger places	45
Maximum voltage of a module	728 V
Maximum continuous output power of a module	64 kW



Fig. 4. Trolleybus Solaris Trollino 12 MEDCOM No. 3090 operates on special service. Photographer: Karol Grzonka



Fig. 5. Rear part of a Solaris Trollino 12 MEDCOM trolleybus, 3 battery modules (black boxes) and the charging system (a grey box in the upper part of the apparatus) are visible

**Schedule operation of trolleybuses on line 29.** The concept of servicing Fikakowo with trolleybus appeared in 2005. Initially there was planned to build a trolleybus overhead line, however difficult terrain conditions (narrow streets) and opposition of some residents slowed down the design. With the introduction of trolley batteries with NiCd batteries in 2009, the concept of the line on Fikakowo [11] with traction batteries using was proposed again. Due to insufficient technical parameters of batteries, it would be necessary to build a traction catenary on the part of the route. The introduction of trolleybuses with Li-Ion batteries enabled trolleybus to operate without the need for a overhead catenary lines.

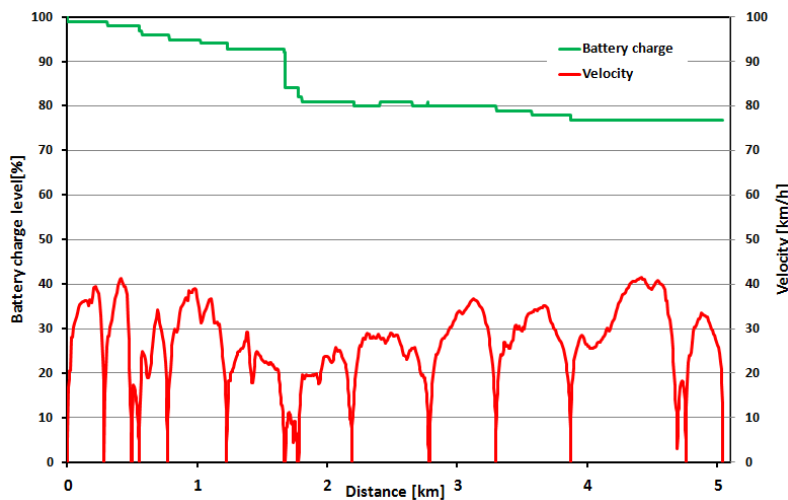


Fig. 6. Example battery driving registration for line 29



Fig. 7. Charging of traction batteries from 400 VAC grid on a terminus

Line 29 is an all week line. The section without traction network is 3 km long (1,5 km one way), however, due to the limitations resulting from automatic connection to the traction network, battery mode is 5 km long. Fig. 6 shows an example of battery work registration. The battery is discharged around 20%. The registration was made in January 2017 at a low outdoor temperature and a strong heating operation. This results in significant power consumption for heating purposes, which results in significant battery discharge during stay in terminus. In summer conditions, the discharge rate of the battery will be much lower. The Fikakowo loops also is equipped with 3 x 400 V AC charging station (Figure 7).

**Slide-In System in Landskrona.** On 27 September 2003 a completely new trolleybus system was opened in Landskrona (Sweden), which received the number 3 in the existing public transport system. It connected the new railway station, the city center and the harbor. Length of line was 3 km. Originally operated by 3 Solaris Trollino 12 trolleybuses produced in cooperation with the Hungarian GANZ company [1, 4].



The trolleybus line proved to be a very good solution and quickly became the backbone of the city's transport. The increase in passenger traffic caused the decision to purchase a fourth trolleybus, that was put into service in 2010. There have also ideas to extend the trolleybus transportation system. However, the small transport operation on the bus lines made unprofitable extension of the traction network. The solution of this problem was an auxiliary drive that enabled the trolleybus to move on sections without traction catenary [6]. This project was made possible by the SlideIn project.



Fig/ 8. Trolleybus system in Landskrona, linie 3 - standard trolleybus line, lines 4 and 5 - battery operation [14]

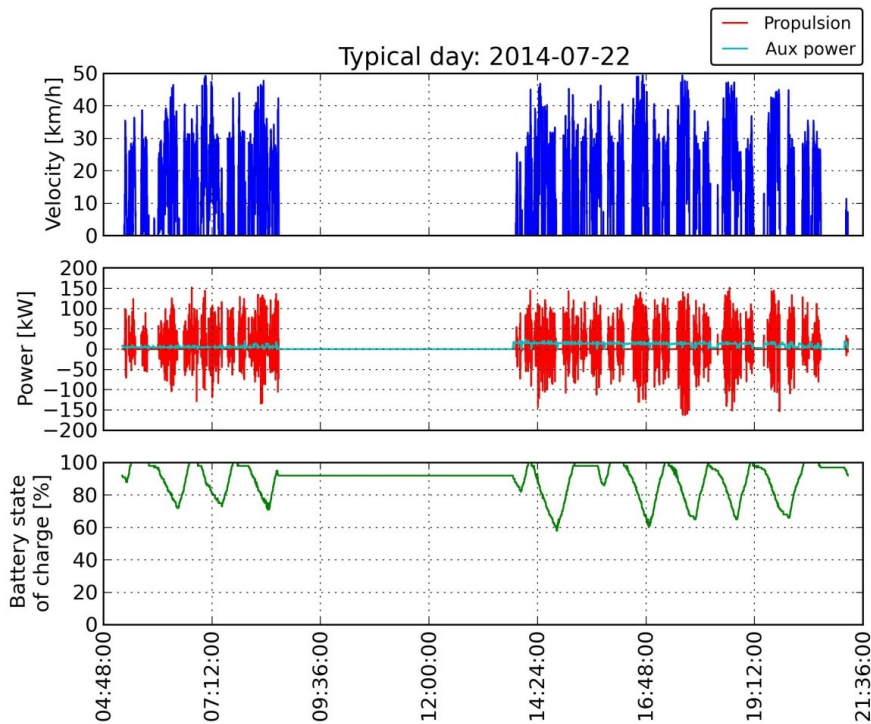


Fig. 9. Registration of daily energy consumption trolleybus in Slide In mode in Landskrona [14]

Tabl. 2. Technical data of Solaris Trollino 12 SKODA trolleybus for Landskrona

Producer of the mechanical part	Solaris Bus &Coach
Producer of electrical equipment	ŠkodaElectric,
Type	Solaris Trollino 12
Length of vehicle	12 m
Power of traction motor	160 kW
Vehicle weight	13,6 tons
Number of seats	27 + 3
Total number of passenger places	58
Voltage of traction batteries	450 V
Total capacity of batteries	54 kWh

Slid-In is funded by the EU's LIFE + program. The main partner in the project is the University of Lund. The other partners are: Skånetrafiken, ÅF (Landskron transport operator), Motivationshuset, Volvo Powertrain and E.ON [14]. The budget was estimated at 1.6 million euros, and its implementation time is September 2011-December 2015. The task of the project was to make the SlideIn's electrobus, test it in operation and evaluate the results. Due to geographical localisation and favorable conditions, it was decided to operate the electrobus in nearby Landskrona and to use its trolleybus network for charging.

The vehicle was designed as a standard trolley bus with enlarged traction batteries enabling the vehicle to move on a section without traction. The power source is lithium batteries with a capacity of 54 kWh and a voltage of 450 V (tabl. 2). They allow the run 20 km without supply from catenary. The schematic diagrams for lines 3, 4 and 5 are shown in Fig. 11. Trolleybus was designed to operate on bus lines 4 and 5 in the following work regime:

1) trolleybus service on line 3, charging from trolleybus catenary, trolleybus goes two cycles (Figure 8, red line),

2) operation on bus lines 4 and 5 powered from traction batteries (fig. 8, black and orange lines).

During daytime operation, 70% of the total operation distance are powered by traction batteries, and only 30% of the trolleybus is routed using the overhead contact line. The operation of the trolleybus has fully confirmed its strengths. Line coverage of only 30% of the length of the traction network enables operation in electric mode. The maximum discharge of the battery has been observed at 40% (Fig.9), which means that there is sufficient storage capacity in case of traffic disturbances.



Fig. 10. Slide – In trolleybus in Landskrona

**Summary.** Despite the fact that the number of cities exploiting electric buses in urban transport is increasing, the existing systems are test systems, and there is still no agreement among the users with regard to optimal and universal solution for electric buses. The issue of charging is one of the biggest problems. On the other hand, trolleybus transport in numerous cities is considered to be outdated. The In Motion Charging system makes it possible to combine the advantages of trolleybuses and electric buses.

The IMC system makes it necessary for only 33%-50% of the route to be electrified. What is more, in case of common sections on many public transport routes, there is a possibility that the overhead contact line is used by vehicles operating on a number of routes. This solution is particularly suitable for the existing trolleybus networks and allows for more effective utilization of the infrastructure. Moreover, in many cases it

may be justified to construct brand new public transport systems based on the IMC, particularly in connection with using dedicated traffic lanes for buses.

Slide-In system in Landskrona and 29 line in Gdynia are ready to use examples of modern city transportation systems. Hybrid battery trolleybuses are alternative for pure battery buses or diesel hybrid busses. Especially the have can be implemented in cities, which exploit trolleybus systems. What is more, in the cities where tram network is already exploited, there is a possibility to use the elements of the tram infrastructure when constructing the catenary for the IMC system.

#### Acknowledgment



This paper has been elaborated in the framework of the project ELIPTIC "Electrification of public transport in cities" co-financed by the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under the grant agreement No 636012

#### REFERENCES

1. Bartłomiejczyk, M. 2015 Smart Grid technologies in electric power supply systems of public transport, 12th International Conference: Modern Electrified Transport 2015: .8-14
2. Bartłomiejczyk, M.; Połom, M. 2015. Integracja systemu energetycznego miejskiego transportu szynowego i stacji ładowania autobusów elektrycznych – szansa czy zagrożenie: Technika Transportu Szynowego 7-8: 12-15
3. Bartłomiejczyk, M.; Połom, M. 2015. Uwagi na marginesie artykułu Adama Moleckiego Rozwój autobusów elektrycznych w oparciu o istniejące sieci tramwajowe: Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 1-2: 46-49
4. Połom, M.; Piasecki, A.; Bartłomiejczyk, M. 2015. Charakterystyka autonomiczności trolejbusów – nowe doświadczenia w elektromobilności miejskiej: Logistyka 4: 5394-5401
5. Bergk, F.; Pätz, R. Potential of In-Motion Charging Buses for the Electrification of Urban Bus Lines, Konferencja”, Electromobility in public transport, Gdynia, 9.06.2016
6. Bartłomiejczyk, M.; Połom, M. 2015. Nowoczesna koncepcja rozwoju transportu trolejbusowego : projekt Slide-In: Autobusy, Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 7-8:32-35
7. Bartłomiejczyk, M.; Stęskala V.; Hrbac, R.; Połom, M. 2015 Trolleybus with traction batteries for autonomous runnin”, W: 7th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering (ELEKTROENERGETIKA),
8. Bartłomiejczyk, M.; Połom, M. 2011. Alternatywne źródła zasilania w trolejbusach – przegląd rozwiązań stosowanych w miastach europejskich: Technika Transportu Szynowego 3.
9. Manheller, M. Cost factors in real fleet duty - Vossloh Kiepe, Conference, Electromobility in public transport, Gdynia, 9.06.2016
10. Bartłomiejczyk, M.; Połom, M. 2017. The impact of the overhead line’s power supply system spatial differentiation on the energy consumption of trolleybus transport: planning and economic aspects: Transport 32(1): 1–12, doi:10.3846/16484142.2015.1101611, ISSN 1648-4142
11. Hebel, K.; Wotek, M., 2016. Perception of modes of public transport compared to travel behaviour of urban inhabitants in light of marketing research, Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transpor, 92: 65-75. ISSN: 0209-3324. DOI: 10.20858/sjsutst.2016.92.7.
12. Hrbáč, R.; Kolář, V.; Mičková, T. 2015. Distributed measurement system with GPS synchronisation and its use in electric traction: Elektronika ir elektrotechnika 21 (6): 8-13. ISSN: 1392-1215.
13. Bartłomiejczyk, M. Praktyczna aplikacja In Motion Charging w Gdyni: trolejbusy w obsłudze linii autobusowych. 2016. Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe 9: 18-24
14. <http://www.slidein.se/en/about-the-project/>

#### **Бартломейчик Миколай. Гібридні акумуляторні троллейбуси на практиці.**

Електрична енергія є екологічною альтернативою викопному паливі. Вважається, що електричні автобуси з акумуляторами є транспортними засобами майбутнього. Однак, незважаючи на безперервний розвиток технології електрохімічних акумуляторів та безліч запропонованих електричних автобусів, досі не існує доведених рішень, які можуть бути широко використані. Зарядка є однією з слабких точок електричних автобусів. Тролейбуси є альтернативою для них. Зокрема, обладнання троллейбусів тяговими

батареями для автономних приводів може розділити переваги електричних автобусів та класичних автобусів. Два європейських міста можуть бути представлені в якості прикладів застосування гібридних акумуляторних тролейбусів: Гдиня (Польща) та Ландскрона (Швеція). Сьогодні в місті Гдиня експлуатується понад 30 тролейбусів обладнаних тяговими батареями для автономної їзди. У Ландскрона в 2011 році розпочато проект Slide-In з метою практичного впровадження гібридних автобусів на маршрутах дизельних автобусів.

**Ключові слова:** електричний автобус, тролейбус, тягові батареї, електромобільність.

**АВТОР:**

*Миколай БАРТЛОМЕЙЧИК*, дослідник Гданського університету технології та енергетичний спеціаліст тролейбусної транспортної компанії в Гдині. E-mail: [mikolaj.bartlomiejczyk@pg.gda.pl](mailto:mikolaj.bartlomiejczyk@pg.gda.pl)

**AUTHOR:**

*Mikołaj BARTŁOMIEJCZYK*, Researcher at Gdańsk University of Technology and Energy Specialist in Trolleybus Transport Company in Gdynia. e-mail: [mikolaj.bartlomiejczyk@pg.gda.pl](mailto:mikolaj.bartlomiejczyk@pg.gda.pl)

Стаття надійшла в редакцію 13.05.2017р.



Labeckas G., Slavinskas S., Kanapkienė I.  
*Power and Transport Machinery Engineering Institute at Aleksandras Stulginskis University,  
Student Str. 15, P.O. Box LT-53361, Kaunas Academy, Lithuania*

## THE EFFECT OF THE CETANE NUMBER OF VARIOUS DIESEL-HVO FUEL BLENDS ON THE COMBUSTION PROCESS OF A TURBOCHARGED DIESEL ENGINE

The paper presents effect of the cetane number and chemical-physical properties of diesel-HVO fuel blends oxygenated with ethanol (E) or biodiesel (B) on the autoignition delay, combustion phenomenon, maximum heat release rate, and the peak in-cylinder pressure of a turbocharged CRDI diesel engine. Diesel-HVO fuel blends oxygenated with anhydrous (200 proof) ethanol OE1-OE3 or rapeseed biodiesel OB1-OB3 (4.5 wt% oxygen) in such proportions by mass to assure the variation within a wide range of the cetane (C) number 51.2-67.3 were tested for brake mean effective pressure of  $p_e = 1.24, 1.37$  and  $1.40$  MPa at the respective speeds of 1500, 2000 and 2500 rpm. Analysis of the changes occurred in compression ignition delay, burn angles MBF 50 and MBF 90, maximum heat release rate and the peak in-cylinder pressure made by using oxygenated fuel blends OE1-OE3 or OB1-OB3 was performed on comparative bases with the corresponding values measured with blends CE1 or CB1 to reveal the potential developing trends of the combustion parameters.

**Keywords:** Diesel engine; Diesel-HVO fuel blends; Ethanol; biodiesel; Autoignition; Combustion; Heat release; Maximum in-cylinder pressure.

**Introduction.** Transport is one of the biggest user of a fossil diesel fuel and the most contributing factor to the environment polluting. The scientists worldwide continue intensive investigations on alternative renewable fuels to partially at least replace fossil origins fuel and, thus, elevate this problem. There potentially are many alternatives to replace fossil diesel fuel with renewable and more environment friendly. However, due to different chemical and physical properties still is not completely clear in what percentages (by mass) the alternative fuel could be premixed with a fossil diesel to achieve efficient combustion in the engine cylinder and energy conversion efficiency without a risk to damage an engine while producing minimal negative impact on the environment.

Chemical and physical properties of the fuel affect the injection and atomisation characteristics and, thus, have impact on the autoignition, overall combustion process, brake specific fuel consumption and engine out emissions. The cetane number (CN) of the fuel is, perhaps, the most important and dominant factor, which affects compression ignition and following combustion in the cylinder. This parameter is determined by the European standard EN 5165 and it should be no less than 51 equally for the normal fossil origin diesel fuel and biodiesel.

The cetane number largely depends on both the composition of the fuel and the chemical structure of the fuel molecules. The highest cetane number possess paraffinic hydrocarbons, slightly lower unsaturated hydrocarbons, and aromatic compounds [1, 2]. The more atoms is in double bounds and the more branched is the chemical chain of the molecule, the lower will be the cetane number of the fuel [3].

The higher cetane number of the fuel predicts that compression ignition delay will be shorter and the combustion will start sooner in an engine cycle [4, 5, 6], whereas when running with the fuel possessing lower CN rating, the autoignition delay period is expected to be reasonably longer. The lower CN rating may reduce the fuel-heat energy conversion efficiency, increase engine noise and emissions of the exhaust. The researcher noted that the increased cetane number of the fuel shortens the autoignition delay, reduces the amount of the fuel premixed for rapid combustion and thus contributes to lower  $\text{NO}_x$  emission.

It was revealed that the autoignition delay and performance parameters of a naturally aspirated diesel engine are strongly affected not only be the cetane number value, but also by chemical structure of the fuel, but also by the amount of fuel-bound oxygen stored in ethanol-diesel-biodiesel fuel blends [7]. To produce oxygenated fuel blends, normally is used ethanol or biodiesel (RRME) as oxygenator source. Ethanol includes the highest amount of fuel-bound oxygen (34.78), however its wide using as diesel fuel supplement in compression ignition engines is largely restricted by chemical and physical properties, namely extremely low cetane number of ethanol (Table 1). Whereas RRME is popular in transport sector to completely or partially replace fossil-origin diesel fuel despite slightly higher density of biodiesel. The investigations conducted with aviation JP-8 fuel treated with CN improving agent 2-ethylhexyl nitrate [8] and JP-8 oxygenated with biodiesel-bound oxygen [9] did not disclose completely which of them - the cetane number, fuel-bound oxygen mass fraction or widely different chemical-physical properties of the fuel play a key role in changes in the combustion process, engine performance efficiency and emissions.



The purpose of experimental study was to examine the effect of the cetane number of purposely-designed diesel-HRD fuel blends on the autoignition delay and following combustion in a turbocharged CRDI diesel engine running over a wide range of loads and speeds when fuel-bound oxygen mass fraction of various origins is maintained of the same value of 4.5 wt%.

**Research methodology, experimental procedures and engine test set up.** The fuel components used to prepare fuel blends for diesel engine tests: fossil origin diesel fuel (LST EN 590:2014+AC standard, Ltd. „Orlen Lietuva“); hydrotreated vegetable oil (HVO) (NESTE OIL, Finland); neat (99,9 wt%, by mass) dehydrated ethanol (LST EN 15376:2015 standard); Rapeseed Oil, Fatty Acids Methyl Ester – Biodiesel named in abbreviations RRME (LST EN 14214:2014 standard, UAB „Rapsoila“).

Table 1. Chemical and physical properties of the fuels.

Properties of the tested fuels	Evaluation methods	Diesel fuel (class 1)	HVO	Ethanol	RRME
Density at 15 0C, kg/m <sup>3</sup>	EN ISO 3675/EN ISO 12185	833	780	790	884
Kinematic viscosity at 40 0C, mm <sup>2</sup> /s	EN ISO 3104	2.1	2.9	1.4	4.4
Flash point in open cup (FP), 0Co	EN ISO 2719/3679	57	80	13	168
Cold Filter Plugging Point (CFPP) 0C	EN ISO 116	-31	-40	≤-38	-15
Cetane number	EN ISO 5165/EN 15195/ASTM D7689	51,4	78,9	8,0	51,0
Sulphur content, mg/kg	EN ISO 20846	5,6	<1	-	3,9
Iodine number, (J2g)/100g	EN 14111	6	-	-	110
Acidity, (mg KOH)/g	ASTM D3242/EN 14104	0,06	0,001	≤0,01	0,11
Fuel-bound oxygen content, max %	-	0	0	34,78	10,9
Carbon-to-hydrogen atoms ratio (C/H), kg/kg	-	6,62	5,58	4,00	6,48
Net heating value, MJ/kg	EN ISO 8217/ASTM D4809	43,00	43,82	26,95	37,23
Stoichiometric air-to-fuel ratio, kg/kg	-	14,5	15,1	9,1	12,6
Total contamination, mg/kg	EN ISO 12662	4	3	-	11,6
Ash content by mass, wt%	EN ISO 6245/EN3987	0,01	<0,001	-	<0,005
Water content, mg/kg	EN ISO 12937	35	17	0,01	420

Chemical and physical properties of the respective fuel components are listed in Table 1.

Purposely-designed fuel blends with different cetane number, but still the same fuel-bound oxygen content (4.5 wt%) were prepared for these experiments. The content of renewable oxygen-free HVO fuel was increased for every next fuel blend to improve the cetane number of diesel-HVO fuel blends, whereas ethanol and biodiesel have been added in constant contents (by mass) to maintain the same fuel-bound oxygen fraction in the tested fuel blends (Fig. 1)

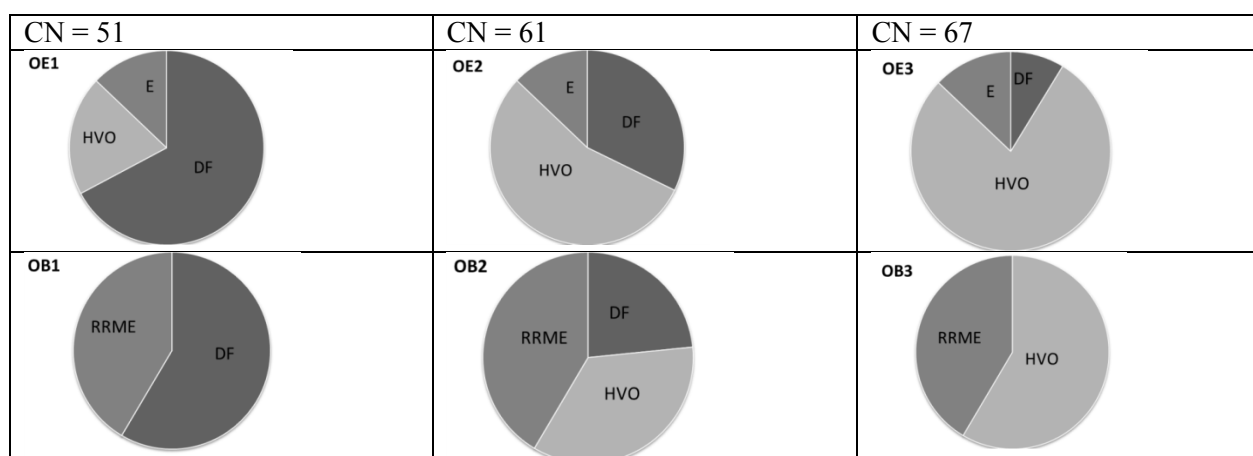


Fig. 1. The composition of the fuel blends possessing different cetane numbers, but still the same fuel-bound oxygen mass fraction of 4.5 wt% (by mass) used in the engine tests.

Experimental engine conducted at Power and transport machinery engineering institute, Engineering faculty of Aleksandras Stulginskis university (ASU). A turbocharged Common Rail Direct Injection (CRDI) diesel engine FIAT 192A1000 was used for the experiments (Table 2).

Table 2. Basic engine parameters.

Engine code	192A1000
Engine model	FIAT 1.9JTD 8v 115 HP (85 kW)
Engine type	Four-cylinder, in-line, turbocharged, JTD
Turbine code	712766-1
Turbocharger	Garrett GT1749V, variable geometry
Fuel injection system	Common rail, direct injection (CRDI)
Total splash volume	1910 cm <sup>3</sup>
Compression ratio	18.0±0.45:1
Rated power	85 kW (115 HP)
Maximal torque	255 Nm (EEC), at 2000 rpm
Idle speed	850±20 rpm
Maximum injection pressure	1400 bar (140±0.5 MPa)
Codes injection pump / injector	0445010007 / 0445110119, 6 injection holes

The schematic view of the test stand, equipment, and apparatus used for the experiments shows Fig. 2.

During experiments basic control parameters were engine torque, rotation speed of the crankshaft and maintained constant boost pressure of  $p_k = 1.60$  bar in the suction manifold.

Load characteristics with hydrotreated vegetable oil (HVO) fuel involving ethanol (E) or biodiesel (B) components were taken at maximum torque speed of 2000 rpm, whereas additional speeds of 1500 and 2500 rpm are also chosen to have a wider view for sound interpretation of the test results. Changes in the autoignition, combustion, and heat release characteristics revealed with oxygenated fuel blends OE2-OE3 / OB2-OB3 were compared with those obtained with the reference blends OE1 / OB1 for engine loads of  $p_e = 1.24, 1.37$  and  $1.40$  MPa at the respective speeds of 1500, 2000 and 2500 rpm.

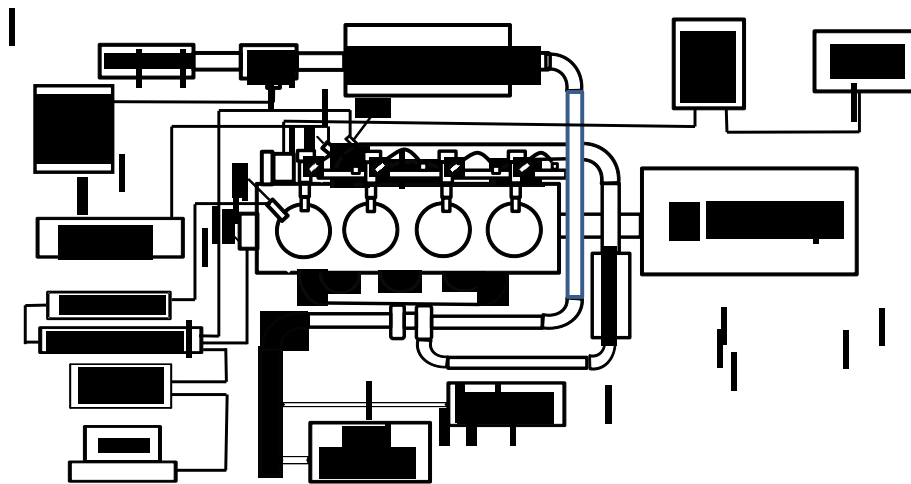


Fig. 2. Schematic arrangement of the engine test stand: (1) AVL crank-angle encoder; (2) piezoelectric in-cylinder pressure transducer; (3) fuel high-pressure line transducer at the injector; (4) air boost pressure sensor in the intake manifold.

A high-speed multichannel indicating system, which consisted of the AVL angle encoder 365C and high-performance pressure transducer GU24D coupled to the AVL microIFEM piezoelectric amplifier and signal acquisition platform IndiModul 622, was introduced for the recording, acquisition, and processing of fast crank-angle gas pressure signals in the first cylinder. Summarized over the 100 engine-cycles averaged in-cylinder pressure-data, instantaneous cylinder volume, and their first order derivative with respect to crank angle have been used. The data post-processing Software AVL CONCERTO™ advanced version 4.5 was

used to increase productivity and improve accuracy of the measured test results. The total heat release rate was calculated by using the AVL BOOST program.

The start of injection (SOI) was recorded by using the Kistler piezoelectric pressure sensor ASMB 470004-1 connected on a high-pressure tube in front of the injector. The autoignition delay determined as a period in CADs between start of injection (SOI) and start of combustion (SOC) with an accuracy of  $\pm 0.1^0$ . As the start of injection was taken crank angle, at which the fuel pressure in a high-pressure tube drops temporarily down due to the opening of the nozzle-needle-valve of the injector. As the start of combustion taken crank angle, at which the total heat release-rate crosses the zero line and changes its value from the minus side to the plus side.

**The engine test results and analysis.** The development trends in compression ignition delay shows Fig. 3. As can be seen in columns, the autoignition delay in CADs almost always increased with increasing engine speed. A bit higher changes in compression ignition delay with increasing cetane rating were noted when running with ethanol-oxygenated fuel blends OE1-OE3. The increase of the cetane number of ethanol-oxygenated blends up to about CN = 61 contributes to shorter compression ignition delay at all speeds. The longest autoignition delay period was measured when running with ethanol-treated fuel blend OE3, which possesses the highest CN rating at all speeds tested. In such a case, the cetane number improvement from 51 to 67 the autoignition delay increased by 10.4% when running at maximum speed of 2500 rpm. Whereas in case of using biodiesel (RRME) as oxygenator source, the autoignition delay increased only by 2.9% responding to cetane number improvement within the same range of 51-67 at the high speed of 2500 rpm.

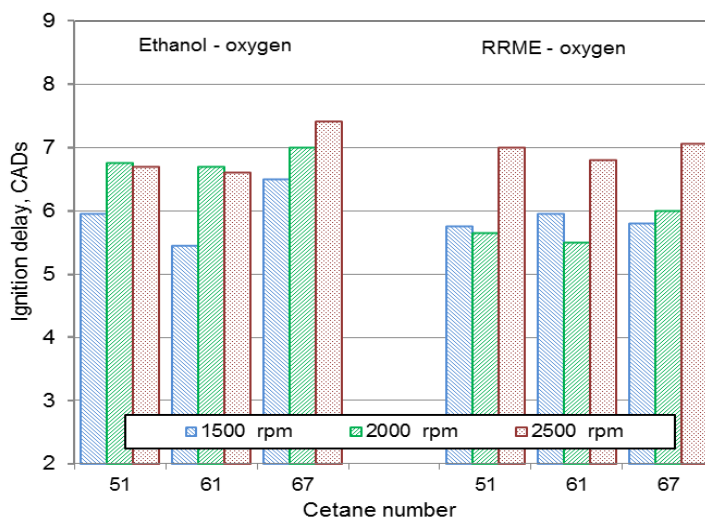


Fig. 3. Dependencies of the autoignition delay on the cetane number of diesel-HVO fuel blends involving identical contents of ethanol or biodiesel fuel-bound oxygen (4.5 wt%) when running under 1.24, 1.37 and 1.40 MPa loads at the respective speeds of 1500, 2000 and 2500 rpm.

Thus, changes in the autoignition delay period with increased CN ratings of diesel-HVO fuel blends oxygenated with the added ethanol or biodiesel components are minimal. This can be reasonably attributed to the fact that Common Rail injection system with a pilot fuel injection and delivery of main fuel portion under high averaged pressure of 140 MPa improved the atomisation quality of the fuel droplets and, thus, suppressed the effect of physical properties the fuel on the subject investigated. A high-pressure CR injection system has possibility to adjust time and quality of multiple fuel portions injected. In such a case, only marginable changes in the autoignition delay probably caused not only the variation of the cetane number, but most likely, the different physical properties (density, viscosity) of the tested fuel blends. Whereas overall longer autoignition delays for fuel blends involving ethanol as oxygenator source perhaps caused about three-fold as much higher latent heat of vaporisation of ethanol and lower heating value of the fuels OE1-OE3 compared with those OB1-OB3 oxygenated with biodiesel.

As can be seen in Fig. 4, maximum (net) heat release rate ( $W_{max}$ ) decreased by 2.6% due to the cetane number increased from 51 to 67 when running with ethanol-oxygenated blends under full load ( $p_e = 1.24$  MPa) at the low speed of 1500 rpm. Whereas in case of using biodiesel (RRME) oxygenated blends OB1-OB3 maximum heat release rate slightly (0.53%) increased due to the cetane number improved from 51 to 67 under the same test conditions. Maximum heat release rate equally increased by 1.3% for fuel blends of both types after transition from CN 51 to 61 at a higher speed of 2000 rpm. Further the cetane number increase to maximum value of 67, differently affected maximum heat release rate:  $W_{max}$  decreased by about

1.9% (OE3) against that measured with blend (OE1);  $W_{\max}$  increased by 2.0% (OB3) against that the combustion of blend OB1 produces at 2000 rpm. However, maximum heat release rate ( $W_{\max}$ ) increased by 15.0% (OE3) and by 1.9% (OB3) after transition to the highest speed of 2500 rpm ( $p_e=1.4$  MPa) where the time-span required to perform an engine cycle became extremely limiting factor.

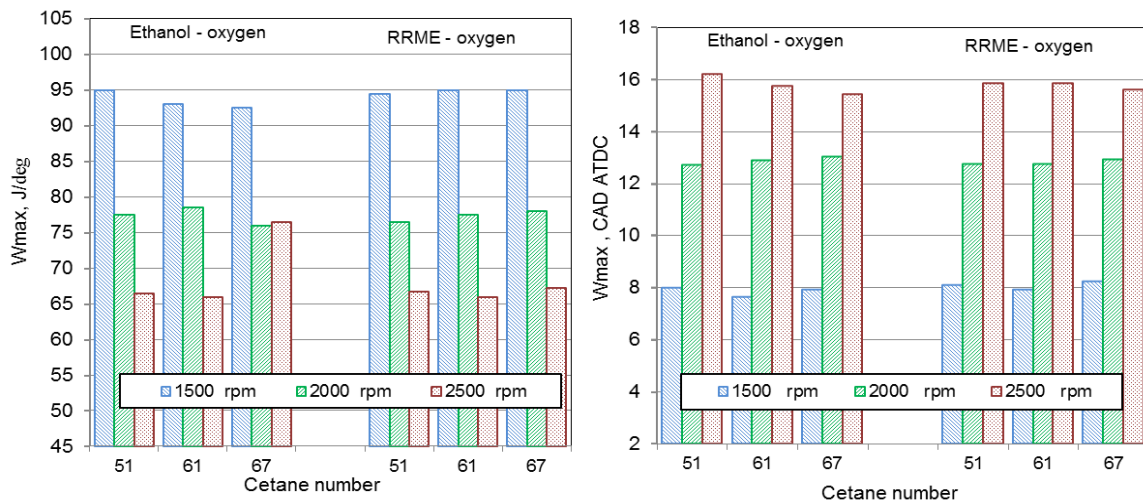


Fig. 4. Dependencies of maximum heat release rate on the cetane number of diesel-HVO fuel blends involving identical contents of ethanol or biodiesel fuel-bound oxygen (4.5 wt%) when running under 1.24, 1.37 and 1.40 MPa loads at the respective speeds of 1500, 2000 and 2500 rpm.

Burn angle MBF 50 represents the center of a gravity of differential heat release curve and, thus, affects fuel-energy conversion efficiency of an engine. The shorter the crank angle ATDC at which 50% of energy releases in the cylinder, the lower heat losses during the expansion stroke are and thus higher thermal efficiency of engine cycle can be achieved. The cetane number-made changes in burn angles MBF 50 and MBF 90 presents Fig. 5. The columns show that a half portion (MBF 50) of ethanol-oxygenated blends OE1-OE3 burned sooner in an engine cycle than the respective fuel blends OB1-OB3 involving biodiesel (RRME) burned at all engine loads and the respective speeds. There only small changes ( $0.2^{\circ}$  CADs) occurred in burn angle MBF 50 due to the increased cetane number of both fuel types when running at a fully loaded engine at the low speed of 1500 rpm and maximum torque speed of 2000 rpm. The biggest decrease of  $0.65^{\circ}$  CADs in burn angle MBF 50 with regard to TDC was measured when running with the most flammable (CN = 67) ethanol-oxygenated blend OE3 at the highest speed of 2500 rpm.

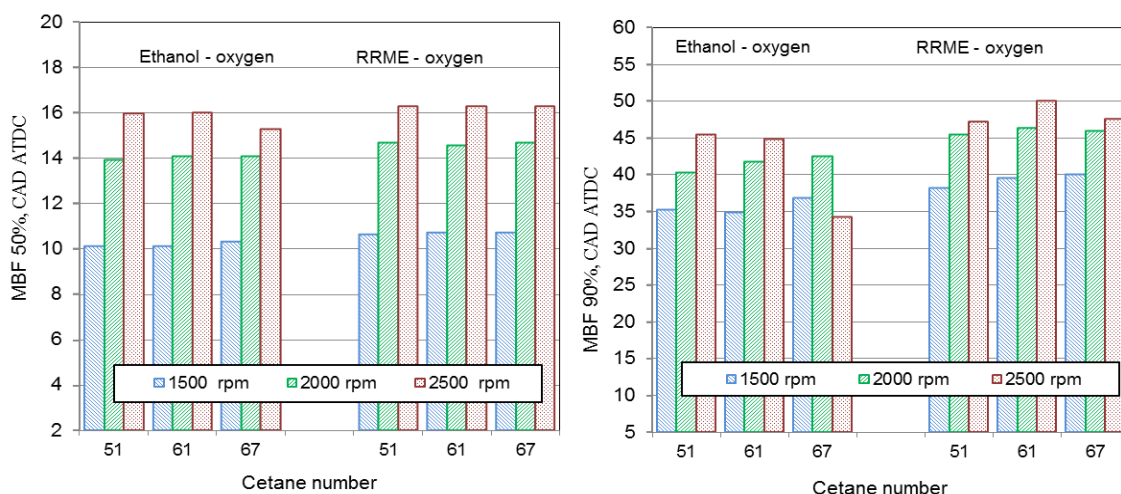


Fig. 5. Dependencies of mass burned fractions MBF 50 and MBF 90 on the cetane number of diesel-HVO fuel blends involving identical contents of ethanol or biodiesel fuel-bound oxygen (4.5 wt%) when running under 1.24, 1.37 and 1.40 MPa loads at the respective speeds of 1500, 2000 and 2500 rpm.

Burn angle MBF 90, with some assumptions, represents the end of combustion since the remaining unburned 10% portion of the fuel does not have significant effect on total heat release. Using of ethanol-



oxygenated fuel blends OE1-OE3 with the improved cetane number slightly increased burn angle MBF 90 for the lower speed range of 1500 and 2000 rpm. Whereas the fuel blend OE3 burned about 4.5% sooner in an engine cycle because the autoignition delay was 9.4% longer when running a fully loaded engine with the most flammable blend OE3 than with blend OE1 at the high speed of 2500 rpm.

Whereas when using biodiesel (RRME) oxygenated fuel blends OB1-OB3 with improved CN ratings within the same range of 51-67, both MBF 50 and especially the end of combustion representing angle MBF 90 took place later in an engine cycle than when running with ethanol-oxygenated blends OE1-OE3 at all loads and the respective speeds. In general, the effect of the cetane number and the widely different properties of the fuel blends derived from biomass of various origins on burn angle MBF 90 is greater than on burn angle MBF 50. Burn angle took place  $1.6^{\circ}$  (OE3) and  $1.9^{\circ}$  (OB3) CADs later due to increased CN rating of the tested blends at the low speed of 1500 rpm. Similar MBF 90 changing trends with increasing CN rating remained in value when using fuel blends of both ethanol and biodiesel origins at maximum torque speed of 2000 rpm ( $p_e=1.37$  MPa). The end of combustion representing angle MBF 90 occurred relatively  $2.2^{\circ}$  later for blend's OE3 case and  $0.5^{\circ}$  CADs later when using blend OB3.

The importance of the improved cetane number gained more advantages after transition to a higher speed of 2500 rpm. Now burn angle MBF 90 decreased by  $0.7^{\circ}$  (CN = 61) and by  $11.2^{\circ}$  CADs against that measured with fuel blend OE1 (CS = 51). The sooner the combustion ends up, the better is brake thermal efficiency of an engine due to the lower heat losses to the cooling system. Whereas the difference in the end of combustion compiled only  $0.3^{\circ}$  CADs due to transition from biodiesel-oxygenated blend OB1 (CN = 51) to the most flammable blend OB3 (CN = 67) at the high speed of 2500 rpm. The fuel blend OB2 (CN = 61) up to  $2.8^{\circ}$  later than blend OB1 with normal CN rating of 51 probably because the autoignition delay was too short (Fig. 3) when using this blend at the highest speed of 2500 rpm. This negatively affected the quality of air-fuel mixture and increased the overall combustion process.

The longer combustion (bigger angles MBF 50 and MBF 90) of biodiesel-oxygenated blends may occur due slower evaporation of biodiesel (RRME) droplets of a bigger size.

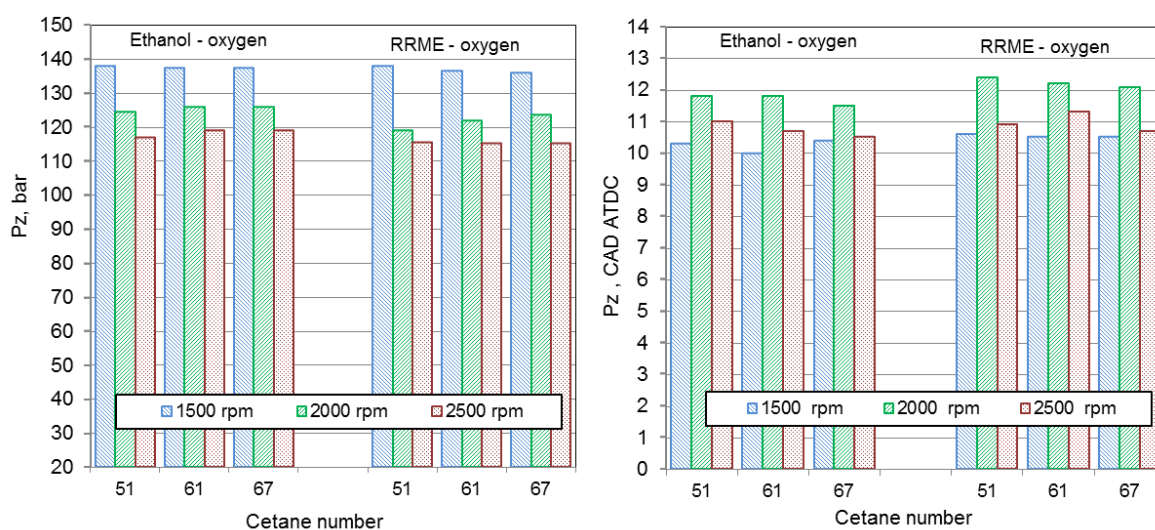


Fig. 6. Dependencies of maximum in-cylinder pressure on the cetane number of diesel-HVO fuel blends involving identical contents of ethanol or biodiesel fuel-bound oxygen (4.5 wt%) when running under 1.24, 1.37 and 1.40 MPa loads at the respective speeds of 1500, 2000 and 2500 rpm.

The in-cylinder gas pressure changed only marginally with the increasing cetane number of ethanol-oxygenated blends OE1-OE3 at lower speeds of 1500 and 2000 rpm (Fig. 6). Promising increase (1.7%) emerged only after transition with blends OE3 (CN = 67) to the high speed of 2500 rpm. This can be attributed to the longer autoignition delay (Fig. 3) that contributed to sooner combustion of the fuel, i.e. the end of combustion took place close to TDC (Fig. 5) and, thus, lower heat losses to the cooling system [10]. To faster combustion probably contributed also higher volatility and better mixing of ethanol-diesel-HVO fuel vapours with the in-cylinder compressed air charge. Maximum combustion pressure did not change greatly when using more-flammable biodiesel-oxygenated fuel blends OB2-OB3 at the low speed of 1500 rpm too. However, the in-cylinder pressure increased by 3.8% when running with the most flammable blend OB3 (CN = 67) at maximum torque speed of 2000 rpm. Whereas the cetane number improved within a wide range of 51-67 almost did not affect the peak in-cylinder pressure when running at the high speed of 2500 rpm.

Specific angles matching the locations of maximum heat release rate and maximum in-cylinder pressure did not change greatly with regard to TDC due to the cetane number improvement within the range of 51-67 for both types of diesel-HVO fuel blends oxygenated with ethanol or biodiesel. This means, the in-cylinder volume occupied by the flame remained almost unchangeable and, therefore, its potential effect on the studied combustion parameters was negligible.

**Conclusions.** To reveal the effect of the cetane number or physical properties of the fuel on the combustion process, the fuel blends were treated with ethanol or biodiesel (RRME) in such percentages by mass to assure the same variation range (51-67) of the cetane number, while maintaining identical fuel-bound oxygen mass fraction of 4.5 wt% (by mass). The above study revealed that:

- The improved cetane number of the fuel blends involving ethanol or biodiesel almost did not shorten the autoignition delay period when running a fully (100%) loaded turbocharged CRDI diesel over wide range of speeds. It was always longer when using the most flammable ethanol-oxygenated fuel blend OE3 (CN = 67) and the biggest 10.4% relative increase in CADs occurred when running at the high speed of 2500 rpm. Whereas the autoignition delay increased only by 2.9% when using diesel-HVO fuel blend OB3 (CN = 67) involving RRME at the same test conditions.
- The cetane number improvement from 51 to 67 of the fuel blends of both ethanol or biodiesel origins did not have a big effect on maximum heat release rate in the cylinder.  $W_{\max}$  relatively decreased by 2.6% and about 1.9% when running with fuel blend (OE3) at speeds of 1500 and 2000 rpm, but it increased by 0.5% and 2.0% when running with blend OB3 over the same range of speeds. Maximum heat release rate relatively increased by 15% when using diesel-HVO blend oxygenated with ethanol OE3 at the high speed of 2500 rpm.
- The improved cetane number of both fuel types did not have a big impact on the development of burn angle MBF 50, but chemical-physical properties of the fuel affected burn angle MBF 90. The end of combustion (MBF 90) always occurred later in an engine cycle when running with fuel blends involving RRME (OB1-OB3). Burn angle MBF 90% relocated away from TDC by about  $1.6^{\circ}$  and  $1.9^{\circ}$  when running with fuel blends OE3 or OB3 at speeds of 1500 and 2000 rpm. However, the end of combustion occurred by  $11.2^{\circ}$  (OE3) and  $0.3^{\circ}$  CADs earlier (OB3) when running at the high speed of 2500 rpm.
- The biggest relative increase in maximum in-cylinder pressure took place when running with the most flammable diesel-HVO fuel blend involving ethanol OE3 (1.7%) at the high speed of 2500 rpm or fuel blend involving biodiesel OB3 3.8% at maximum torque speed of 2000 rpm.
- The cetane number of oxygenated fuels can be improved up certain extent depending on biomass from which the oxygenator source was derived that suggests advantages in combustion and heat release characteristics when running a fully loaded turbocharged diesel engine at the high speed of 2500 rpm and higher (rated speed 4000 rpm).

## REFERENCES

1. Hui Liu, Shuangshuang Jiang, Jieni Wang, Chao Yang, HongshuangGuo, Xinjing Wang, Sheng Han. Fatty acid esters: a potential cetane number improver for diesel from direct coal liquefaction. *Fuel*. 153 (2015):78-84
2. Sivaramakrishnan K. Ravikumar P. Determination of cetane number of biodiesel and its influence on physical properties. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. ISSN 1819-6608. 2012. p. 205-211
3. Gerhard Knothea, Andrew C. Matheausb, Thomas W. Ryan III. Cetane numbers of branched and straight-chain fatty esters determined in an ignition quality tester. *Fuel* 82 (2003) 971–975.
4. Suzuki S, Hori M, Nakamura H, Tezuka T. Study on cetane number dependence of diesel surrogates/air weak flames in a micro flow reactor with a controlled temperature profile. *Proc Combust Inst* 2013;34 (2):3411–7.
5. Z.Q. CHEN, X.X. MA, S.T. YU, Y.N. GUO, J.S. LIU. Physical-chemical properties of ethanol-diesel blend-fuel and its effect on the performance and emissions of a turbocharged diesel engine. *International Journal of Automotive Technology*. No. 3, pp. 297–303 (2009).
6. Lu Xing-cai, Yang Jian-guang, Zhang Wu-gao, Huang Zhen. Effect of cetane number improver on heat release rate and emissions of high-speed diesel engine fuelled with ethanol–diesel blend fuel. *Fuel* 83 (2004) 2013–2020.
7. Labeckas G., Slavinskas S., Mažeika M. The effect of ethanol-diesel-biodiesel blends on combustion, performance and emissions of a direct injection diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 2014, Vol. 79, Issue 3, p. 698-720.
8. Labeckas G., Slavinskas S., Vilutienė V. Effect of the cetane number improving additive on combustion, performance, and emissions of a DI diesel engine operating on JP-8 fuel. *Journal of Energy Engineering*, 2015, Vol. 141, Issue 2, p. C4014005-1-14, [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)EY.1943-7897.0000.222](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000.222).
9. Labeckas G., Slavinskas S. Combustion phenomenon, performance and emissions of a diesel engine with aviation turbine JP-8 fuel and rapeseed biodiesel blends. *Energy Conversion and Management*, 15 November 2015, Vol. 105, p. 216-229.

10. Willard W. Pulkrabek (University of Wisconsin - Platteville). Engineering fundamentals of the Internal Combustion Engine. -Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458, 2009. 411 p.

**Лабеккас Г., Славинскас С., Канапкиене И. Влияние цетанового числа различных смесей дизельного топлива и гидрообработанного растительного масла (HVO) на процесс сгорания турбонаддувного дизельного двигателя.**

В статье приводится анализ влияния цетанового числа и химико-физических свойств смесей дизельного топлива и гидрообработанного растительного масла (HVO) различной концентрации обогащенных кислородом этанола (E) или биодизеля (B) на период задержки самовоспламенения, процесс сгорания, максимальную скорость тепловыделения, и пиковое давление в цилиндре турбонаддувного CRDI дизельного двигателя. Смесей дизельного топлива и гидрообработанного растительного масла (HVO) обогащенные чистым (200 proof) этанолом OE1-OE3 или эстером рапсового масла (биодизелем) OB1-OB3 (4.5 wt% кислорода) в таких пропорциях по массе чтобы обеспечить вариацию в широких пределах цетанового (C) числа 51.2-67.3 были испытаны при средних эффективных давлениях  $p_e = 1.24, 1.37$  и  $1.40$  МПа на соответствующих скоростных режимах 1500, 2000 и 2500 мин<sup>-1</sup>. Сравнительный анализ изменений оказавшихся в периоде задержки самовоспламенения, специфических углов сгорания MBF 50 и MBF 90, максимальной скорости тепловыделения и максимального давления в цилиндре в следствие использования топливных смесей обогащенных кислородом OE1-OE3 или OB1-OB3 выполнен по отношению к соответствующим значениям замеренным при работе на смеси с нормальным цетановым числом CE1 или CB1 чтобы выявить потенциальные тенденции развития параметров сгорания.

**Ключевые слова:** Дизельный двигатель; дизель-HVO топливные смеси; этанол; биодизель; самовоспламенение; сгорание; тепловыделение; максимальное давление в цилиндре

#### **АВТОРЫ:**

**ЛАБЕЦКАС Гвидонас**, доктор технических наук, профессор Института инженерии силовых и транспортных машин, университет им. Александра Стульгинскиса, e-mail: [gvidonas.labeckas@asu.lt](mailto:gvidonas.labeckas@asu.lt);

**СЛАВИНСКАС Стасис**, доктор технических наук, профессор Института инженерии силовых и транспортных машин, университет им. Александра Стульгинскиса, e-mail: [stasys.slavinskas@asu.lt](mailto:stasys.slavinskas@asu.lt);

**КАНАПКИЕНЕ Ирена**, докторант Института инженерии силовых и транспортных машин, университет им. Александра Стульгинскиса, e-mail: [kanapkiene.irena@gmail.lt](mailto:kanapkiene.irena@gmail.lt)

#### **AUTHORS:**

**Gvidonas LABECKAS**, Ph.D. in Engineering, Professor of Power and Transport Machinery Engineering Institute, Aleksandras Stulginskis University, e-mail: [gvidonas.labeckas@asu.lt](mailto:gvidonas.labeckas@asu.lt);

**Stasys SLAVINSKAS**, Ph.D. in Engineering, Professor of Power and Transport Machinery Engineering Institute, Aleksandras Stulginskis University, e-mail: [stasys.slavinskas@asu.lt](mailto:stasys.slavinskas@asu.lt);

**Irena KANAPKIENĖ**, PhD student at Power and Transport Machinery Engineering Institute, Aleksandras Stulginskis University, e-mail: [kanapkiene.irena@gmail.lt](mailto:kanapkiene.irena@gmail.lt)

Стаття надійшла в редакцію 13.05.2017р.

Біліченко В.В., Коробов С.С.  
Вінницький національний технічний університет

## СТАТИСТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНІВ РОЗПОДІЛУ ФАКТИЧНОГО РЕСУРСУ МІСЬКИХ АВТОБУСІВ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Формування структури системи технічного обслуговування (ТО) і ремонту визначалося сталим рівнем надійності і якості виготовлення автомобілів, умовами експлуатації рухомого складу, цілями, поставленими перед автомобільним транспортом і його підсистемою - технічною експлуатацією, наявними ресурсами і організаційно-технічними обмеженнями. Існуюча система ТО і ремонту сформувалася в основному в 50 - 60-і роки минулого століття і стала для того часу прогресивною формою підтримки працездатності рухомого складу. Зважаючи на все вище сказане існує лише система ТО яку пропонує завод виробник, тому існує необхідність розробки альтернативної системи яка б ґрунтувалася на наукових дослідженнях і статистиці.

**Ключові слова:** підвищення ефективності, експлуатація автобуса, технічний стан.

**Постановка проблеми.** Вирішення загальної проблеми щодо підвищення ефективності експлуатації міських автобусів потребує єдиного підходу до їх обслуговування за фактичним технічним станом.

Одним із шляхів підвищення ресурсу ТЗ є встановлення раціональної періодичності профілактики. Основними критеріями є: закономірність зміни і витрати на технічне обслуговування (ТО) і ремонт (Р) ТЗ. На практиці експлуатації міських автобусів використовують рекомендації заводів-виготовлювачів, науково-дослідних та інших установ, готові програмні засоби. Завдання експлуатаційників зводяться до правильної організації системи підтримання працездатності міських автобусів, корегуючи рекомендації виробників і постачальників техніки з урахуванням фактичних умов експлуатації.

Як показано в роботах М.Я. Говоруценка, Е.С. Кузнєцова, Р.В. Крамаренка, А.М. Шейніна та ін. особливо великі складності виникають при дослідженні інтенсивності зміни технічного стану засобів транспорту (ТЗ), на які впливають експлуатаційні чинники. Інтенсивність зміни технічного стану ТЗ на 70-90% залежить від умов експлуатації, оцінити вплив яких дуже ускладнено.

На основі встановлення нових залежностей зміни технічного стану агрегатів автобусів від пробігу необхідно розробити новий підхід до управління їх ресурсом шляхом корегування періодичності ТО, що рекомендовані виробниками, з урахуванням фактичних умов експлуатації. Це дасть змогу збільшити їх добові пробіги, забезпечити безпеку руху, зменшити простої та собівартість перевезень. Це є актуальним завданням для розвитку транспортної галузі України.

Метою статі є розробка методики проведення статистичного дослідження законів розподілу фактичного ресурсу міських автобусів

Таким чином, на думку провідних вчених (М.Я. Говоруценка, В.М. Варфоломєєв, І.М. Арінін, В.В. Рудзінський, А.М. Туренко, В.П. Волков, А.Т. Лебедев, О.П. Кравченко, О.В. Козаченко та інші) необхідно розробляти засоби для ТО і Р, що дозволять підвищити ефективність використання ресурсу ТЗ. Крім того, згідно з роботами О.С. Полянського і В.Г. Кухтова виникає необхідність прогнозувати та забезпечувати заданий рівень технічного стану агрегатів ТЗ.

У виконаних раніше дослідженнях розроблено ряд методів визначення та коригування нормативів періодичності ТО, але всі вони мають припущення та обмеження, що знижують точність розрахунків обмеження що до області використання. Ці методи реалізовані у нормативних документах, що регламентують системи забезпечення працездатності: у Положенні про ТО і ремонт рухомого складу автомобільного транспорту (далі – Положення), сервісних книжках. У Положенні все різноманіття умов експлуатації зведено до п'яти категорій, норматив періодичності ТО для яких змінюється у відносних одиницях від 1,0 до 0,6. При цьому варіація умов всередині категорії не враховується.

Провідні світові виробники автомобілів зазвичай пропонують прості методики коригування нормативів періодичності ТО. Наприклад, для вантажних автомобілів Мерседес, що виконують далекі поїздки, періодичність ТО становить 100 тис. км, а для автомобілів, які працюють у важких умовах, норматив може бути знижений до 30 тис. км. При цьому не ясно, що розуміється під важкими умовами і наскільки в конкретному випадку потрібно знизити норматив. Використовувати



для коригування нормативу методу з Положення неможливо, оскільки в даному випадку передбачається більш широкий інтервал зміни – від 1,0 до 0,3.

Таким чином, існує потреба вирішення актуальної проблеми оперативного коригування нормативів періодичності ТО автомобілів з урахуванням специфіки умов експлуатації.

При плануванні обробки статистичних даних необхідно скласти матрицю плану експерименту щодо даних фактичного ресурсу основних систем міських автобусів і визначити необхідну кількість вимірів результативного параметра в кожному рядку матриці плану [4,6]. Необхідні статистичні дані отримуються на основі вивчення ресурсу основних частин міських автобусів на момент експлуатації в АТП.

Обробка статистичних даних реалізована за допомогою електронної таблиці «Аналіз даних Microsoft Excel» [4]. Обробка містила розрахунок статистичних характеристик: середнє значення; середнє квадратичне відхилення середнього; середнє квадратичне відхилення; дисперсія; коефіцієнт варіації; асиметрія; ексцес;  $X_{\min}$ ;  $X_{\max}$ .

Кількість інтервалів визначилась за формулою Хайнхольда і Гаєде при цьому розраховувались також інші статистичні характеристики [6]:

$$0,55 \cdot n^{0,4} \leq k \leq 1,25 \cdot n^{0,4}, \quad (1)$$

де  $n$  – сумарне число досліджених елементів, од.;

$k$  – кількість інтервалів.

Довжина інтервалу визначається за формулою:

$$T = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{k}, \quad (2)$$

де  $t_{\max}$  і  $t_{\min}$  – найбільше і найменше значення фактичного ресурсу основних частин, тис. км.

Експериментальна імовірність ресурсу в заданому інтервалі визначається за формулою:

$$p_i = \frac{m_i}{n}, \quad (3)$$

де  $m_i$  – експериментальна частотність в  $i$ -му інтервалі.

Середнє значення  $\bar{l}$ , середні квадратичні відхилення  $\sigma$  і значення коефіцієнта варіації  $v$  визначається за формулами:

$$\bar{l} = \sum_{i=1}^k l_{ci} \cdot p_i; \quad (4)$$

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^k (l_{ci} - \bar{l})^2 \cdot p_i}; \quad (5)$$

$$v = \frac{\sigma}{\bar{l}}, \quad (6)$$

де  $k$  – число інтервалів в статистичному ряді;

$l_{ci}$  – значення середини  $i$ -го інтервалу.

Напрацювання на відмову основних частин міських автобусів можуть описуватися різними законами розподілу. В залежності від конструкції, технічного стану міських автобусів, умов експлуатації, чинників, які впливають на знос, форми зносу можливі такі закони розподілу:

1) нормальний закон розподілу [3,5]

$$f(l) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(l-\bar{l})^2}{2\sigma^2}}; \quad (7)$$

2) експоненціальний розподіл [3,5]

$$f(l) = \frac{1}{\bar{l}} \exp\left[-\frac{l}{\bar{l}}\right]; \quad (8)$$

3) логарифмічно нормальний закон [3,5]

$$f(l) = \frac{1}{\sigma_{\ln l} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln l - \bar{\ln l})^2}{2 \cdot \sigma_{\ln l}^2}}; \quad (9)$$

4) закон Вейбулла [81, 83, 91, 97]

$$f(l) = \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{l}{a}\right)^{b-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{l}{a}\right)^b\right]. \quad (10)$$

Для більш повної характеристики законів розподілу ресурсу основних частин міських автобусів визначається значення коефіцієнтів асиметрії та ексцесу ресурсного випробування за формулами:

$$A = \frac{\mu_3}{\sigma^3}; \quad (11)$$

$$E = \frac{\mu_4}{\sigma^4} - 3, \quad (12)$$

де  $\mu_3, \mu_4$  – центральні моменти 3-го і 4-го порядку випадкової величини  $l_{ci}$ .

Центральний момент  $j$ -го порядку визначається за формулою:

$$\mu_j = M\left(\left[l_{ci} - \bar{l}\right]^j\right), \quad (13)$$

де  $M$  – математичне очікування випадкової величини  $l_{ci}$ , тис. км.

Ступінь близькості емпіричного розподілу до теоретичного оцінювали за допомогою критерію згоди Колмогорова [6].

Ймовірність появи відмови до досягнення нормативного ресурсу визначається за формулою:

$$P_{\text{від}} = 0,5 \mp \Phi(z), \quad (14)$$

де  $\Phi(z)$  – нормована функція Лапласа визначали за формулою [91]:

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z \exp^{-\frac{z^2}{2}} dz. \quad (15)$$

Інтервал з імовірністю 90 % визначається за формулою [4]:

$$L = \bar{L} \pm 1,645 \cdot \sigma. \quad (16)$$

Оцінка відповідності емпіричного розподілу вибраному теоретичному проводилась за критерієм Пірсона [2]:

$$\chi^2 = n \cdot \sum_{i=1}^n \frac{[f_{emn}^i - f_{теор}^i]^2 \cdot h_i}{f_{теор}^i}, \quad (17)$$

де  $n$  – загальне число спостережень;

$f_{emn}^i$  – емпіричне значення диференціальної функції розподілу в  $i$ -му інтервалі;

$f_{теор}^i$  – теоретичне (розраховане за законом розподілу) значення диференціальної функції розподілу в  $i$ -м інтервалі;

$h_i$  – довжина інтервалу.

Значення  $\chi^2$  не повинно перевищувати табличне, визначене для повного числа мір свободи, з заданою ймовірністю.

Під час вирішення задачі щодо експериментальних досліджень використовували апарат кореляційно-регресійного аналізу.

Щільність парних кореляційних зв'язків між чинниками і функціями відгуку оцінювали за величиною коефіцієнтів парної кореляції [4]:

$$\hat{r} = \frac{\overline{x \cdot y} - \overline{x} \cdot \overline{y}}{\sigma_x \cdot \sigma_y}, \quad (18)$$

де  $\overline{x \cdot y}$  – середнє значення від добутку  $x \cdot y$ ;

$\overline{x}$ ,  $\overline{y}$  – середнє значення відповідно параметрів  $x$ ,  $y$ , що досліджуються;

$\sigma_x, \sigma_y$  – середнє квадратичне відхилення параметрів  $x$ ,  $y$ , що досліджуються.

Значущість коефіцієнтів кореляції перевіряється за критерієм Стюдента. Кореляційний зв'язок вважався значимим, якщо виконувалася умова [4]:

$$t = \frac{|r|}{\sqrt{1-r^2}} \cdot \sqrt{n-2} \geq t_p, \quad (19)$$

де  $t_p$  – табличне значення критерію Стюдента для довірчої імовірності  $P$  і  $n-2$  мір свободи.

Адекватність математичних моделей оцінюється за критерієм Фішера і середній помилці апроксимації  $\overline{\varepsilon}$ . Модель вважалася адекватною, якщо виконувалася умова (при  $F \geq 1$ ) [4]:

$$F = \frac{S_x^2}{S_y^2} \leq F_p, \quad (20)$$

де  $F$  – дисперсійне відношення Фішера;

$F_p$  – табличне значення критерію Фішера для довірчої імовірності  $P$  і  $n-2$  мір свободи.

Середня помилка апроксимації  $\overline{\varepsilon}$ :

$$\overline{\varepsilon} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - y_{pi}|}{y_i} \cdot 100\%, \quad (21)$$

де  $y_i - y_{pi}$  – залишки;

$y_i$  – значення прогнозованої функції;

$n$  – кількість точок даних.

Модель вважається адекватною, якщо середня помилка апроксимації не перевищує 12-15% [4].

При дослідженні фактичного ресурсу міських автобусів можливе виникнення умов що унеможливають або значно ускладнюють проведення повного циклу випробувань. Це можливо коли відсутня необхідна кількість автобусів однієї моделі, середньодобовий пробіг автобусів є незначним, ресурс окремих агрегатів і систем є досить значним. за таких умов прогнозування ресурсу основних частин міських автобусів проводиться на основі аналізу результатів незавершених випробувань з використанням методу найменших квадратів. Цей метод використовується при

прогнозуванні надійності за результатами незавершених випробувань (при обробці цензурованих вибірок) [4,6].

У цьому випадку передбачається виконання таких етапів:

- 1) будується варіаційний ряд;
- 2) ряд розбивається на інтервали;
- 3) вихідні дані групуються за інтервалами;
- 4) визначаються накопичені частоти відмов в інтервалах;
- 5) визначається оцінка відмов в інтервалах;
- 6) визначається імовірність безвідмовної роботи в інтервалах;
- 7) проводиться апроксимація експериментальних даних рівнянням прямої (рис. 1):

Функція апроксимації має вигляд:

$$f(l) = a_0 \cdot (l - a_1), \quad (22)$$

де  $l$  – абсциса експериментальної точки (залежно від вигляду розподілу вона є напрацюванням або її логарифмом (для логарифмічно нормального закону);

$a_0$  – початкове значення ресурсу агрегату;

$f(l)$  – ордината експериментальної точки, відповідної імовірності безвідмовної роботи, визначеної на основі результатів експерименту (для нормального і логарифмічно нормального законів розподілу вона дорівнює квантілі нормованого розподілу  $f(l) = u_p$ , для експоненціального –

$$f(l) = \ln \frac{1}{1 - F},$$

для закону Вейбулла –

$$f(l) = \ln \ln \frac{1}{1 - F};$$

- 8) визначаються оцінки параметрів розподілу;
- 9) визначаються оцінки середнього ресурсу агрегату

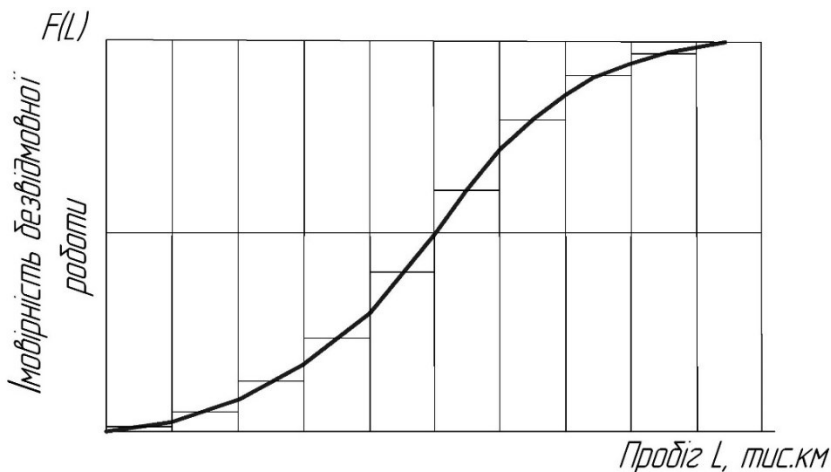


Рисунок 2.8 – Апроксимація експериментальних даних рівнянням прямої

**Висновки:** Розглянуто методику визначення ресурсу основних агрегатів та систем міських автобусів за результатами статистичних досліджень в умовах автотранспортного підприємства за умови проведення як повного тапк і незавершеного циклу випробувань. Результати таких досліджень дозволять отримати дані необхідні для коригування періодичності технічного обслуговування з урахуванням конкретних умов експлуатації.

1. Авдонькин Ф.Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей : [учебное пособие для вузов] / Авдонькин Ф.Н. – М. : Транспорт, 1985. – 215 с.
2. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: методы планирования эксперимента / Н. Джонсон, Ф. Лион. – М. : Мир, 1981. – 520 с.
3. Лукинский В.С. Прогнозирование надежности автомобилей / Лукинский В.С., Зайцев Е.И. – Л. : Политехника, 1991. – 224 с.
4. Минько А.А. Статистика в бизнесе. Руководство менеджера и финансиста / Минько А.А. – М. : Эксмо, 2008. – 504 с.

5. Проников А.С. Параметрическая надежность машин / Проников А.С. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 560 с.
6. Шпаков П.С. Статистическая обработка экспериментальных данных : [учебное пособие] / П.С. Шпаков, В.Н. Попов. – М. : Издательство Московского государственного горного университета, 2003. – 268 с.

#### REFERENCES

1. Avdonkin F.N. Theoretical foundations of technical operation of cars: [textbook for high schools] / Avdonkin FN. - M.: Transport, 1985. - 215 with.
2. Johnson N. Statistics and experiment planning in engineering and science: methods of experiment planning / N. Johnson, F. Lyons. - Moscow: Mir, 1981. - 520 p.
3. Lukinsky VS Forecasting the reliability of cars / Lukinsky VS, Zaitsev EI - L.: Polytechnic, 1991. - 224 p.
4. Minko A.A. Statistics in business. Management of a manager and financier / Minko AA - M.: Eksmo, 2008. - 504 p.
5. Pronikov A.S. Parametric reliability of machines / Pronikov AS - M.: МГТУ им. Н.Е. Бауман, 2002. - 560 p.
6. Shpakov P.S. Statistical processing of experimental data: [textbook] / PS. Shpakov, V.N. Popov. - M.: Publishing house of Moscow State Mining University, 2003. - 268 p.

#### **Біліченко В.В., Коробов С.С. Статистическое исследование законов распределения фактический срок службы городских автобусов в процессе эксплуатации**

Формирование структуры системы технического обслуживания (ТО) и ремонта определялось постоянным уровнем надежности и качества изготовления автомобилей, условиями эксплуатации подвижного состава, целями, поставленными перед автомобильным транспортом и его подсистемой – технической эксплуатацией, имеющимися ресурсами и организационно-техническими ограничениями. Существующая система ТО и ремонта сформировалась в основном в 50 - шестидесятые годы прошлого века и стала для того времени прогрессивной формой поддержания работоспособности подвижного состава. Учитывая все выше сказанное существует только система ТО которую предлагает завод изготовитель, поэтому существует необходимость разработки альтернативной системы которая основывалась на научных исследованиях и статистике.

**Ключевые слова:** повышение эффективности, эксплуатация автобуса, техническое состояние.

#### **Bilichenko V.V., Korobov S.S. The statistical study of probability distributions actual buses in service**

Formation of structure of maintenance (maintenance) and repair of determined constant level of reliability and manufacturing quality cars, rolling stock operating conditions, the objectives assigned to the road and its subsystems - technical exploitation of available resources and organizational and technical constraints. The existing system and repair formed mainly 50 - 60 years of the last century and was at that time a progressive form of support efficiency of rolling stock. Considering all the above said, there is only a maintenance system that offers plant manufacturer, so there is need to develop an alternative system which would be based on scientific research and statistics.

**Keywords:** efficiency, operation of bus technical condition.

#### **АВТОРИ:**

**БІЛІЧЕНКО** Віктор Вікторович, д.т.н., професор, завідувач кафедри «Автомобілів та транспортного менеджменту», Вінницький національний технічний університет, e-mail: [bilichenko.v@gmail.com](mailto:bilichenko.v@gmail.com)

**КОРОБОВ** Сергій Сергійович, аспірант кафедри «Автомобілів та транспортного менеджменту», Вінницький національний технічний університет, e-mail: [dabl-s@ukr.net](mailto:dabl-s@ukr.net)

#### **АВТОРЫ:**

**БИЛИЧЕНКО** Виктор Викторович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Автомобилей и транспортного менеджмента», Винницкий национальный технический университет, e-mail: [bilichenko.v@gmail.com](mailto:bilichenko.v@gmail.com)

**КОРОБОВ** Сергей Сергеевич, аспирант кафедры «Автомобилей и транспортного менеджмента», Винницкий национальный технический университет, e-mail: [dabl-s@ukr.net](mailto:dabl-s@ukr.net)

#### **AUTHORS:**

**BILICHENKO** Victor, professor, head of department "Automotive and Transport Management" Vinnitsa National Technical University, e-mail: [bilichenko.v@gmail.com](mailto:bilichenko.v@gmail.com)

**KOROBOV** Sergey, graduate faculty "Automotive and Transport Management" Vinnitsa National Technical University, e-mail: [dabl-s@ukr.net](mailto:dabl-s@ukr.net)

Стаття надійшла в редакцію 10.05.2017 р.

Бондаренко А.Є.

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры***ЭЛЕКТРО-МЕХАНИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ И ЕГО ВОЗМОЖНОСТИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

Рассмотрен вопрос электромеханического упрочнения деталей. Показана принципиальная схема устройства и приведены основные режимы для упрочнения деталей с возможностью их использования применительно к деталям строительной техники.

**Ключевые слова:** упрочнение, электрический ток, режимы, примеры использования.

**Постановка проблемы.** Для повышения долговечности машин применяют различные методы упрочнения рабочих поверхностей [1, 2], которые имеют ряд различных достоинств и недостатков.

В связи с этим **целью работы** является описание электромеханического упрочнения поверхностей деталей как одного из методов, который в определенной мере подходит для обработки деталей, входящих в конструкции строительной техники. Тем более, что упрочняющая установка представляется нам достаточно простой в изготовлении и удобной для эксплуатации.

**Результаты исследований.** На рис. 1 приведена принципиальная схема для электромеханического упрочнения деталей. Она состоит из понижающего трансформатора, реостата в первичной обмотке для изменения и выбора режима обработки, контролирующих приборов (амперметра и вольтметра), инструмента, токосъемника и, конечно, самой детали.

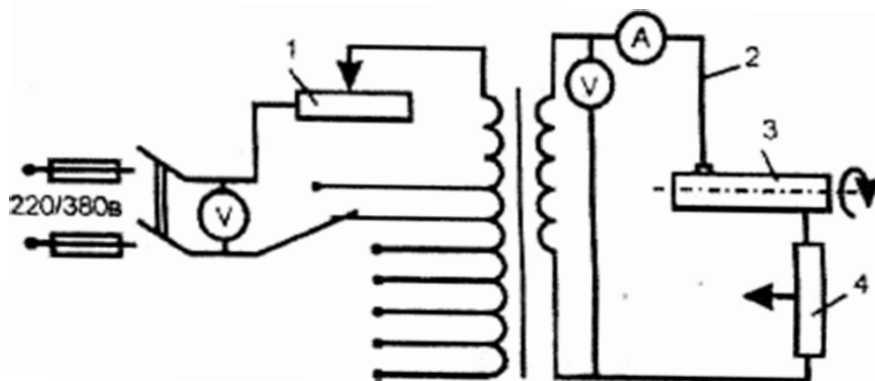


Рис. 1. Принципиальная схема устройства для электромеханической обработки:  
1 - реостат; 2 - вторичная обмотка; 3 – деталь; 4 – инструмент.

Необходимые режимы обработки в основном подбирают экспериментальным путем, но сначала используют рекомендуемые табличные данные и формулы [1, 2]. Однако во всех случаях выполняют упрочняющую проверку.

Для примера приведем в табл. 1 ориентировочные режимы упрочнения среднеуглеродистых конструкционных сталей.

Как следует из табл. 1, необходима большая сила тока порядка 300-600 А при глубине упрочнения до 0,10 мм. При большей глубине упрочнения до 0,30 мм сила тока достигает 800-1200 А при одном-двух проходах инструментом. Глубину упрочнения рассчитывают по формуле:

$$\delta = \frac{K\mu(0,24\eta jU + \frac{pvf}{42,7})}{cvB\rho T\phi} \quad (1)$$

где  $K$  - коэффициент, учитывающий количество поглощаемой теплоты; в зависимости от принятых режимов обработки  $K = 0,23 \div 0,26$ , среднее значение коэффициента при укрупненных расчетах  $K_{ср} = 0,234$ ;

$\mu$  - коэффициент, определяющий количество теплоты, создаваемой в зоне контакта и

отводимой в упрочняемую деталь; увеличение силы тока приводит к увеличению коэффициента  $\mu$ , увеличение скорости сглаживания и давления способствует его понижению; для более высоких режимов  $\mu \approx 0,6$ , для менее высоких  $\mu \approx 0,5$ ;

$\eta$  - коэффициент, учитывающий потери во вторичной цепи трансформатора; для средних условий ЭМПО коэффициент  $\eta \approx 0,42$ ;

$j$  - сила тока вторичной цепи;

$U$  - напряжение тока во вторичной цепи;  $U = 2 \div 6$  В;

$p$  - нормальное давление при сглаживании; при обработке конструкционных сталей  $p \approx 0,3 \div 0,5$

ГПа;

$v$  - скорость сглаживания, см/с;

$f$  - коэффициент трения; для среднеуглеродистой стали при средних условиях ЭМПО коэффициент  $f = 0,65 \div 0,75$ ;

$c$  - удельная теплоемкость металла, Дж/(г $^{\circ}$ С);

$B$  - ширина контакта, мм;

$\rho$  - плотность, г/см $^3$ ;

$T\phi$  - температура фазового превращения металла (точка  $A_{c3}$ ),  $^{\circ}$ С.

Таблица 1

Режим упрочнения	Инструмент	Сила тока, А	Скорость м/мин	Подача мм/об	Параметр шероховатости, $Ra$	Глубина упрочненного слоя, мм	Число проходов
Чистовой, скоростной при глубине упрочнения: малой средней	Пластина	350-450	80-130	0,2-0,3	0,63-0,16	0,02-0,03	1-2
		480-600	8-15			0,06-0,10	2-3
Высокий со значительной глубиной упрочнения	Ролик	800-1200	8-10	0,2-0,3	2,5-0,63	0,15-0,30	1-2

На усилие электромеханического сглаживания влияют площадь поверхности контакта инструмента с изделием и физико-механические свойства поверхностного слоя.

В свою очередь, поверхность контакта зависит в основном от исходной шероховатости и кривизны контактирующих поверхностей детали и инструмента.

В том случае, если давление  $p \leq p_{расч}$  (расчетное давление), то шероховатость поверхности увеличивается; если  $p > p_{расч}$ , то процесс сглаживания начинает переходить в процесс высадки и появляется так называемая вторичная шероховатость.

Давление можно рассчитать по формуле:

$$P_{расч} = \omega K_n \sigma_v F \left( \frac{Rz}{Rz-a} \right)^m, \quad (2)$$

где  $\omega$  - коэффициент скорости;

$K_n$  - коэффициент пропорциональности;

$\sigma_v$  - предел прочности нагретого металла;

$F$  - площадь поверхности контакта;

$Rz$  - параметр шероховатости сглаживаемой поверхности;

$a$  - сближение инструмента и детали при сглаживании;

$m$  - показатель политропы сжатия.

Значения коэффициента  $\omega$  приведены в табл. 2.

Мощность (кВт) процесса сглаживания неровностей и упрочнения поверхности электромеханической пластической обработкой можно рассчитать по формуле, пренебрегая при этом величиной работы, совершаемой при подаче инструмента:



$$Nэ = Pрасчfv/(60 \cdot 120). \quad (3)$$

Таблица 2

Значения коэффициента  $\omega$ 

Скорость рабочего органа машины, м/мин	Температура обработки, °С		
	до 0,5 $T$	св. 0,5 $T$ при неполной горячей деформации	св. 0,5 $T$ при горячей деформации
16-42	1,10	1,4-2,4	1,2-1,6
42-125	1,15	2,4-3,0	1,6-2,0
Св. 160	1,25	3,5	2,5

Примечание.  $T$  – абсолютная температура плавления обрабатываемого материала

При выборе метода упрочнения электромеханической пластической обработкой и установлении режимов этой обработки учитывают состояние исходной структуры металла, его дисперсность и химический состав. Мелкозернистая структура, обладая большим сопротивлением и большей суммарной поверхностью раздела, способствует более интенсивному выделению теплоты, лучшей растворимости легирующих элементов, карбидов и нитридов, а также более глубокой прокаливаемости поверхностного слоя, отличается меньшей электрической проводимостью. По мере увеличения температуры отпуска электрическая проводимость закаленной стали повышается, что связано с понижением степени дисперсности ее структуры.

Отдельные составляющие структуры поликристаллов (например, перлит, феррит и цементит) обладают различным сопротивлением прохождению тока. Наибольшее сжатие силового потока и наиболее высокая температура возникают по границам различных включений или пор. Это обстоятельство имеет большое значение при обработке поверхностных слоев, образованных при восстановлении деталей наплавкой и металлизацией и содержащих много пор и других объемных дефектов.

Если обработку проводят на режиме, при котором отсутствуют фазовые превращения и поверхностный слой имеет темный цвет, то температуру обработки принимают ниже 0,5  $T_{\phi}$  ( $T_{\phi}$  – температура фазовых превращений). В том случае, когда обработку проводят с фазовыми превращениями, поверхностный слой светлый, но переходный слой имеет ярко выраженную завихренность (текстурированность), температуру обработки можно принять выше 0,5  $T_{\phi}$  при неполной горячей деформации. При наличии фазовых превращений в поверхностном слое и резком переходе к исходной структуре без заметной завихренности температура обработки должна быть выше 0,5  $T_{\phi}$  (горячая деформация).

При высоких температурах и значительных давлениях в процессе ЭМПО возможно появление растягивающих остаточных напряжений в светлом поверхностном слое обрабатываемой стали, несмотря на мартенситное строение его структуры. При умеренных температурах (ниже  $A_{с3}$ ) и небольших давлениях в мартенситной структуре могут появиться сжимающие остаточные напряжения.

При высокотемпературной деформации, когда температура процесса выше  $A_{с3}$ , возникает горячий наклеп металла. В результате деформированные зерна приобретают мелкодисперсное строение, уплотняются и частично срастаются, диффузионно свариваются и соединяются между собой. Поверхностный слой принимает темный цвет. Такой слой металла характеризуется уменьшением начального объема и, следовательно, появлением растягивающих остаточных напряжений.

Давление обрабатываемой пластины при ЭМПО создает тангенциально направленную силу трения, которая способствует вытягиванию наружных слоев металла, возникновению растягивающих остаточных напряжений. Избежать этого можно в случае применения вращающегося ролика вместо пластины.

Многократное термомеханическое воздействие на поверхностный слой стальной детали способствует созданию более мелкой, однородной и плотной структуры. При многократном воздействии, характеризующемся числом проходов инструмента по упрочняемой поверхности, показатель политропа сжатия можно рассчитать по формуле:



$$m = \frac{lN}{S}, \quad (4)$$

где  $l$  - длина контакта инструмента с деталью, мм;  
 $N$  - число повторных ходов;  
 $S$  - подача, мм/об.

Твердость упрочненного поверхностного слоя зависит от числа проходов инструмента, скорости сглаживания (скорости пластического деформирования), давления на поверхность в точке (зоне) контакта, а также от физико-химических особенностей металла обрабатываемой детали. При прочих равных условиях твердость возрастает с увеличением количества углерода в стали, числа проходов инструментом и давления на инструмент.

Наибольшей твердостью обладает поверхностный слой глубиной 0,02-0,1 мм. Зависимость твердости поверхностного слоя стальных деталей после упрочнения ЭМПО от перечисленных факторов приведена на рис. 2.

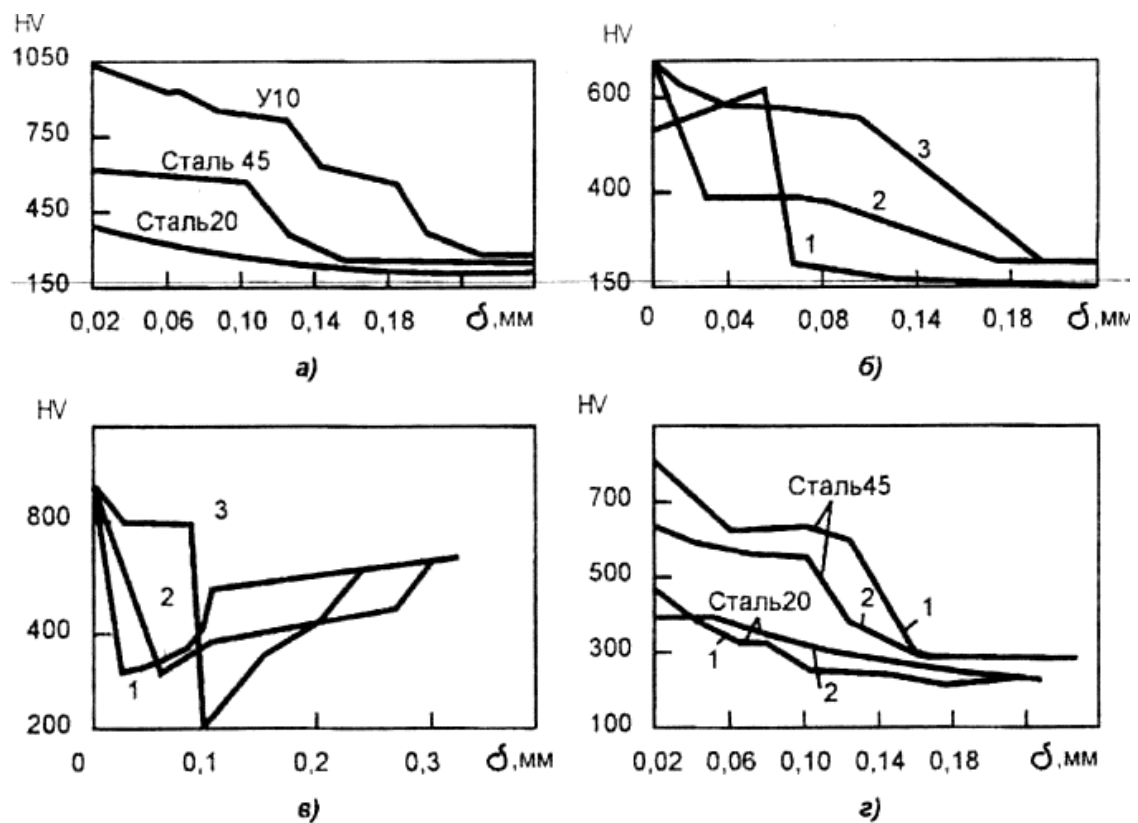


Рис. 2. Зависимость твердости поверхностного слоя от содержания углерода в стали (а), числа проходов инструмента (б), скорости сглаживания (скорости упрочняющей пластической деформации) (в) и давления на инструмент (з): а -  $p = 700$  Па;  $I = 600$  А;  $v = 3,2$  м/мин;  $S = 0,195$  мм/об; б - сталь 40Х, 318 НВ,  $I = 710$  А,  $v = 8$  м/мин,  $S = 0,2$  мм/об; в - сталь 40Х, 536 НВ,  $I = 470$  А,  $p = 500$  Па,  $S = 0,2$  мм/об; на рис. б и в; 1 -  $v = 82,2$  м/мин; 2 -  $v = 54,1$  м/мин; 3 -  $v = 13,6$  м/мин; 2 -  $I = 600$  А;  $v = 3,2$  м/мин;  $S = 0,195$  мм/об (1 -  $p = 100$  Па; 2 -  $p = 700$  Па)

В качестве неподвижного жестко закрепленного инструмента применяют пластины или ролики твердого сплава Т15К6 с двойным радиусом скругления торца; например,  $R = 25 \div 40$  мм,  $r = 15$ , где  $R$  - радиус в плане;  $r$  - радиус профиля пластины (ролика).

При одинаковых режимах ЭМПО глубина упрочненного слоя выше при сглаживании неподвижным инструментом. В этом случае имеет место трение скольжения, что приводит к образованию завихренной текстуры и более интенсивному измельчению структуры поверхностного слоя.

Детали, упрочненные неподвижным инструментом, по сравнению с деталями, упрочненными подвижным инструментом, обладают большей выносливостью и износостойкостью. При работе неподвижным инструментом, имеющим радиусный профиль, на нем быстро образуется площадка.

Поэтому на радиусе нужно выполнить поясок шириной 0,5 мм, что в несколько раз увеличивает стойкость инструмента. Перед каждой очередной операцией инструмент-ролик поворачивают на угол 10-15° для обновления поверхности контакта.

К недостаткам неподвижного инструмента относится его сравнительно небольшая стойкость. Поэтому он находит применение при обработке небольших поверхностей типа шеек валов. При упрочнении валов диаметром 60-100 мм из среднеуглеродистых нормализованных сталей с параметрами шероховатости  $Ra - 0,63 \div 0,08$  мкм профильный ролик диаметром 45 мм может быть принят равным 15 мм. Режим обработки: сила тока  $I = 400-450$  А, подача  $S = 0,21$  мм/об, сила прижатия  $P = 500 \div 700$  Н.

Упрочнение колец диаметром 60-100 мм, изготовленных, например, из отожженной стали 40Х, можно осуществить неподвижной пластиной из твердого сплава Т15К6 (геометрия пластины:  $R = 30$  мм,  $r = 15$  мм) при следующем режиме обработки:  $I = 400$  А,  $v = 6,5$  м/мин,  $S = 0,2$  мм/об,  $P = 200$  Н.

Для повышения стойкости инструмента подача при ЭМПО не должна совпадать с подачей, применявшейся при резании. Целесообразно при этом использовать охлаждение сжатым воздухом, эмульсией или любой пожаробезопасной смазочно-охлаждающей средой.

Например, предварительную обточку под сглаживание выполняют при режиме резания

$$v = 120 \div 430 \text{ м/мин}, t = 0,3 \text{ мм}, S = 0,17 \text{ мм/об}$$

резцом из сплава Т15К6, имеющим следующую геометрию:

$$\gamma = 5^\circ, \alpha = 8^\circ, \varphi = 45^\circ, \varphi_1 = 30^\circ, r = 0,5 \text{ мм.}$$

После предварительной токарной обработки параметры шероховатости поверхности соответствуют  $Rz = 40 \div 10$  мкм. Поэтому последующее выполнение операции выглаживания на указанных выше режимах будет эффективным при достаточной стойкости инструмента.

При чистовой обработке нежелательно возникновение схватывания контактируемых материалов, так как это ведет к образованию нароста на твердом сплаве и резкому увеличению шероховатости поверхности. Поэтому при изготовлении деформирующего инструмента твердые сплавы типа ВК, обладающие большой склонностью к схватыванию, следует заменять сплавами типа ТК.

Преимущества вращающегося ролика: высокая стойкость, возможность упрочнения деталей на большую глубину. Вращающийся ролик применяют при обработке больших поверхностей, когда не предъявляют высоких требований к их волнистости, а также во всех случаях при обработке чугуна.

Процесс ЭМПО выполняют при постоянном токе. Источниками постоянного тока могут быть мощные низковольтные выпрямители, электромашинные преобразователи, генераторы постоянного тока, сварочные трансформаторы, трансформаторы машин для точечной и контактной сварки и др. При выборе мощности трансформатора следует учитывать продолжительность его включения. При ЭМПО она может достигать 30-50%, что неизбежно отразится на увеличении необходимой номинальной мощности.

Для многих процессов упрочнения ЭМПО, в особенности при одновременном использовании нескольких инструментов, а также при обработке крупногабаритных деталей требуется большая мощность источника тока. Необходимая сила тока во вторичном контуре может достигать 2000-3000 А и выше. В этих случаях наиболее подходящими являются трансформаторы для контактной сварки мощностью 25-50 кВт. Диапазон их регулирования при установлении режима процесса может быть расширен введением в первичную цепь трансформатора напряжения 220/380 В.

Более плавное регулирование силы тока может быть осуществлено реостатом, который устанавливают в первичную цепь трансформатора. В генераторах постоянного тока регулирование силы тока можно производить реостатом, включенным в цепь возбуждения.

При использовании выпрямителей, регулирование силы тока может быть осуществлено с помощью введенного в питающую сеть специального автотрансформатора или с помощью мощного ступенчатого реостата, включаемого последовательно в низковольтную цепь (например, от 0,015 до 2 Ом).

### Выводы.

1. Рассмотрен вопрос о возможности использования электро-механического упрочнения для повышения долговечности деталей строительной техники.
2. Приведена принципиальная схема устройства для ЭМПО и рекомендуемые режимы для обработки.

1. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение машиностроительных материалов: Справочник.-2-е изд. Перераб и дополн.-М.:Машиностроение,1994.-446 с.

2. Євдокимова А.М., Євдокимов В.Д. Технологія механічної обробки металів.-Одеса: Інтерпринт, 2015.-552 с.

## REFERENCES

1. Polevoy, S., Evdokimov, V. (1994). *Hardening of machine-building materials [Uprochnenie mashinostroitelnyh materialov]*: References.-2 nd ed. redressed and augmentation. Moscow, Mashinostroenie Publ. 446 p.

2. Evdokimova, A., Evdokimov, V. (2015). *Machining technology processing of metals [Tehnologiya mehanichnoyi obrobki metalov]*. Odessa: Interprynt Publ. 552 p.

**Бондаренко А.Є.** Електро-механічне зміцнення та його можливості для підвищення довговічності деталей будівельної техніки.

Розглянуто питання електро-механічного зміцнення деталей. Показана принципова схема пристрою і приведені основні режими для зміцнення деталей з можливістю їх використання стосовно деталей будівельної техніки.

**Ключові слова:** зміцнення, електричний струм, режими, приклади використання.

**Bondarenko A.** Electro-mechanical hardening and its ability to improve the durability of the construction machinery parts.

Considered electromechanical hardening of parts. A schematic diagram of the device and shows the main modes for hardening of parts with the possibility of their use for construction machinery parts.

**Keywords:** hardening, electric current, modes, and examples of usage.

**АВТОР:**

**БОНДАРЕНКО Андрій Єгорович**, кандидат технічних наук, завідувач кафедри «Підйомно-транспортні, будівельні та дорожні машини», Одеська державна академія будівництва і архітектури, e-mail: [gorlovbond@yandex.ru](mailto:gorlovbond@yandex.ru)

**АВТОР:**

**БОНДАРЕНКО Андрей Егорович**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины», Одесская государственная академия строительства и архитектуры, e-mail: [gorlovbond@yandex.ru](mailto:gorlovbond@yandex.ru)

**AUTHORS:**

**Andrey BONDARENKO**, PhD. in Engineering, Head of the Department "Hoisting-and-transport, construction and road machines", Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, e-mail: [gorlovbond@yandex.ru](mailto:gorlovbond@yandex.ru)

Стаття надійшла в редакцію 28.05.2017 р.

**Герасимчук О.П., Ткачук О.Л.**  
*Луцький національний технічний університет*

## СИСТЕМНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МЕТОД МОДЕРНІЗАЦІЇ ТА ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЯ НА ПРИКЛАДІ ЛЬОНОБРАЛКИ ТЛН-1,5

Наведений системно-технологічний метод модернізації технічних систем, що враховує системний вплив елементарних операцій на формування якості та енерговитрат, їхню залежність від параметрів та режимів функціонування робочих органів та дає можливість здійснювати пошук напрямів підвищення технічного рівня технічних систем, зокрема льонобралки ТЛН-1,5

**Ключові слова:** технічна система, модернізація, якість енергоефективність, метод, льонобралка.

**Постановка проблеми.** Еволюція технічних об'єктів (систем) є головною рисою науково-технічного прогресу. В процесі еволюції технічні системи (ТС) змінюються з метою більш повного задоволення потреб людини, що досягається шляхом покращення якісних показників ТС та зменшення їх енергомісткості.

Еволюція ТС відбувається шляхом створення нових або модернізації (удосконалення) існуючих ТС. Створення ефективних (високоякісних, енергоекономних) ТС повинно базуватись на науково-обґрунтованих методах розроблення машин на основі системного підходу.

Успішне вирішення цієї задачі потребує застосування методу модернізації техніки з метою підвищення її технічного рівня до рівня кращих світових аналогів. Розроблення методу вирішення задачі підвищення технічного рівня сільськогосподарських машин, в тому числі машини для брання льону, на основі їх модернізації є актуальною проблемою, що потребує теоретичного обґрунтування та практичної апробації.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Проблеми еволюції технічних систем є об'єктом вивчення таких наук як теорія технічних систем, системотехніка, технічна творчість.

В.Хубкою [1] проаналізовано закономірності еволюції ТС, окреслені етапи їх створення та оцінки, запропоновані блок-схеми алгоритмів створення і використання ТС та їх оцінки, що є узагальненими і носять навчально-методичну цінність.

Система задач пошуку і вибору технічних рішень у відповідності до ієрархії опису ТС наводиться в роботах з технічної творчості, зокрема в працях Половинкіна А.І [2]. Автором відмічено ітераційність процесу вирішення творчих задач розроблення ТС та визначено місце методів технічної творчості у системі задач пошуку і вибору технічних рішень.

Над проблемою створення ефективних методів розроблення ТС працювали багато науковців і винахідників. Ними запропоновано десятки методів вирішення інженерних задач, зокрема мозкова атака, синектика, морфологічний аналіз і синтез, функціонально-вартісний аналіз, алгоритм вирішення винахідницьких задач [3-6] та ін. Ці методи дають змогу пришвидшити пошук кращого технічного рішення, особливо, якщо воно знаходиться за межами традиційної області пошуку і використовується при модернізації ТС.

Питання доцільності модернізації існуючої чи створення нової ТС, а також механізм її реалізації розглянуто в роботі [7]. Ієрархічну послідовність проектно-конструкторських задач стосовно галузі льонарства розглянуто в роботі [8]. Проте, проблема розроблення ефективних методів модернізації залишається актуальною.

**Постановка завдання.** Удосконалити системно-технологічний метод модернізації сільськогосподарської техніки і провести його практичну апробацію на льонобралці ТЛН-1,5.

**Виклад основного матеріалу.** Спершу визначимось з системою понять, зокрема зі змістом терміну «модернізація ТС», застосувавши методологічний апарат теорії технічних систем. Модернізація (удосконалення) ТС (від фр. moderne – сучасний) – це процес зміни її стану з початкового (базова ТС) до кінцевого (модернізована ТС), що виконується з метою покращення ефективності її функціонування, зокрема підвищення якісних показників та зменшення енергомісткості (рис. 1).

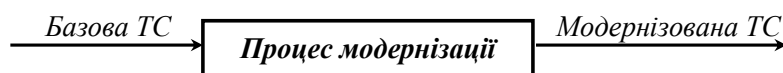


Рисунок. 1. Процес модернізації

Не кожна зміна стану ТС є модернізацією. Навряд чи можна вважати модернізацією зміни ТС, які ведуть до погіршення ефективності її функціонування. Тобто, термін «модернізація ТС» однозначно передбачає покращення ефективності функціонування ТС.

Розмежуємо поняття «модернізація ТС» і «створення ТС». Якщо для задоволення певних людських потреб ТС не існувало, то однозначно можна вести мову про необхідність створення нової ТС. Проте, у практичній діяльності, часто виникає ситуація, коли для задоволення певних потреб існує одна або декілька ТС, що не задовольняють нас за певними критеріями. В цьому випадку слід відмітити відносність термінів «модернізація ТС» і «створення ТС», так само, як і термінів «ТС» і «елемент». Адже, модернізацію ТС, наприклад, льонобралки, можна здійснити шляхом заміни її елементів, наприклад, конструкції вивідного устаткування на нове, тобто створенням нової конструкції вивідного устаткування. По відношенню до ТС «льонобралка» виконано модернізацію, по відношенню до ТС «вивідне устаткування» – створено нову ТС. Створення нової ТС – підрівнювача стрічки стебел льону передбачає модернізацію надсистеми – технології збирання льону-довгунця.

Узагальнюючи вищесказане, відмітимо цілісність і ієрархічність понять «модернізація ТС», та «створення ТС» в процесі вищого ієрархічного рівня – процесі еволюції ТС.

Відмінність між процесами модернізації і створення машини, полягає у зміні послідовності формування її структури (рис. 2), що є частиною структури «Технологічний комплекс машин» [9].

Кожна технічна система призначена для перетворення предметів праці за певною технологією. Тому при створенні машини послідовно виконуються наступні етапи її синтезу: формування необхідності якісного перетворення предметів праці, вибір технології, виділення елементарних операцій та вибір елементарних робочих органів, що виконують ці операції, обґрунтування машинної технології, машинних процесів та формування структури машини.



ПП – предмети праці; Т – технологія; ЕО – елементарна операція; ЕРО – елементарних робочих орган; МТ – машинна технологія; МП – машинний процес; М – машинна; ТП – технологічний процес; МА – машинний агрегат

Рисунок 2. Структура системи машинний агрегат

При проведенні модернізації предметом розгляду є ТС, яка потребує аналізу для визначення тих елементарних робочих органів, що погіршують якісні та енергетичні показники технологічного процесу. На основі аналізу структури ТС, процесів та технології виділяють елементарні робочі органи та елементарні операції, що погіршують якісні та енергетичні показники процесу перетворення та їх змінюють, а отже змінюють структуру машини

Необхідно відмітити множину підходів до здійснення модернізації ТС. Самим простим є підхід, що базується на «методі проб і помилок», коли винахідник або конструктор при проведенні модернізації керується лише інтуїцією і власним досвідом, а не науковими знаннями. Даний підхід є ненауковим, та не може застосовуватись до складних технічних систем, де ціна помилки може виявитись катастрофічною.

Науково-обґрунтовані підходи до модернізації базуються на обґрунтуванні задач модернізації ТС, обґрунтуванні призначення ТС та функцій її окремих елементів, обґрунтуванні конкретних змін ТС. На кожному з цих етапів об'єкт модернізації розглядається як цілісна множини елементів і відношень між ними, що дає змогу виявити закономірності і взаємозв'язки, а отже підвищити ефективність процесу модернізації. Таким чином, системний підхід є вищим рівнем наукового пізнання, що дозволяє підвищити ефективність як процесу постановки задач модернізації, так і технологічного та фізичного (механічного) її обґрунтування. Тобто можна вести мову про два ієрархічні рівні обґрунтування модернізації ТС – системно-технологічний та фізико-технологічний (механіко-технологічний) (рис. 3). Необхідно враховувати цілісність системно-технологічного і механіко-технологічного обґрунтування модернізації ТС в процесі вищого ієрархічного рівня – системно-технологічному обґрунтування модернізації.



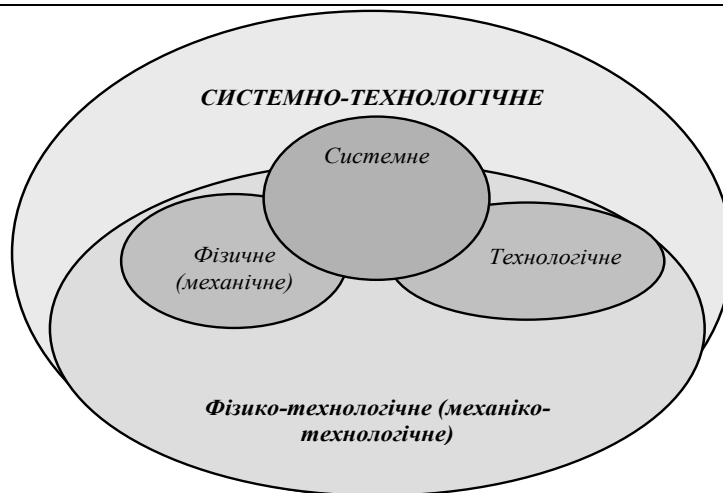


Рисунок 3. Підходи до обґрунтування модернізації ТС

Базуючись на понятті модернізації ТС, виходячи з системно-технологічного підходу до її реалізації, керуючись логікою процесу наукового пізнання, сформулюємо механізм проведення модернізації ТС у вигляді алгоритму, що містить наступні етапи:

1. Наявність підстав для модернізації. Підставою для проведення модернізації є суперечності між потребами та можливостями наявних ТС, які виникають внаслідок:

- неналежного виконання ТС технологічного процесу, що виявляється в процесі її експлуатації;
- появи ТС конкурентів, що ефективніше реалізують технологічний процес;
- зміни технології, а отже вимог до ТС, що її реалізують.

Таким чином завданням модернізації ТС є виявлення і усунення суперечностей між технічним рівнем наявних ТС і вимогами до їхнього технічного рівня, що виникають на певному етапі еволюції техніки. Для виявлення зазначених суперечностей необхідно проаналізувати масив емпіричних даних про технічний рівень наявних ТС з метою обґрунтування доцільності модернізації однієї з них.

2. Оцінка технічного рівня наявних ТС та обґрунтування доцільності модернізації вибраної ТС. Оцінку технічного рівня ТС слід проводити за емпіричними даними, тобто отриманими в результаті експлуатації ТС. Якщо існує декілька ТС аналогічного функціонального призначення, то оцінку технічного рівня слід проводити для кожної системи. Доцільно здійснювати модернізацію тих ТС, що мають технічний рівень вищий за системи аналогічного функціонального призначення, хоча можливі і інші критерії вибору – наприклад розповсюдження ТС.

Для вибраної технічної системи формулюємо задачу модернізації.

3. Постановка задачі модернізації виконується у наступній послідовності:

3.1. Формулюються перелік вимог до якісного перетворення операнда (об'єкта дії, предмета праці) з одного стану (вхідний або початковий) в інший стан (вихідний або кінцевий), яке реалізується в під час виконання технологічного процесу. На даному етапі важливо визначити узагальнений вектор вхідних показників операнда  $X$  та узагальнений вектор вихідних показників операнда  $Y$  – кількісних та якісних показників перетворення. Зв'язок між векторами вихідних і вхідних показників:

$$Y = F(X, Z), \quad (1)$$

де  $F(X, Z)$  – функція, що реалізується машиною, яка удосконалюється;  $Z$  – вектор, що характеризує фізичні і функціональні параметри ТС, що здійснює процес перетворення.

3.2. Формування вектора вихідних показників (критеріїв якості)  $Y_N$ , які повинні забезпечувати модернізована ТС. Кожному елементу вектора  $Y_N$  відповідає елемент вектора вихідних показників базової ТС  $Y$ . Задачею цього етапу є не визначення конкретних числових значень елементів вектора  $Y_N$ , а встановлення тенденцій, тобто визначення векторів:

$$\left. \begin{array}{l} Y_N^+ \in Y_N, \\ Y_N^- \in Y_N, \end{array} \right\} \quad (2)$$

де  $Y_N^+$ ,  $Y_N^-$  – вектори, що містять вихідні показники операнда, які необхідно збільшувати та зменшувати відповідно.

3.3. Постановка задачі модернізації. Математично задачу модернізації можна представити як знаходження оператора (удосконаленої конструкції ТС), що реалізує функцію  $F_N$  за мінімальних енерговитрат  $E$ :

$$\begin{aligned} Z - ? \\ Y_N = F_N(X, Z), \\ Y_N^+ \rightarrow \max, Y_N^+ \in Y_N, \\ Y_N^- \rightarrow \min, Y_N^- \in Y_N, \\ E \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (3)$$

Наступним етапом є обґрунтування послідовності формування якісних і енергетичних показників на кожній операції технологічного процесу.

#### 4. Технологічне обґрунтування модернізації

4.1. Поділ перетворення на елементарні операції. Елементарна операція – це операція, яка передбачає лише одну робочу дію і не може бути подрібнена на менші операції, наприклад операції типу розділити, перемістити, відділити. В результаті отримуємо вектор елементарних операцій  $E_B$ , що виконує необхідне перетворення в базовій машині.

4.2. Знаходження принципів дії (ефектів), за допомогою яких реалізується елементарна операція. В результаті отримуємо вектор  $EF_B$ , кожен елемент якого – це елементарна операція і ефект, що її реалізує. Вектор  $EF_B$  є функціональною схемою перетворення, що реалізована в базовій ТС.

4.3. Якісна та енергетична оцінки кожної елементарної операції – елемента вектора  $EF_B$ . Як зазначалось вище, для задоволення потреби необхідне якісне перетворення операнда, яке здійснюється в результаті виконання послідовності елементарних операцій. Кожна елементарна операція забезпечує елементарну якість. В результаті отримуємо вектор якісної оцінки елементарних операцій  $Q_B$ .

Для виконання елементарної операції необхідна певна енергія, яка в результаті її здійснення перетворюється в роботу. Так як ефекти, що використовуються при виконанні елементарних операцій відомі, можна провести енергетичну оцінку елементарної операції, тобто визначити корисну роботу. В результаті отримуємо вектор енергетичної оцінки принципу дії, що закладений в базовій машині  $E_B$ . Сума елементів вектора  $E_B$  є мінімально необхідною енергією для реалізації заданого перетворення з використанням принципу дії, що закладений в базовій машині:

$$E_{\min} = \sum E_B. \quad (4)$$

Величина  $W_{\min}$  разом є орієнтиром при удосконаленні конструкції машини.

#### 5. Структурна оптимізація ТС, що включає:

5.1. Структурну декомпозицію базової ТС. Визначення робочих органів, що виконують певні елементарні операції. Формування структури робочих органів базової ТС, що описується вектором структури  $O_B$ , елементами якого є робочі органи ТС.

5.2. Енергетичну та якісну оцінку виконання елементарних операцій робочими органами. Визначення векторів енергетичної та якісної оцінки структури робочих органів  $E_O$  та  $Q_O$ .

5.3. Порівняння відповідних елементів векторів якісної оцінки  $Q_B$  та  $Q_O$ . Визначення підмножини робочих органів базової ТС, що знижують якісні показники перетворення.

5.4. Порівняння відповідних елементів векторів енергетичної оцінки  $W_B$  та  $W_O$ . Визначення підмножини робочих органів базової ТС, що підвищують енергетичні витрати на перетворення.

Множина робочих органів машини  $O_X \in O_B$ , що потребують удосконалення, формується із двох вищеперахованих підмножин. Робочі органи множини  $O_X$  виконують елементарні операції множини  $EF_X$ .

5.5. Вибір альтернативних робочих органів для виконання елементарних операцій множини  $EF_X$ . Формування груп елементарних операцій, що виконуються одним робочим органом.

При виборі альтернативних робочих органів доцільно використати методи збільшення хаотичності перебору варіантів, наприклад мозкову атаку, синектику. При цьому важливо абстрагуватись від конкретних технічних систем і ставити питання: Які робочі органи можуть реалізувати відповідні елементарні операції?

5.6. Енергетичну та якісну оцінку виконання елементарних операцій кожним робочим органом. Визначення та порівняння енергетичних та якісних показників процесу виконання елементарних операцій аналогічними робочими органами. Вибір робочих органів, що забезпечують кращі енергетичні та якісні показники. Формування векторів структури робочих органів  $O_k, k=1,2,\dots$ . Об'єднання цих векторів утворює множину робочих органів:

$$MO = \bigcup \quad , \quad (5)$$

5.7. Сумарну енергетичну та якісну оцінку кожної структури робочих органів  $O_k, k=1,2,\dots$ . Порівняння з іншими структурами, уточнення структур робочих органів. Порівняння з енергетичними та якісними показниками базової структури робочих органів  $O_B$ . Вибір однієї або декількох удосконалених структур робочих органів  $O_Y$ .

При проведенні енергетичної оцінки слід враховувати розсіювання енергії в результаті її передавання від двигуна до робочих органів. А тому перевагу варто надавати структурам робочих органів з коротшими зв'язками між двигуном і робочими органами.

Результатом структурної оптимізації має бути вибір структури робочих органів та формування структурної схеми модернізованої ТС.

6 Фізичне (механічне) обґрунтування:

6.1. Визначення раціональних або оптимальних параметрів робочих органів з використанням засобів математичного моделювання та прикладного оптимального проектування.

6.2. Визначення раціональних об'єднань (композиції) операцій, що виконуються одним і тим же робочим органом. Синтез конструкцій ТС

6.3. Вибір робочих органів та конструкцій ТС за критеріями якості і енерговитрат.

В результаті отримуємо одну або декілька конструкцій ТС, що забезпечують необхідну якість (мають найвищі показники якості) при мінімальній енергомісткості.

7. Експериментальна оцінка якісних та енергетичних показників, що забезпечуються запропонованими конструкціями ТС. Вибір найкращого експериментального зразка за критеріями якості та енерговитрат.

8. Формування рекомендацій, методик та дослідно-конструкторська проробка найкращого експериментального зразка.

Застосуємо розроблений метод для визначення напрямків модернізації льонобралки ТЛН-1,5.

Процес брання льону справляє значний вплив на якість льоноволокна та формує важливу складову в структурі енерговитрат льонарства, а отже в значній мірі визначає економічну доцільність вирощування льону.

Під час технологічного процесу брання здійснюється перетворення стеблостою у стрічку льону з певними показниками, що характеризують якість перетворення. Виконання процесу брання потребує також енергетичних затрат як на висмикування стебел з ґрунту, так і на переміщення льонобралки.

Функціональний аналіз технологічного процесу брання дозволив виділити чотири операції, кожна з яких характеризується вхідними та вихідними показниками, параметрами робочих органів, що реалізують дану операцію, та енерговитратами на її виконання. Під час реалізації елементарних операцій відбувається формування показників якості технологічного процесу в цілому.

Кожна операція технологічного процесу брання (рис. 4) оцінюється показниками якості:  $P_C$  – перекосом стебел,  $Ch$  – чистотою брання,  $L$  – розтягнутістю стрічки,  $N_C$  – кількістю пошкоджених стебел.

З метою якісної та енергетичної оцінки виконання елементарних операцій робочими органами льонобралки ТЛН-1,5 формалізовано представимо технологічний процес брання у вигляді схеми (рис. 5), де  $X_i, i=1..4$  – кількісні та якісні показники стеблостою льону на вході в  $i$ -тий рівчак, що формують вектор вхідних показників  $X$ ;  $Z_i, i=1..3$  – фізичні і функціональні параметри  $i$ -того робочого органу льонобралки, що формують вектор внутрішніх параметрів льонобралки  $Z$ ;  $Z_{1j}, j=1..4$  – фізичні і функціональні параметри подільників, що утворюють  $j$ -ту бральну секцію;  $Z_{2j}, j=1..4$  – фізичні і функціональні параметри брального апарата, що утворюють  $j$ -ту бральну секцію;  $Y_k, k=1..8$  – кількісні та якісні показники порції стебел льону на виході кожного робочого органу льонобралки;  $Y$  – кількісні та якісні характеристики стрічки стебел льону на виході з вивідного устаткування, що утворюють вектор вихідних показників стрічки стебел льону.



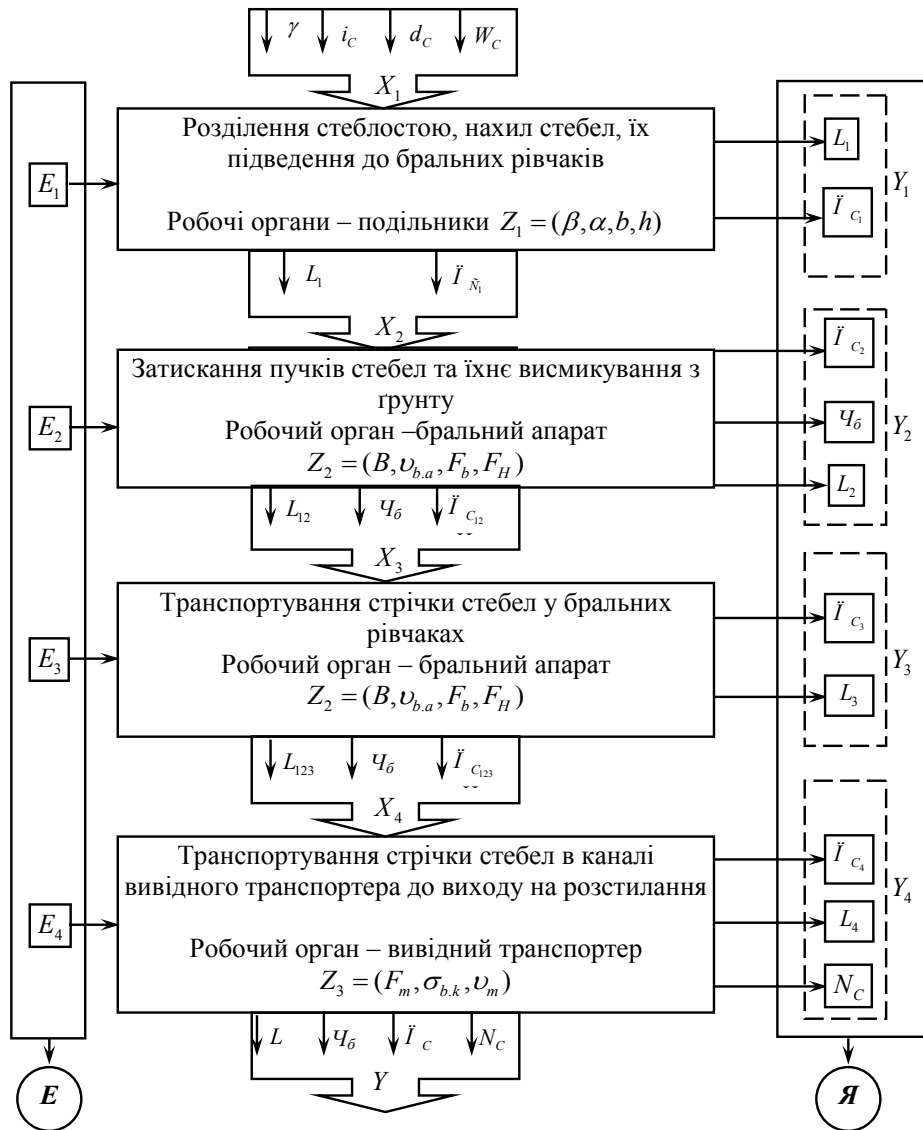


Рисунок 4. Схема формування показників якості та енерговитрат в процесі брання льону-довгунця

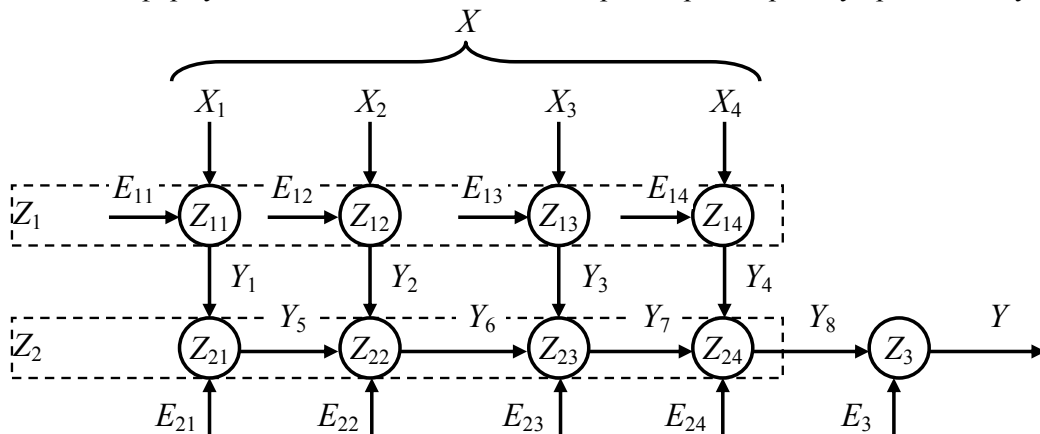


Рисунок 5. Формалізована схем технологічного процесу брання льнообралкою ТЛН-1,5

Якісну та енергетичну оцінку виконання елементарних операцій робочими органами льнообралки проводимо за емпіричними даними, а також даними експериментальних досліджень та польових випробувань.

**Висновки:** 1. Системно-технологічний метод модернізації ТС, що враховує технологічний процес, системний вплив елементарних операцій на формування якості та енерговитрат, залежність їх від параметрів та режимів функціонування робочих органів, дає можливість здійснювати пошук напрямів підвищення технічного рівня ТС. 2. Застосування системно-технологічного методу для

модернізації льонобралки розкриває залежність показників ефективності технологічного процесу брання льону від системної дії чотирьох елементарних операцій, містить якісну та енергетичну оцінку їх виконання та дозволяє обґрунтувати напрями модернізації льонобралки ТЛН-1,5. 3. Розвиток методу в напрямку підвищення його універсальності потребує розширення сфери його застосування, зокрема для модернізації технологічних машин різноманітного призначення.

1. Хубка В. Теория технических систем / Хубка В. – М.: Мир, 1987. – 210 с.
2. Половинкин А.И. Основы инженерного творчества: Учебн пособие для студентов вузов / А.И. Половинкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
3. Альтшуллер Г.С. Найти идею / Альтшуллер Г.С. –Новосибирск: Петрозаводск: Скандинавия, 2003. 368 с.
4. Брахман Т. Р. Многокритериальность и выбор альтернатив в технике / Брахман Т. Р. – М.: Радио и связь, 1984. – 288 с.
5. Мюллер И. Эвристические методы в инженерных разработках: [Пер. с нем] / Мюллер И. – М.: Радио и связь, 1984. – 144 с., ил.
6. Буш Г. Я. Методы технического творчества. / Буш Г.Я. – Рига: Лиесма, – 94с.
7. Герасимчук О.П. Системно-технологічне обґрунтування модернізації льонобралки: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / О.П.Герасимчук. – Львів, 2011. – 24с.
8. Герасимчук О.П. Ієрархія проєктно-конструкторських задач в льонарстві / О.П. Герасимчук, О.Л.Ткачук // Сільськогосподарські машини. – 2013. – №25. – С.24–28.
9. Сидорчук О.В. Інженерія машинних систем: Монографія/ О.В.Сидорчук. – К.: ННЦ «ІМЕСГ» УААН, 2007. – 263 с.

#### REFERENCES

1. Hubka V (1987). Teoriya tehniceskikh sistem. M.: Mir, 210 s.
2. Polovinkin A.I (1988). Osnovy inzhenernogo tvorchestva: Uchebn posobie dlya studentov vtuzov. M.: Mashinostroenie, 368 s.
3. Altshullep G.S. (2003). Hayti ideyu. Novosibipsk: Petrozavodsk: Skandinaviya, 368 s.
4. Brahman T. R. (1984). Mnogokriterialnost i vyibor alternativ v tehnike. M.: Radio i svyaz, 288 s.
5. Myuller I. (1984). Evristicheskie metodyi v inzhenernyih razrabotkah: [Per. s nem]. M.: Radio i svyaz, 144 s., il.
6. Bush G. (1989). Ya. Metodyi tehniceskogo tvorchestva. Riga: Liesma, 94 s.
7. Gerasimchuk O.P. (2011). Sistemno-tehnologIchne obgruntuvannya modernizatsiyi lonobralki: Avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.05.11. LvIv, 24 s.
8. Gerasimchuk O.P., Tkachuk O.L. (2013). Ierarhiya proektno-konstruktorskih zadach v lonarstvi. SIlskogospodarskI mashini, 25. – S. 24–28.
9. Sidorchuk O.V. (2007). InzhenerIya mashinnih sistem: MonografIya. K.: NNTs «IMESG» UAAN, 263 s.

#### ABSTRACT

*O. Herasymchuk. O. Tkachuk. System-technological method of modernisation and his realization on the example of the flax puller spring TLN-1.5*

The evolution of technical objects (systems) is the main feature of scientific progress. The evolution of technical systems is by creating new or upgrading (improvement) of existing technical systems. Creating effective technical systems should be based on scientifically grounded methods. One is a system-technological method.

Sequence the modernization of this method is the following: the conditions for modernization, evaluation of technical level of existing technical systems and the rationale for the modernization of selected technical system, setting the task of modernization, technological justification for modernization, structural optimization of technical systems, physical (mechanical) study, experimental evaluation of quality and energy performance, the formation of guidelines, and developmental elaboration of the best experimental model.

System-technological method for upgrading technical systems into account the systemic exposure of elementary operations on the formation of quality and energy. It sets quality and energy dependence on parameters and modes of working bodies. This method makes it possible to search for ways of increasing the technical level of technical systems.

For example, systematic technological method used to find ways to modernize the flax puller spring TLN-1.5. Applying system-technological method for upgrading the flax puller spring reveals the dependence of the process performance of the taking of flax systemic four elementary operations, contains high-quality and energy assessment of their performance and enables justify upgrading areas the flax puller spring TLN-1.5. Development of methods towards improving its versatility requires expansion of its scope, including the modernization of technological machines for various purposes.

**Keywords:** technical system, modernization, quality, energy efficiency, method, flax puller spring.

*Герасимчук О., Ткачук О. Системно-технологический метод модернизации и его реализация на примере льнотеребилки ТЛН-1,5.*

Приведенный системно-технологический метод модернизации технических систем, учитывающий системное влияние элементарных операций на формирование качества и энергозатрат, их зависимость от параметров и режимов функционирования рабочих органов и дающий возможность осуществлять поиск направлений повышения технического уровня технических систем, в частности льнотеребилки ТЛН-1,5

**Ключевые слова:** техническая система, модернизация, качество энергоэффективность, метод, льнотеребилка.

**АВТОРИ:**

*ГЕРАСИМЧУК Олександр Павлович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри машин легкої промисловості, Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна.

*ТКАЧУК Оксана Леонідівна*, кандидат технічних наук, доцент кафедри машин легкої промисловості, Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна.

**АВТОРЫ:**

*ГЕРАСИМЧУК Александр Павлович*, кандидат технических наук, доцент кафедры машин легкой промышленности, Луцкий национальный технический университет, Луцк, Украина.

*ТКАЧУК Оксана Леонидовна*, кандидат технических наук, доцент кафедры машин легкой промышленности, Луцкий национальный технический университет, Луцк, Украина.

**AUTHORS:**

*GERASIMCHUK Alexander*, Ph.D., Associate Professor of the Department of Light Industry Machinery, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine.

*TKACHUK Oksana*, Ph.D., Associate Professor of the Department of Light Industry Machines, Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine.

Стаття надійшла в редакцію 13.05.2017 р.

Дацюк Л.М., Вржеш М.В., Юхимчук С.Ф., Дацюк Т.Л.  
Луцький національний технічний університет

## АНАЛІЗ РОБОТИ ДВИГУНІВ ВЕЛИКОЇ ПОТУЖНОСТІ

У статті представлений аналіз балансу потужності двигуна і побудовані графіки залежності. Розглянуто варіанти роботи двигуна із заданою кількістю циліндрів. Для цих випадків були написані рівняння балансу сил і визначена погодинна витрата палива на відповідних режимах.

**Ключові слова:** двигун, потужність, гальмівна установка, циліндр, паливо.

**Постановка проблеми.** Проводити перевірку показників потужності і витрат палива автотракторних двигунів підвищеної потужності в господарських та інших умовах важко. У більшості випадків це пов'язано з відсутністю відповідних гальмівних установок.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Парціальний метод, розроблений Н.С. Ждановським, дає можливість випробовувати такі двигуни на гальмівних установках малої потужності [1]. Також досліджувались і інші методи автором робіт [2], що пропонував свої варіанти випробовування двигунів.

**Мета дослідження.** Для збільшення ефективності використання двигунів в умовах господарств, за рахунок діагностування технічного стану двигуна і підтримання його у визначених параметрах робочого стану, пропонується додатково до основного інший варіант парціального методу, що базується на трьох режимах роботи двигуна і дозволяє визначити потужність, що розвивається двигуном, безпосередньо за показами приладів гальмівної установки.

**Результати дослідження.** Для оцінки динамічних властивостей машин пов'язаних з технічним станом, якістю ремонту, ефективністю роботи двигунів у різноманітних режимах використовуються експлуатаційні, конструктивні, регульовальні та інші характеристики. Характеристики двигуна застосовуються для визначення тягових, швидкісних і динамічних властивостей, прохідності і вантажопідймальності машин (тракторів та автомобілів) у цілому.

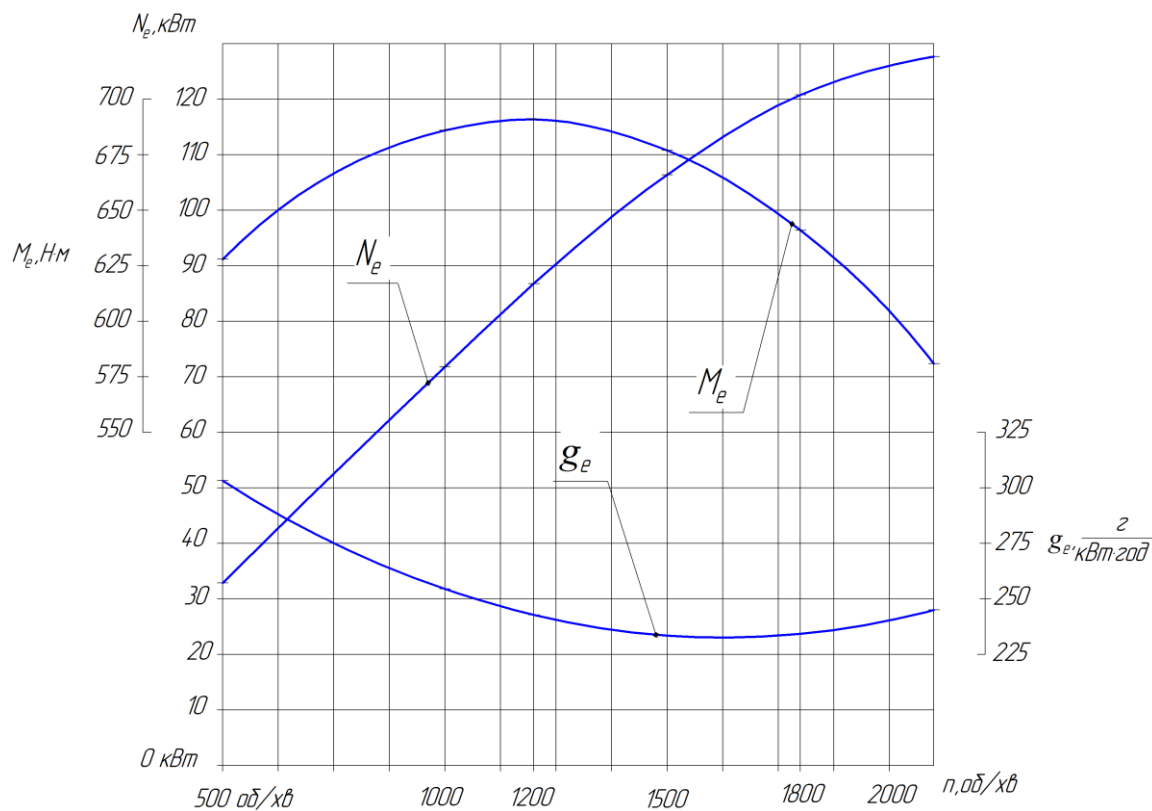


Рис. 1. Зовнішня швидкісна характеристика двигуна СМД-62

Теоретично оцінити одночасний вплив на роботу двигуна багатьох факторів досить складно. Тому вихідні дані для побудови характеристик отримують у процесі випробування двигунів на спеціальних стендах, створюючи умови, які дозволяють досліджувати потрібні показники у функції одного із факторів.

Режим роботи двигуна характеризується навантаженнями  $N_e$ ,  $M_e$ ,  $P_e$  частотою обертання колінчастого вала  $n_e$  і паливною економічністю  $g_e$ . Оптимальним режимом роботи називається режим роботи двигуна за максимальної потужності і крутного моменту та мінімальної витрати пального.

Зовнішня швидкісна характеристика двигуна є залежністю ефективної потужності, крутного моменту і питомої витрати пального від частоти обертання колінчастого вала за повної подачі пального (максимальне переміщення рейки паливного насосу в дизелях) і встановленому режимові роботи. Зовнішня характеристика знімається в результаті стендових випробувань двигуна. Зовнішню швидкісну характеристику двигуна можна побудувати на основі розрахунків за емпіричними формулами С.Р. Лейдермана, які максимально імітують стендові випробування.

Виконуємо побудову балансу потужності двигуна за такою послідовністю, задаємо значення частоти обертання вала  $n$  двигуна і визначаємо за зовнішньою характеристикою двигуна відповідні їм значення крутного моменту  $M_e$ , розраховуємо значення тягової сили  $P_k$  і швидкості руху для кожної ступені коробки передач. За результатами розрахунку будемо графік балансу потужності двигуна.

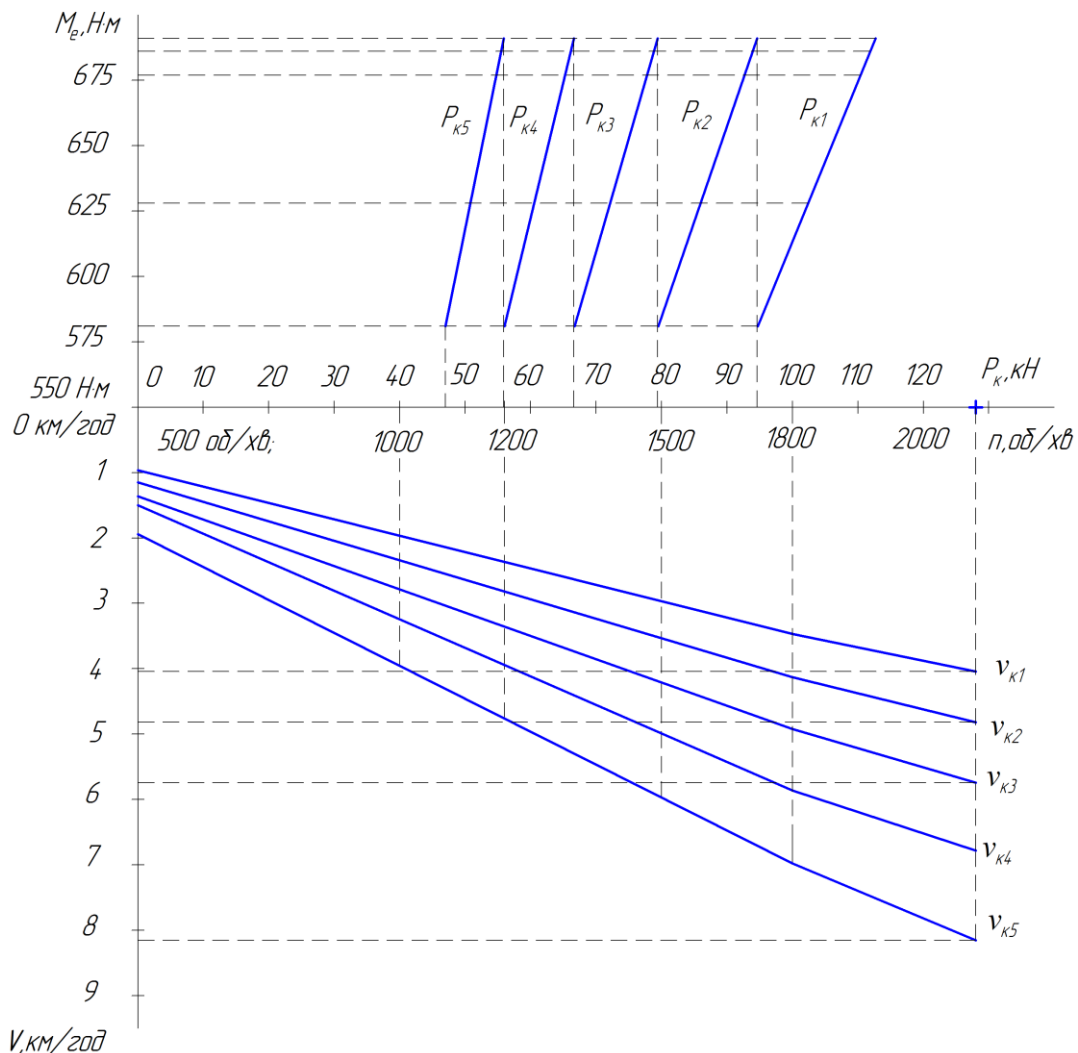


Рис. 2. Баланс потужності двигуна СМД-62

Баланс потужності чотирициліндрового двигуна, що працює на чотирьох, трьох або двох циліндрах, при всіх можливих варіантах їх виключення виразиться наступними рівняннями:

- при роботі на всіх циліндрах

$$N_e = N_{i1} - N_{m1} + N_{i2} - N_{m2} + N_{i3} - N_{m3} + N_{i4} - N_{m4}, \quad (1)$$



де  $N_e$  – ефективна потужність двигуна;  $N_{i1}, N_{i2}, N_{i3}, N_{i4}$  – індикаторні потужності відповідно першого, другого, третього та четвертого циліндрів двигуна;  $N_{m1}, N_{m2}, N_{m3}, N_{m4}$  – потужність механічних втрат в працюючих циліндрах;

- при роботі на трьох циліндрах (вимкнений перший циліндр)

$$N_{e1}^{\circ} = 0 - N_{m1}^e + N_{i2} - N_{m2} + N_{i3} - N_{m3} + N_{i4} - N_{m4}, \quad (2)$$

де  $N_{e1}^{\circ}$  – потужність довантаження, яка отримана на гальмівній установці при роботі двигуна з одним вимкненим циліндром;  $N_{m1}^e$  – потужність механічних втрат в виключених циліндрах;

теж (вимкнений другий циліндр)

$$N_{e2}^{\circ} = N_{i1} - N_{m1} + 0 - N_{m2} + N_{i3} - N_{m3} + N_{i4} - N_{m4}; \quad (3)$$

- при роботі на двох циліндрах (вимкнені третій і четвертий циліндри)

$$N_{e3,4}^{\circ} = N_{i1} - N_{m1} + N_{i2} - N_{m2} + 0 - N_{m3}^e + 0 - N_{m4}^e, \quad (4)$$

де  $N_{e3,4}^{\circ}$  – потужність довантаження, яка отримана на гальмівній установці при роботі двигуна з вимкненими третім і четвертим циліндрами;  $N_{m2}^e, N_{m3}^e, N_{m4}^e$  – потужність механічних втрат в вимкнених циліндрах;

- теж (вимкнені другий і четвертий циліндри)

$$N_{e2,4}^{\circ} = N_{i1} - N_{m1} + 0 - N_{m2}^e + N_{i3} - N_{m3} + 0 - N_{m4}^e, \quad (5)$$

де  $N_{e2,4}^{\circ}$  – потужність довантаження, яка отримана на гальмівній установці при роботі двигуна з вимкненими другим і четвертим циліндрами.

Аналогічно виглядають рівняння балансу потужності двигуна при виключенні першого і четвертого, другого і третього, першого і третього та першого і другого циліндрів.

Потужність довантаження підраховується за формулою

$$N_e^{\circ} = \frac{P_m \cdot n_m}{10^3 \cdot \eta_m}, \quad (6)$$

де  $P_m$  – покази вагового механізму гальмівної установки;  $n_m$  – число обертів вала гальма в хвилину;  $\eta_m$  – коефіцієнт корисної дії гальмівної установки.

Приймаючи, як це передбачено ГОСТом на випробування автотракторних двигунів,  $N_{i1} \approx N_{m1}^e$ ,  $N_{i2} \approx N_{m2}^e$  і так далі та вирішуючи систему рівнянь (1)-(5) відносно  $N_e$  (значення  $N_{e1-4}^{\circ}$  підраховуються за формулою (6), отримуємо:

$$N_e = \frac{n_m}{10^3 \cdot \eta_m} \cdot (P_{m3} + P_{m4} - P_{m3,4}), \quad (7)$$

$$N_e = \frac{n_m}{10^3 \cdot \eta_m} \cdot (P_{m2} + P_{m4} - P_{m2,4}), \quad (8)$$

де  $P_{m1-4}$  – покази вагового механізму гальма при роботі двигуна з одним вимкненим циліндром;  $P_{m3,4}, P_{m2,4}$  – покази вагового механізму гальма при роботі двигуна з двома вимкненими циліндрами.

Годинна витрата палива визначається на відповідних режимах роботи з наступних рівнянь балансу:

- при роботі на всіх циліндрах

$$G = G1 + G2 + G3 + G4; \quad (9)$$

- при роботі на трьох циліндрах (вимкнений перший циліндр)

$$G1 = G2 + G3 + G4 = G - G1; \quad (10)$$

- теж (вимкнений другий циліндр)

$$G2 = G1 + G3 + G4 = G - G2; \quad (11)$$

- при роботі на двох циліндрах (вимкнені третій і четвертий циліндри)

$$G3,4 = G1 + G2 = G - G3 - G4; \quad (12)$$

- теж (вимкнені другий і четвертий циліндри)

$$G2,4 = G1 + G3 = G - G2 - G4, \quad (13)$$

де  $G$  – загальна витрата палива при роботі двигуна на всіх циліндрах;  $G_{1,4}$  – витрата палива при роботі двигуна на трьох і двох циліндрах;  $G_{1-4}$  – посекційна витрата палива відповідних циліндрів.

Знайшовши з рівнянь (9)-(13) витрату палива  $G_{1,4}$  за час досліду  $T$  та підставивши отримані значення у формулу для визначення годинної витрати палива

$$G_m = 3,6 \frac{G}{T}, \quad (14)$$

отримаємо:

$$G_m = \frac{3,6}{T} (G_3 + G_4 - G_{3,4}); \quad (15)$$

$$G_m = \frac{3,6}{T} (G_2 + G_4 - G_{2,4}). \quad (16)$$

З рівнянь (9)-(13) можна також знайти і посекційну витрату палива, що дуже важливо для оцінки роботи окремих циліндрів і двигуна в цілому:

$$G_1 = G_4 - G_{1,4} = G_3 - G_{1,3} = G_2 - G_{1,2}; \quad (17)$$

$$G_2 = G_1 - G_{1,2} = G_3 - G_{2,3} = G_4 - G_{2,4}. \quad (18)$$

Рівнянь вигляду (15), (16), так само як і (7), (8), при можливих варіантах вимкнення циліндрів буде шість. Для визначення ефективної потужності двигуна і годинної витрати палива можна користуватися будь-яким одним рівнянням (7 або 8 для  $Ne$  і 15 або 16 для  $G_t$ ).

Розпочинаючи випробування, до двигуна під'єднують гальмівну установку, підключають мірний бачок і паливні перемикачі і прогрівають двигун до нормальної температури. Встановивши важіль управління подачею палива в положення „максимальна подача“, по черзі відключають циліндри згідно вибраного варіанту поєднання режимів (для прикладу розглядається варіант, який відповідає рівнянням 7 і 15). При вимкненому циліндрі (третьому) гальмом навантажують двигун до номінальних оборотів, заміряють величину довантаження ( $P_{T3}$ ) і витрату палива ( $G_3$ ). Далі дають можливість двигуну попрацювати одну-дві хвилини на всіх циліндрах на холостому ході і повторюють випробування при вимкненому четвертому, а потім третьому і четвертому циліндрах.

**Висновок.** Запропонована методика дає можливість здійснювати випробування двигунів в господарських умовах з достатньою для практики точністю. Теоретичні розрахунки показують, що цією методикою можна випробувувати двигуни, потужність яких перевищує гальмівну на 35-38%.

1. Ждановский Н.С. Безтормозные испытания тракторных двигателей.-М.: Машиностроение, 1996. 178 с.
2. Улитовский Б.А. Диагностирование сельскохозяйственной техники, - М.: Агропромиздат, 1985. – 65 с.
3. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин.-К.: НМК ВО, 1992-320 с.
4. Цикалюк Ю.О., Юхимчук С.Ф., Дацюк Л.М. Випробування двигунів великої потужності // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст. Вип.24. – Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, – 2013. – С. 413–416.

## REFERENCES

1. Zhdanov N. With. Beztormoznoy test traktornyh engines.-M.: Mashinostroenie, 1996. 178 p.
2. Ulitovsky B. A. Diagnostics of agricultural machines, - M.: Agropromizdat, 1985. – 65 p.
3. Hailis G. A., Konovalyuk M. D. the basics of design and research of agricultural machinery.-K.: NMK VO, S. 1992-320 p.
4. CYKALUK Y.A., Yuhymchuk S.F, Datsiuk L.M. Test high power engines // Agricultural machinery. Scientific articles. Issue 24. – Lutsk: Editorial publishing department of LNTU, - 2013. – P. 413-416 p.

**Л.Н. Дацюк, Вржешч М.В., С.Ф. Юхимчук, Т.Л. Дацюк. Анализ работы двигателей большой мощности.**

В статье представлен анализ баланса мощности двигателя и построены графики зависимости. Рассмотрены варианты работы двигателя с заданным количеством цилиндров. Для этих случаев были написаны уравнения баланса сил и определен почасовой расход топлива на соответствующих режимах.

**Ключевые слова:** двигатель, мощность, тормозная установка, цилиндр, топливо.

**L. Datsiuk, M. Vrzsheshch, S. Yuhymchuk, T. Datsiuk. Analysis of robots for heavy-duty engines.**

The article presents an analysis of the balance of engine power and graphics depending obtained. Variants of engine work with a given number of cylinders were reviewed. For these cases equations of balance of power were written and hourly fuel consumption on the respective modes was specified.

**Keywords:** engine, power, brake setting, cylinder, fuel.

**АВТОРИ:**

**ДАЦЮК** Леонід Миколайович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Обладнання лісового комплексу та теорії механізмів машин», Луцький НТУ, e-mail: Leon540@mail.ru

**ВРЖЕЩ МИКОЛА ВІКТОРОВИЧ**, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Обладнання лісового комплексу та теорії механізмів машин», Луцький НТУ, e-mail: kaf-olk@ukr.net

**ЮХИМЧУК** Сергій Федорович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Інженерне та комп'ютерне забезпечення АПК», Луцький НТУ, e-mail: sergei-71@ukr.net

**ДАЦЮК** Тарас Леонідович, студент кафедри «Обладнання лісового комплексу та теорії механізмів машин» Луцький НТУ, e-mail: Tarik333@i.ua

**АВТОРЫ:**

**ДАЦЮК** Леонид Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование лесного комплекса и теории механизмов машин», Луцкий НТУ, e-mail: Leon540@mail.ru

**ВРЖЕЩ НИКОЛАЙ ВІКТОРОВИЧ**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Оборудование лесного комплекса и теории механизмов машин», Луцкий НТУ, e-mail: kaf-olk@ukr.net

**ЮХИМЧУК** Сергей Федорович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерное и компьютерное обеспечение АПК», Луцкий НТУ, e-mail: sergei-71@ukr.net

**ДАЦЮК** Тарас Леонидович, студент кафедры «Оборудование лесного комплекса и теории механизмов машин» Луцкий НТУ, e-mail: Tarik333@i.ua

**AUTHORS:**

**DATSIUK** Leonid Nikolaevich, candidate of technical Sciences, Professor of "forest complex Equipment and theory of mechanisms and machines", Lutsk NTU, e-mail: Leon540@mail.ru

**VRZHESHCH** Mykola victorovych, candidate of technical Sciences, Professor of "forest complex Equipment and theory of mechanisms and machines", Lutsk NTU, e-mail: kaf-olk@ukr.net.

**YUHYMCHUK** Sergey Fedorovich, candidate of technical Sciences, docent of the Department "Engineering and computer maintenance APC", Lutsk NTU, e-mail: sergei-71@ukr.net

**DATSIUK** Taras Leonidovich, student at the Department "Equipment of forest complex and the theory of mechanisms and machines" of Lutsk NTU, e-mail: Tarik333@i.ua

Стаття надійшла в редакцію 05.05.2017 р.

Дерюгін О.В., Чеберячко С.І.  
ДВНЗ «Національний гірничий університет»

## АНАЛІЗ САНІТАРНО-ГІГІЄНИЧНИХ УМОВ РОБОТИ ВОДІЇВ МАРШРУТНИХ АВТОБУСІВ

Проведено аналіз санітарно-гігієнічних умов праці водіїв маршрутних автобусів. Проаналізовано три найбільш розповсюджених марок маршрутних автобусів. Встановлено, що санітарно-гігієнічні умови праці на робочих місцях водіїв маршрутних автобусів: «Mercedes Benz Sprinter 411», «Рута 23», «Богдан А20111» мають негативні показники і характеризуються перевищенням рівнів шумового навантаження від 2,9 до 7,7 дБА, вібраційного навантаження – від 10 до 20 дБ та мікрокліматичні показники робочого середовища, перевищення яких влітку сягають неприпустимих показників до 15-20 °С. Також було виявлено позитивний результат проведеного аналізу – концентрація шкідливих речовин у робочому просторі менша за гранично допустимого рівня.

**Ключові слова:** санітарно-гігієнічні умови, шкідливі виробничі фактори, шумове навантаження, вібраційне навантаження, температурне середовище, концентрація шкідливих речовин, маршрутний автобус, гранично допустимий рівень

**Актуальність.** Ефективність і безпека транспортного процесу перевезень пасажирів автомобільним транспортом безпосередньо залежить від психофізіологічного стану і здоров'я водія, вимоги до якого регламентовані чинним законодавством. Загальновідомий несприятливий вплив шкідливих виробничих факторів на водіїв, під час виконання транспортної роботи (напружені і часто змінні умови транспортного процесу перевезення пасажирів, підвищена відповідальність за безпеку пасажирів в умовах дефіциту часу, недосконалість конструкції автотранспортних засобів, вплив шкідливих речовин та ін.), призводить як до розвитку професійних захворювань, так і чинить вплив на перебіг загальних захворювань. Серед основних ризиків виникнення професійних хвороб, можна виділити наступні – хвороби системи кровообігу, хвороби, які пов'язані з перевтомою, втомою і депресією (рис. 1 [1]).

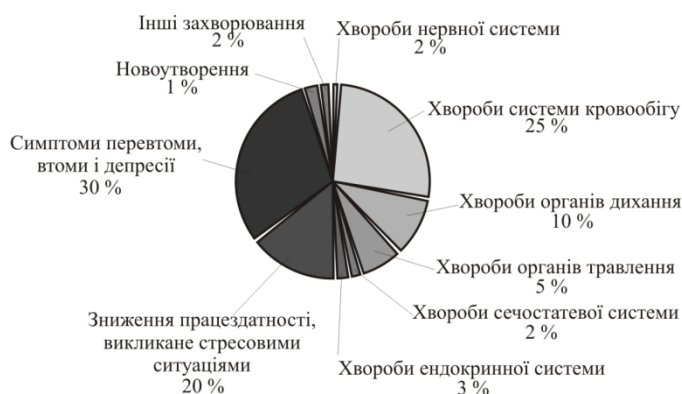


Рис. 1. Структура ризиків виникнення професійних хвороб водіїв, що здійснюють пасажирські перевезення маршрутними автобусами [1].

Останнім часом в сучасній медицині все більше уваги приділяється дослідженню впливу шкідливих речовин, які утворюються під час виконання транспортної роботи з перевезення пасажирів, на здоров'я водіїв. Для цього використовують два види показників об'єктивного та суб'єктивного оцінювання.

До першої групи відносять функціонування резервних можливостей серцево-судинної та дихальної систем з опорно-руховим апаратом при врахуванні вікових особливостей обстежених осіб. До другої відносять суб'єктивну оцінку здоров'я за анкетуванням, яка в деякій мірі відображає характеристики центральної нервової системи [2-5].

Як наслідок - однією з головних сучасних проблем є визначення закономірностей взаємозв'язку між впливом шкідливих виробничих факторів, на рівень професійних захворювань водіїв (рис. 2).

Тому дослідження санітарно-гігієнічних умов праці, які є вихідними даними для проведення різних досліджень (зменшення біологічного віку водіїв, ступеню професійного ризику появи різних захворювань, визначення ефективних режимів роботи та ін.) впливу на умови роботи і стан здоров'я водіїв маршрутних автобусів є актуальним завданням.

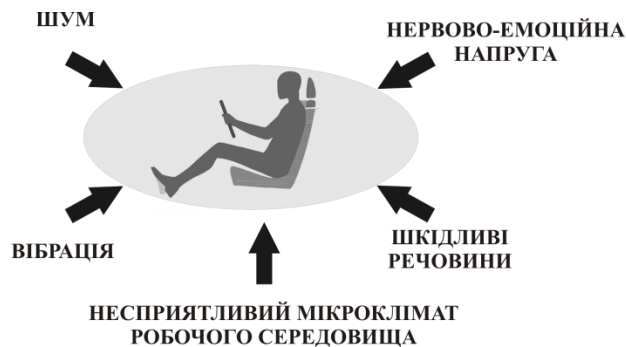


Рис. 2. Шкідливі виробничі фактори середовища, що мають вплив на стан здоров'я водіїв маршрутних автобусів.

**Постановка завдання дослідження.** Незважаючи на те, що санітарно-гігієнічні умови роботи водіїв при здійсненні автомобільних пасажирських перевезень маршрутними автобусами достатньо вивчені, та на їх основі розроблені відповідні стандарти для забезпечення належної працездатності водіїв [6], проблема збереження професійного здоров'я і створення безпечних умов праці водіїв є актуальною проблемою для всіх країн світу [7]. У зв'язку з утворенням великої кількості приватних перевізників, все частіше стали порушуватися регламентовані вимоги до організації режиму праці і відпочинку водіїв, а також значно послабився контроль за станом здоров'я водіїв, що виявилось у збільшенні, як смертельних випадків на робочому місці під час здійснення транспортного процесу перевезень, так і виникненні професійних хвороб. Крім того, за останній час значно збільшилися психологічні навантаження на водіїв, через збільшення інтенсивності руху транспортного потоку, вхідної інформації для прийняття рішень, відповідальності за безпеку перевізного процесу, складності маршрутів та ін. Так у м. Дніпро, 09.02.2017 р., під час здійснення перевезень пасажирів на маршруті № 76 (ж/м Лівобережний – Нагорний ринок), помер водій від серцевого нападу.

Даній проблематиці у свій час значну кількість публікацій присвятили як вітчизняні так і зарубіжні вчені. Зокрема у роботах Давідча Ю.О. були підняті питання ергономічного забезпечення транспортного процесу для мінімізації їх впливу на працездатність водіїв. Він знайшов можливість пов'язати зміну фізіологічного стану водіїв від довжини маршруту, його складності, потужності автомобіля та інших параметрів [8]. Однак, він мало приділив уваги впливу саме санітарно-гігієнічних умов. Цей же недолік можна виявити і у роботі Лобашова О.О. [9]. В яких він вивчав працездатність водія, здатність виконувати фізичну і розумову роботу, пов'язану з керуванням автомобілем, здатність утримувати заданий темп і переборювати втому. Цікаві дослідження були опубліковані у роботі Лебедева Т.Л. зі співавторами, які на основі анкетування намагались встановити взаємозв'язок між невідповідністю нормативних вимог тривалості періоду керування і хронічною втомою та підвищеною нервово-емоційною напруженістю, які обумовлюють зміни у вегетативній нервовій системі та підвищують ризик розвитку серцево-судинних захворювань та захворювань системи травлення [10]. Тому постає завдання провести дослідження впливу шкідливих виробничих факторів і умов роботи водіїв маршрутних автобусів.

**Мета і завдання дослідження.** Дані дослідження ставили за мету проведення вимірювань шкідливих виробничих факторів: рівня шумового навантаження, рівня вібраційного навантаження, температурного середовища робочого простору, концентрації шкідливих речовин у робочому просторі для аналізу санітарно-гігієнічних умов праці водіїв відповідних марок маршрутних автобусів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести вимірювання показників шкідливих виробничих факторів: рівня шумового навантаження, рівня вібраційного навантаження, температурного середовища робочого простору водіїв маршрутних автобусів різних марок;



- провести порівняльний аналіз отриманих результатів показників шкідливих виробничих факторів з гранично допустимими рівнями (ГДР) ДСТУ, які визначають нормативні показники робочого середовища.

**Матеріали та методи дослідження.** Санітарно-гігієнічну оцінку умов праці водіїв маршрутних автобусів за показниками основних несприятливих виробничих факторів (рівень вібраційного навантаження, рівень шумового навантаження, концентрація шкідливих речовин у робочому просторі та ін.) проводили на робочих місцях водіїв маршрутних автобусів відповідних марок: «Mercedes Benz Sprinter 411», «Рута 23», «Богдан А20111», які найбільш широко представлені в сегменті автомобільних пасажирських перевезень у м. Дніпрі. В експерименті брали участь 12 водіїв віком від 28 до 45 років зі стажем від 5 до 20 років). Загальну оцінку умов праці проводили на основі вимог і рекомендацій, які регламентовані в Гігієнічній класифікації праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу (Наказ № 248 від 08.04.2014. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 6 травня 2014 р. за № 472/25249).

Вимірювання рівня шумового навантаження проводили відповідно до розробленої методики та ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Вимірювання шумового навантаження на робочому місці водія проводили за допомогою приладу «Шум-1М», під час руху зі швидкістю 45-60 км/год. З вказаних швидкостей вибирали найменшу. Вимірювання проводили не менш ніж за п'ятьма значеннями постійних швидкостей з округленням значення до 5 км/год.: найменший показник, найбільший показник і проміжний показник, для забезпечення рівномірності інтервалів між значеннями швидкостей руху маршрутного автобуса. У кожній точці розташування мікрофона приладу «Шум-1М», проводили не менше трьох вимірювань величини рівня шумового навантаження. За результатами вимірювань приймалися середні арифметичні значення, округлені до цілого числа. Якщо різниця найбільшого і найменшого значень показників рівнів шумового навантаження в кожній точці перевищувала - 2 дБА, проводилося повторне вимірювання.

Санітарно-гігієнічні дослідження параметрів температурного середовища робочого простору водія маршрутного автобуса проведені відповідно до нормативної документації: ДСН 3.3.6.042-99, ДСН 3.3.6.096-2002, СН 2152-80, ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Виміри параметрів температурного середовища робочого простору водія маршрутного автобуса проведені за допомогою термометра кульового «ТЕНЗОР-41 (Україна)», анемометра «TESTO 405-V1». Дослідження проводили за таких умов: температура повітря в тіні +32. . . +34 °С, автобус рухався у напрямку на південь (відхилення від напрямку + 15<sup>0</sup>. . . 20<sup>0</sup>), швидкість руху 80. . . 90 км/год., час вимірювання температур з 12<sup>00</sup> до 14<sup>00</sup>. Доведено, що в період з 12<sup>00</sup> до 14<sup>00</sup> сонячна радіація і показники температури, що вимірювалася, найбільш стабільні [11]. Температури багаторазово вимірювалися у наступних зонах: голова водія, груди, живіт-стегна, ступні-гомілки. Дослідження виконувалися у такий спосіб. Враховуючи щосидіння водія і пасажира, розміщуються симетрично і кліматичні умови для водія і пасажира однакові, термометри були встановлені на пасажирському місці. Виміри проводилися в кожній зоні тричі з повторюванням через 5 хв.

Санітарно-гігієнічні дослідження параметрів концентрації шкідливих речовин у робочому просторі водія маршрутного автобуса проведені відповідно до нормативної документації: ДСН 3.36.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Виміри параметрів концентрації шкідливих речовин в робочому просторі водія маршрутного автобуса проведені за допомогою газоаналізатора «ГХ» у комплекті з індикаторними трубками для контролю: аміаку, бензолу, бензину, ксилолу, оксиду вуглецю, толуолу, хлору, оксидів азоту, сірководню, етилового ефіру, вуглеводнів нафти, які сертифікований в Україні. Загальну концентрацію пилу в повітрі робочої зони водія маршрутного автобуса визначали за допомогою аспірації «АЕРА», який забезпечував, з витратою повітря 20 л/хв., відбір проб в зоні дихання водія на аналітичні фільтри «АФА-10», які потім зважували на аналітичних вагах «ВЛО-200». Час відбору проб фіксували за допомогою секундоміра. Подібний підхід для визначення небезпечних концентрацій шкідливих речовин був використаний у роботі [12]. Отримані результати обробляли методами варіаційного і кореляційного аналізу за допомогою додатку програми Microsoft Office – Excel-2010.

Вимірювання рівня вібраційного навантаження проводили відповідно до розробленої методики та ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації». Вимірювання вібраційного навантаження на робочому місці водія проводили за допомогою цифрового контактного віброметра «AR63A (GM63A)». Вимірювання рівня вібраційного навантаження на робочому місці водія відповідних марок маршрутних автобусів виконувалося за

наступними умовами: при русі маршрутного автобуса з постійною швидкістю при виконанні транспортної роботи з перевезення пасажирів і на нерухомому маршрутному автобусі під час відстою у місцях відпочинку водіїв. Дослідження вібрації коробки передач проводилося при русі маршрутного автобуса на другій передачі на рівній ділянці асфальтного шосе при частоті обертання колінчатого валу 1200-1300 об./хв.

**Результати досліджень.** Встановлено, що до несприятливих факторів дії на здоров'я водія в кабіні маршрутного автобуса – належить рівень шумового навантаження (табл. 1). Відомо, що рівень шумового навантаження суттєво впливає на психологічний стан водія. Розрізняють наступні наслідки дії шумового навантаження на водія: подразливість, зниження самовладання і концентрації уваги. Це може вплинути на характер прийняття схвалюваних рішень, що важливо, наприклад, для водія у випадку швидкої зміни ситуації під час керування транспортним засобом у міських умовах руху або на погіршення уваги в процесі тривалої роботи, що підвищить ризик виникнення ДТП.

Таблиця 1  
Рівні шумового навантаження на робочому місці водія в кабіні маршрутного автобуса

Марка автобуса	Рівень звукового тиску в октанових полосах з середньгеометричними частотами, Гц								Еквівалентний рівень звуку, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
«Mercedes Benz Sprinter 411»	90,4± 0,56	86,4± 0,54	82,3± 0,50	78,3± 0,46	76,2± 0,49	69,2± 0,47	67,9± 0,44	63,1± 0,39	82,9
«Рута 23»	91,3± 0,62	87,3± 0,59	83,1± 0,55	79,1± 0,51	77,0± 0,54	69,9± 0,52	68,6± 0,48	63,8± 0,43	84,6
«Богдан А20111»	94,9± 0,97	90,8± 0,95	86,4± 0,89	82,2± 0,82	80,0± 0,87	72,7± 0,84	71,3± 0,77	66,3± 0,69	87,7
ГДР по ДСН 3.3.6.037-99									
Автобуси	91	83	77	73	70	68	66	64	80

За даними досліджень, що представлені в табл. 1 можна зробити наступні висновки - що середнє значення еквівалентного рівня шумового навантаження на робочому місці водія в мікроавтобусах - «Mercedes Benz Sprinter 411» -78,7 дБА; «Рута 23» -78,8 дБА; «Богдан А20111» - 80,5. Зазначені показники рівня шумового навантаження відповідних марок маршрутних автобусів не перевищують норму ГДР. Причини на наш погляд різні - від елементарних недостатньо закріплених панелей до необхідного капітального ремонту, як двигуна так і салону.

Температура робочого простору кабіні водія маршрутного автобуса впливає на рівень уваги, точність, швидкість реакції, відчуття комфорту і може призводити до розвитку втомлюваності та ін. Тому цей показник повинен відповідати нормам і не перевищувати ГДР (табл. 2).

Таблиця 2  
Мікрокліматичні умови на робочих місцях водіїв маршрутного автобуса

Марка автобуса	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний і перехідний період року			
«Mercedes Benz Sprinter 411»	+2 - +29	16-78	0,5-0,8
«Рута 23»			0,5-0,9
«Богдан А20111»			0,6-0,9
ГДР згідно ДСН 3.3.6.042-99	17-23	75	0,3
Теплий період року			
«Mercedes Benz Sprinter 411»	27-30	20-86	0,5-0,8
«Рута 23»			0,9
«Богдан А20111»			0,9
ГДР згідно ДСН 3.3.6.042-99	18-27	65	0,2-0,4

Найбільш сприятливі умови роботи для водіїв маршрутних автобусів створюються при температурі повітря в холодний період року 18-23 °С, а в теплий 20-23 °С [13]. Температура робочого простору кабіні водія маршрутного автобуса залежить від конструктивних особливостей -

герметичності кабіни, розміщення двигуна, його теплоізоляції, від ефективної роботи системи обігріву або кондиціонування залежно від пори року, а також від якостей матеріалів, використуваних в оснащенні кабіни.

З даних досліджень, що представлені в табл. 2 можна зробити наступні висновки про те, що водії в теплий період року (з червня по вересень) працюють в умовах підвищених температур. Значення температури вже з шостої години роботи водіїв (о 10<sup>00</sup>-11<sup>00</sup> годин ранку) перевищували допустимі величини і становили 43-45 °С. Також відповідні показники і у холодний період року значною мірою відрізняються від допустимих. Це свідчить про те, що вентиляційна і опалювальна системи не забезпечують необхідну температуру повітря. Наприклад, влітку значний вплив має нагрівання сонцем стін кабіни, потоки додаткового тепла від працюючого двигуна та тепловиділення від пасажирів, тоді як у більшості маршрутних автобусів відсутній кондиціонер.

Значний вплив на здоров'я водіїв має наявність шкідливих речовин (пилу) в просторі робочого місця водія маршрутного автобуса і в пасажирському салоні. Негативний вплив цього показника в окремих випадках може спричинити розвиток алергічних реакцій, ослаблення імунної системи, погіршення самопочуття водіїв маршрутних автобусів [14]. Як видно з даних, представлених в табл. 3, рівні концентрації шкідливих речовин коливаються в межах від 7 до 10 мг/м<sup>3</sup>. Однак, представлені в цій таблиці дані, являють собою усереднені показники і в окремих випадках концентрація пилу в просторі робочого місця водія перевищувала ГДР. Цьому сприяє суха погода, ступінь технічного зносу, або конструктивної недосконалості захисних ущільнюючих елементів корпусу маршрутного автобуса, а також дорожні умови, в яких здійснюються перевезення.

Таблиця 3

Рівні концентрації шкідливих речовин (пилу) в просторі робочого місця водія маршрутного автобуса

Марка автобусу	Рівень запилення (в середньому), мг/м <sup>3</sup>		
	В зоні дихання водія	Біля підлоги	РДК
«Mercedes Benz Sprinter 411»	7,29±0,35	3,11±0,27	6,0
«Рута 23»	7,86±0,43	4,49±0,42	
«Богдан А20111»	10,43±0,51	5,76±0,48	

Значним несприятливим фактором в кабінах маршрутних автобусів, є забруднення токсичними хімічними речовинами продуктів термодеструкції відпрацьованого палива і масел самого транспортного засобу, а також шкідливі речовини, що потрапляють в середину маршрутного автобуса з навколишнього середовища. Одними з небезпечних шкідливих речовин для здоров'я водіїв є оксиди азоту і вуглецю. Наприклад, перший у незначних кількостях може викликати відчуття сп'яніння, а отже може стати причетним до виникнення дорожньо-транспортних пригод. Тоді як діоксиди азоту дуже подразнюють слизові оболонки дихальних шляхів що може призвести до серйозного отруєння та викликати сенсорні, функціональні і патологічні ефекти. В свою чергу оксид вуглецю викликає зміни в центральній нервовій системі як своїм безпосереднім впливом, так і станом гіпоксії. Як видно з даних (табл. 4), в робочому просторі кабін маршрутних автобусів концентрації оксидів вуглецю і азоту знаходяться у межах норми. Однак, при зниженні показника герметичності кабіни, неповному згорянні пального, що виникає при несвоєчасному обслуговуванні систем двигуна їх концентрація може значно збільшитись. Необхідно також відзначити, що збільшення концентрації шкідливих хімічних речовин може відбутись і через простої маршрутних автобусів у перенасичених автомобілями вулицях.

Таблиця 4

Рівні концентрації шкідливих хімічних речовин в просторі робочого місця водія маршрутного автобуса

Марка автобусу	Забруднення кабін маршрутних автобусів шкідливими хімічними речовинами, мг/м <sup>3</sup>			
	Оксиди азоту (ГДР - 5,0 мг/м <sup>3</sup> )		Оксид вуглецю (ГДР - 20,0 мг/м <sup>3</sup> )	
	В зоні дихання	У підлоги	В зоні дихання	У підлоги
«Mercedes Benz Sprinter 411»	2,1±0,5	1,9±0,2	7,8±1,4	7,2±1,1
«Рута 23»	2,2±0,4	2,1±0,2	12,3±1,4	11,2±1,1
«Богдан А20111»	2,4±0,3	2,5±0,4	18,6±2,1	15,7±1,9

Отримані дані вимагають від керівників автотранспортних підприємств прийняти відповідні організаційні заходи, щоб мінімізувати вплив шкідливих факторів для збереження здоров'я водіїв. На наш погляд найбільш дієвим способом у сучасних умовах є коригування режиму праці і відпочинку водіїв маршрутних автобусів, який би дозволив працюючим особам відновлюватись після робочої зміни.

Рівень вібраційного навантаження на водія є одним із несприятливих виробничих факторів, що впливають на стан здоров'я водіїв маршрутних автобусів. Під час руху маршрутного автобуса виникають коливання, зумовлені неврівноваженими силовими діями у вузлах і агрегатах, а також зовнішньою змінною дією від нерівностей дорожнього покриття. Ці коливання передаються на кузов маршрутного автобуса і через дорожнє покриття та ґрунт – на елементи придорожнього простору. Дію вібраційного навантаження можна розглядати за аналогією з шумом у двохаспектах: дія на водія і пасажирів маршрутного автобуса і дія на навколишні об'єкти. Вібраційне навантаження викликає порушення фізіологічного і функціонального станів організму водія, призводить до появи втоми і є джерелом тяжких захворювань. Стійкі шкідливі фізіологічні зміни, що виникають в наслідок тривалої дії вібраційного навантаження, призводять до появи вібраційної хвороби [15].

За даними досліджень (табл. 5) можна зробити наступні висновки, рівні вібраційного навантаження на робочих місцях водіїв маршрутних автобусів перевищували нормативні значення від 10 до 20 дБ (ГДР за значенням віброприскорення – 65 дБ). До причини відповідності маршрутних автобусів за показником вібраційного навантаження можна віднести недосконалість конструкції, або несправний стан системи підвішування транспортного засобу.

Таблиця 5

Рівні вібраційного навантаження в кабіні маршрутного автобуса

Марка автобусу	Вісі $X_0, Y_0, Z_0$	Скореговане значення вібрації, дБ	Мінімальні і максимальні значення, дБ
«Mercedes Benz Sprinter 411»	$Z_0$	75,8	70-80
	$X_0, Y_0$	71,8	68,5-76,0
«Рута 23»	$Z_0$	80,5	73-90
	$X_0, Y_0$	85,0	77-93
«Богдан А20111»	$Z_0$	77,0	74-89
	$X_0, Y_0$	86,3	74-97
ГДР по ДСН 3.3.6.039-99 скореговані рівні, категорія 1, транспортна			
Автобуси	$Z_0$	65 – віброприскорення; 107 - віброшвидкість	
	$X_0, Y_0$	62 – віброприскорення; 116 - віброшвидкість	

**Висновки.** За результатами проведеного аналізу санітарно-гігієнічних умов праці водіїв маршрутних автобусів відповідних марок: «Mercedes Benz Sprinter 411», «Рута 23», «Богдан А20111», що найбільш широко представлені в сегменті автомобільних пасажирських перевезень у м. Дніпрі, можна зробити наступні висновки. Всі перевірені маршрутні автобуси мають перевищення рівнів шумового навантаження від 2,9 до 7,7 дБА, рівнів вібраційного навантаження – від 10 до 20 дБ та показників мікрокліматичних умов на робочих місцях водіїв маршрутних автобусів, які влітку сягають неприпустимих температурних показників перевищення сягають до 15-20 °С. Також відзначимо позитивний результат проведеного аналізу санітарно-гігієнічних умов праці водіїв маршрутних автобусів – концентрація шкідливих речовин робочого місця водія маршрутного автобусу перевищує ГДР. До рекомендацій, щодо зменшення шкідливого впливу негативних факторів рекомендується переглянути режими праці і відпочинку водіїв. Слід забезпечити їх роботу не більше 8 годин з обов'язковими перервами на відпочинок після кожного виконаного рейсу не менше 45 хв.

1. Сухова, Я.М. Оценка профессионального риска здоровью водителей специализированного автотранспорта: Дис. ... канд. мед. наук : 14.02.04 / Сухова Яна Михайловна; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И.Мечникова". – М., 2009. – 189 с.

2. Демецька О.В., Горбань Л.М., Кучерук Т.К., Мовчан В.О. Біологічний вік та деякі показники гомеостазу у робітників основних професій виробництва феросплавів [Текст] / О.В. Демецька, Л.М. Горбань, Т.К. Кучерук, В.О. Мовчан // Довкілля та здоров'я. – 2002. – № 3. – С. 34–37.



3. Кашуба Н.А. О методологических подходах к оценке биологического возраста человека [Текст] / Н.А. Кашуба // Гигиена труда. – 2003.– № 34.– С.813–825.
4. 80. Ingram D.K., Nakamura E., Smucny D. et al. Strategy for identifying biomarkers of aging in long-live species // Exp.Gerontol.—2001.—Vol. 36.—P. 1025–1034. Exp. Gerontol. 36, p. 1025–1034.
5. Абрамович С.Г., Михалеви́ч И.М. Биологический возраст человека, сердечно-сосудистая система и скорость старения [Текст] / С.Г. Абрамович, И.М. Михалеви́ч // Клиническая медицина.—2001.— № 5.— С. 3–32.
6. Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України «Про затвердження Положення про робочий час і час відпочинку водіїв колісних транспортних засобів» від 07.06.2010 № 340.
7. Профиль автотранспортного сектора в Санкт-Петербурге – условия труда, профессиональное здоровье и безопасность [Текст] / Под ред. С. В. Гребенькова. – Санкт-Петербург, 2011. – 54 с.
8. Давідіч Ю.О. Ергономічне забезпечення транспортних процесів: [Текст]: навч. посібник / Ю.О. Давідіч, Є.І. Куш, Д. П. Понкратов; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 392 с.
9. Лобашов О.О., Бурко Д.Л., Прасоленко О.В. Закономірності функціонування ергономічної системи: «водій - автомобіль – предмет праці (пересування водія) – середовище» в умовах міста / О.О. Лобашов., Д.Л. Бурко, О.В. Прасоленко // в кн. Застосування моделей і методів ергономіки і логістики в транспортних системах: монографія / [В.К. Доля, Ю.О. Давідіч, О.О. Лобашов та ін.]; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків: Видавництво «Лідер», 2016. – С. 127-133.
10. Лебедева Т.Л. Вивчення стану здоров'я водіїв таксі за результатами анкетного опитування / Т.Л. Лебедева., С.В.Гуров, В.А.Петров, Ю.О.Чорний // Актуальные проблемы транспортной медицины – 2016. - №2 (44). – 67-73.
11. Верещягин С.Б. Исследование температурного режима и влажности в кабине транспортного средства в условиях жары. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». - 2011. - № 3. С. 56-63.
12. Сидоренко С.Г. Гигиеническая оценка условий труда водителей автопоездов и рабочих маслоэкстракционных заводов, контактирующих с фумигированными зерновыми грузами[Текст] / С.Г. Сидоренко //Актуальные проблемы транспортной медицины - 2015. - №1(39). С. 59-71.
13. Лук'яненко В.М. Аналіз вимог до мікроклімату на робочому місці оператора мобільної сільськогосподарської техніки / В.М. Лук'яненко, І.В. Галич // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка, випуск 93, «Механізація сільськогосподарського виробництва», Вісник ХНТУСГ, Випуск 93, Том 2, 2010. – С. 232-247.
14. Гигиеническая оценка загазованности производственной среды водителей автотранспорта и профилактические мероприятия / А.С. Каракушикова, К.К. Тогузбаева, Л.С. Ниязбекова, Л.Б. Сейдуанова, Д.Д. Жунистаев, А.Б. Нуршабекова, // Весник КАЗНМУ. – 2012. - №2. – С. 15-20.
15. Романченко М.К. О воздействии вибрации на человека / М.К.Романченко, И.В. Сырмолов, С.Ю. Карайван, А.А.Новиков, Е.В. Никулин // Альманах современной науки и образования Тамбов: Грамота. - 2011. - № 12(55). -С. 56-58.

## REFERENCES

1. Sukhova, Ya.M. Assessment of professional risk to drivers of purpose-built vehicle: Thesis for a Degree of Candidate of Medical Science: 14.02.04 / Sukhova, Yana Mikhailovna; Federal State-Financed Educational Institution "I.I. Mechnikov North-West State Medical University". – M., 2009. – 189 pp.
2. Demetska, O.V., Gorban, L.M., Kucheruk, T.K., Movchan, V.O. Biological age and certain homeostasis indices displayed by workers of the prime occupations in the context of ferrous-based alloys manufacture [Text] / O.V. Demetska, L.M. Gorban, T.K. Kucheruk, V.O. Movchan // Environment and Health. – 2002. – # 3. – Pp. 34–37.
3. Kashuba, N.A. On the methodological approaches to the determination of biological age of a human [Text] / N.A. Kashuba // Labour hygiene. – 2003.– # 34.– Pp. 813–825.
4. 80. Ingram D.K., Nakamura E., Smucny D. et al. Strategy for identifying biomarkers of aging in long-live species // Exp.Gerontol.—2001.—Vol. 36.—P. 1025–1034. Exp. Gerontol. 36, p. 1025–1034.
5. Abramovich, S.G., Mikhalevich, I.M. Biological age of a human, cardiovascular system, and ageing rate [Text] / S.G. Abramovich, I.M. Mikhalevich // Clinical medicine.—2001.— # 5.— Pp. 3–32.
6. Order by the Ministry of Transport and Communications of Ukraine “On the approval of working time provision and time off for the drivers of wheeled vehicles“ of 07.06.2010 №#340.
7. Structure of motor-transport sector in Saint Petersburg – labour conditions, professional health, and safety [Text] / under the editorship of S. V. Grebenkov. – Saint Petersburg, 2011. – 54 pp.
8. Davidich, Yu. O. Ergonomic provision for transport processes: [Text]: manual / Yu. O. Davidich, Ye.I. Kush, D. P. Ponkratov; Kharkiv National Academy of Municipal Economy. – Kh.: KhNAME, 2011. – 392 pp.
9. Lobashov, O.O., Burko, D.L., Prasolenko, O.V. Regularities of ergonomic system “Driver-vehicle-work object (driver movement)-environment” functioning in the context of a city / O.O. Lobashov., D.L. Burko, O.V. Prasolenko/ “Application of models and techniques of ergonomics in terms of transport systems”: monograph. / [V.K.Dolia, Yu.O. Davidich, O.O. Lobashov et al.]; Kharkiv National University of Municipal Economy named after O.M. Beketov. – Kharkiv: Publishing House “Lider”, 2016. – Pp. 127-133.
10. Liebiedeieva, T.L. Analysis of health status of taxi drivers according to the results of questionnaire survey / T.L. Liebiedeieva, S.V.Gurov, V.A.Petrov, Yu.O.Chorny // Actual Problems of Transport Medicine – 2016. - #2 (44). – Pp.67-73.
11. Vereshchiagin, S.B. Analysis of temperature conditions and humidity in a vehicle cab under the conditions of heat. Messenger of MSTU named after N.E. Bauman. “Mashinostroenie” series. - 2011. - # 3. Pp. 56-63.



12. Sidorenko, S.G. Hygienic assessment of labour conditions of roadtrain drivers and workers of solvent-extraction plants being in contact with fumigated grain cargo [Text] / S.G. Sidorenko/ Actual Problems of Transport Medicine - 2015. - #1(39). Pp. 59-71.

13. Lukianenko, V.M. Analysis of requirements for microclimate at the workplace of operator of mobile agricultural machinery / V.M. Lukianenko, I. V. Galych // Messenger of Kharkiv National Technical Agricultural University named after Petro Vassilenko, issue 93, "Mechanization of Agricultural Production, Messenger KhNTAU, issue 93, volume 2, 2010. – Pp. 232-247.

14. Hygienic assessment of technological environment pollution of motor-transport drivers and preventive control / A.S. Karakushikova, K.K. Toguzbaeva, L.S. Nijazbekova, L.B. Seiduanova, D.D. Zhunistaiev, A.B. Nurshabekova // Messenger of KAZNMU. – 2012. - #2. – Pp. 15-20.

15. Romanchenko, M.K. On the influence of vibration on a human / M.K. Romanchenko, I.V. Syrmolotov, S.Yu. Karaivan, A.A. Novikov, E.V. Nikulin // Almanac of Modern Science and Education. Tambov: "Gramota". - 2011. - #12(55). - Pp. 56-58.

**Дерюгін О.В., Чеберячко С.І. Аналіз санітарно-гігієнічних умов праці водіїв маршрутних автобусів.**

Проведен аналіз санітарно-гігієнічних умов праці водіїв маршрутних автобусів. Проаналізовані три найбільш розповсюджені типи маршрутних автобусів. Установлено, що санітарно-гігієнічні умови праці на робочих місцях водіїв маршрутних автобусів марок «Mercedes Benz Sprinter 411», «Рута 23», «Богдан А20111» мають отрицательні показники і характеризуються перевищенням рівнів шумової навантаження від 2,9 до 7,7 дБА, вібрацій - від 10 до 20 дБ і мікрокліматичні показники робочої середовища, перевищення яких влітку досягають недопустимих показників до 15-20 °С. Також відзначено позитивний результат проведеного аналізу - концентрація шкідливих речовин в робочій зоні менше гранично допустимого рівня.

**Ключові слова:** санітарно-гігієнічні умови, шкідливі виробничі фактори, шумова навантаження, вібраційна навантаження, температурна середовища, концентрація шкідливих речовин, маршрутний автобус, гранично допустимий рівень

**Deryugin, O.V., Cheberyachko, S.I. Analysis of hygienic and sanitary conditions of labour conditions of drivers of public transport buses.**

Hygienic and sanitary conditions of labour conditions of drivers of public transport buses have been analyzed. Three the most popular types of public transport buses have been considered. It has been determined that hygienic and sanitary conditions at working places of drivers of such public transport buses as "Mercedes Benz Sprinter 411", "Ruta 23", "Bogdan A20111" have negative indices; moreover, they are characterized by excessive levels of noise load (2.9 to 7.7 dBA) and vibration (10 to 20 dBA); moreover, excessive levels of microclimatic indices achieving in summer 15-20 °C which is inadmissible. Positive result of the analysis has also been mentioned i.e. concentration of hazardous substances within working area is less than the maximum permissible level.

**Key-words:** hygienic and sanitary conditions, harmful occupational factors, noise load, vibration load, temperature environment, concentration of hazardous substances, public transport bus, maximum permissible level.

**АВТОРИ:**

*Дерюгін Олег Валентинович*, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри «Управління на транспорті», ДВНЗ «Національний гірничий університет», e-mail: [oleg.kot@meta.ua](mailto:oleg.kot@meta.ua)

*Чеберячко Сергій Іванович*, доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри «Аерологія і охорона праці», ДВНЗ «Національний гірничий університет», e-mail: [sihc@yandex.ua](mailto:sihc@yandex.ua)

**AUTHORS:**

*Oleg DERYUGIN*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport Control of the State Higher Educational Institution «National Mining University», e-mail: [oleg.kot@meta.ua](mailto:oleg.kot@meta.ua)

*Sergiy CHEBERYACHKO*, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport Control of the State Higher Educational Institution «National Mining University», e-mail: [sihc@yandex.ua](mailto:sihc@yandex.ua)

**АВТОРЫ:**

*Дерюгін Олег Валентинович*, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Управления на транспорте», ГВУЗ «Национальный горный университет», e-mail: [oleg.kot@meta.ua](mailto:oleg.kot@meta.ua)

*Чеберячко Сергей Иванович*, доктор технических наук, доцент кафедры «Аэрологии и охраны труда», ГВУЗ «Национальный горный университет», e-mail: [sihc@yandex.ua](mailto:sihc@yandex.ua)

Стаття надійшла в редакцію. 3.05.2017 р.

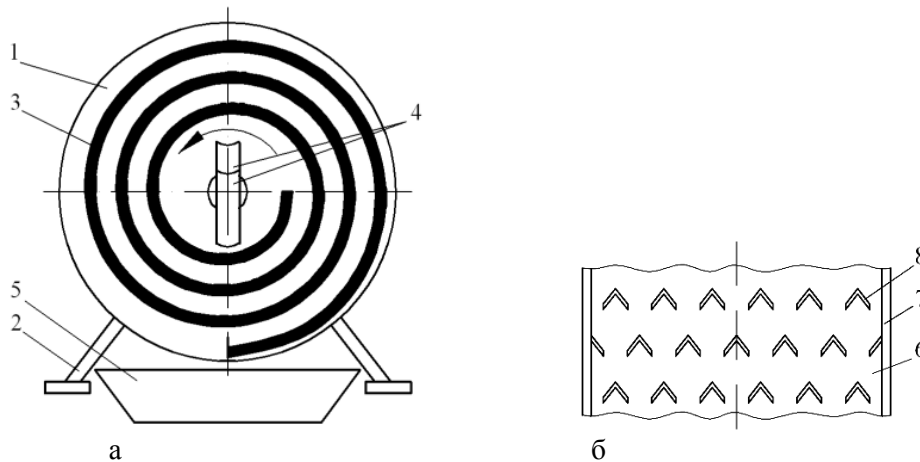
Дударев І.М.  
Луцький національний технічний університет

## РОЗРАХУНОК БАГАТОПОТОКОВОГО СПІРАЛЬНОГО ЗМІШУВАЧА СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

У статті представлено результати розрахунку багатопотокового спірального змішувача сипких матеріалів. Спіральний змішувач у порівнянні з іншими конструкціями змішувачів не містить активних робочих органів, відповідно, унеможливується пошкодження компонентів суміші. Запропонована математична модель процесу змішування сипких матеріалів у спіральному змішувачі, яка розроблена з використанням математичного апарату, що розроблений для Марковського випадкового процесу. Моделювання процесу змішування здійснено на основі аналізу можливих випадків переміщення частинок сипких матеріалів спіральною робочою поверхнею змішувача. За допомогою розробленої математичної моделі можливо визначити ступінь змішування сипких матеріалів та обґрунтувати конструктивні параметри спірального змішувача.

**Ключові слова:** спіральний змішувач, процес змішування, розрахунок, сипкий матеріал, ймовірність станів.

**Постановка проблеми.** Для змішування сипких матеріалів у переробній та харчовій промисловості, а також у інших галузях використовуються змішувачі різного конструктивного виконання. Конструкція змішувача залежить від способу змішування, який він реалізовує. Найбільше поширення мають такі змішувачі: відцентрові, барабанні, вібраційні, черв'ячно-лопатеві, лопатеві відцентрової дії, гравітаційні, пневматичні, шнекові та стрічкові. Більшість змішувачів обладнано спеціальними робочими органами, що забезпечують інтенсивне перемішування компонентів суміші, що для окремих матеріалів є недопустимим, оскільки спричиняє їх пошкодження або погіршення якісних показників. Серед конструкцій змішувачів, що не містять активних робочих органів, є багатопотоковий спіральний змішувач (рис. 1), який обладнаний спіральною робочою поверхнею.



1 – диск; 2 – рама; 3 – спіральний матеріалопровід; 4 – завантажувальні горловини; 5 – ємкість для готової суміші; 6 – днище; 7 – борт; 8 – спрямовувач потоку

Рисунок 1 – Спіральний змішувач (а) та фрагмент розгортки спірального матеріалопроводу (б)

Для забезпечення якісного змішування сипких матеріалів у спіральному змішувачі необхідно обґрунтувати його конструктивні параметри, за яких досягається необхідний ступінь змішування компонентів. Тому дослідження спрямовані у цьому напрямку є актуальними.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз наукових праць [1 – 4], в яких досліджено чи здійснено моделювання процесу змішування сипких матеріалів, показав, що отримані математичні моделі не є універсальними, а розроблені для процесу змішування, який здійснюється у змішувачах певної конструкції. Тому ці моделі малоприменні для опису процесу змішування у спіральному змішувачі. Таким чином, розробка математичної моделі, що описує процес змішування сипких матеріалів у спіральному змішувачі, є необхідною для обґрунтування його параметрів.

**Мета дослідження** – розрахувати процес змішування сипких матеріалів у багатопотоковому спіральному змішувачі для визначення конструктивних параметрів змішувача та якісних показників процесу.

**Результати дослідження.** Дослідимо процес змішування сипких матеріалів у спіральному змішувачі, вздовж днища спірального матеріалопроводу якого встановлені у шаховому порядку спрямовувачі потоку V-подібної форми. З конструктивних міркувань приймаємо, що вздовж днища розташовані сім рядів спрямовувачів, у кожному з яких по шість спрямовувачів V-подібної форми. Кожен спрямовувач має по дві грані. Через один ряд до бортів матеріалопроводу прикріплено спрямовувачі, що мають лише одну грань (рис. 1).

Розглянемо переміщення вздовж днища матеріалопроводу окремих частинок сипкого матеріалу, які сходять з усіх граней спрямовувачів потоку першого ряду і визначимо ймовірності їх (частинок матеріалу) перебування, після проходження усіх рядів спрямовувачів потоку, на усіх гранях спрямовувачів потоку останнього ряду, тобто в кінці спірального матеріалопроводу.

Приймаємо, що усі частинки сипкого матеріалу мають однакові фізико-механічні властивості, форму, розміри та масу. Нехай при сходженні частинки з будь-якої грані усіх спрямовувачів потоку можливі три рівноймовірні випадки переміщення частинки:

1) траєкторія руху частинки днищем після сходження зі спрямовувача не перетинає поздовжню вісь днища, тобто змішування компонентів не відбувається, вони продовжують далі рух окремими потоками;

2) траєкторія руху частинки днищем після сходження зі спрямовувача перетинає поздовжню вісь днища, але змішування не відбувається, оскільки частинки матеріалів не контактують між собою, тому продовжують рухатися окремими потоками;

3) траєкторія руху частинки днищем після сходження зі спрямовувача перетинає поздовжню вісь днища, але цього не відбувається внаслідок удару (контакту) частинок різних матеріалів, що спричиняє зміну їх траєкторії, тому змішування не відбувається, частинки різних матеріалів продовжують рухатися далі окремими потоками.

Для математичного опису процесу змішування компонентів у спіральному змішувачі, тобто руху їх частинок вздовж днища спірального матеріалопроводу, застосуємо математичний апарат, що розроблений для Марковського випадкового процесу з дискретними етапами і дискретним часом [5].

Внаслідок великої кількості спрямовувачів потоку матимемо значну кількість станів можливого перебування частинки матеріалу. Для визначення ймовірностей станів частинки зручно користуватися графом станів. Пояснимо на прикладі як це можна зробити (рис. 2). Якщо частинка матеріалу перебуває у стані  $A$  з ймовірністю  $p_A$  (рис. 2, а), а ймовірності її переходу зі стану  $A$  в стани  $B$  та  $C$  відповідно рівні  $P_{AB}$  та  $P_{AC}$ , тоді ймовірність перебування частинки матеріалу в стані  $B$  буде  $p_B = p_A \cdot P_{AB}$ , а ймовірність перебування частинки в стані  $C$  буде  $p_C = p_A \cdot P_{AC}$ .

Якщо ж частинка матеріалу на попередньому етапі могла перебувати з певною ймовірністю у кількох станах, наприклад (рис. 2, б),  $A$  та  $D$  з відповідними ймовірностями  $p_A$  та  $p_D$ , тоді у відповідності до графа станів ймовірність її перебування у стані  $B$  визначається так само як і у попередньому випадку  $p_B = p_A \cdot P_{AB}$ , а ймовірність перебування у стані  $C$  визначається наступним чином  $p_C = p_A \cdot P_{AC} + p_D \cdot P_{DC}$ .

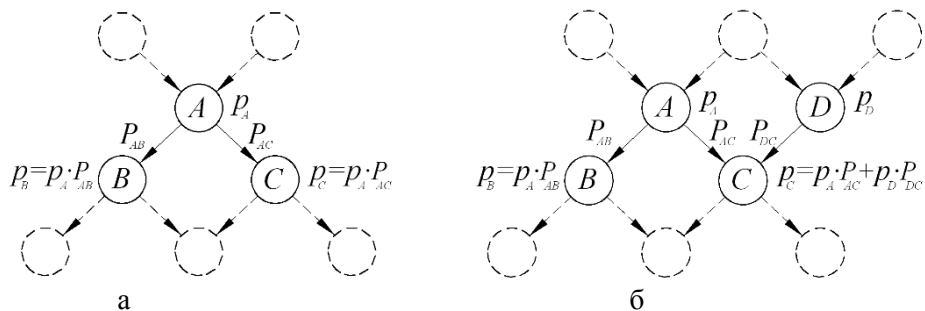


Рисунок 2 – Графи станів частинки сипкого матеріалу

Ймовірність станів частинки матеріалу  $p_1(k)$ ,  $p_2(k)$ , ...,  $p_n(k)$  після довільного  $k$ -го етапу розраховується за формулою [5]:

$$p_i(k) = \sum_{j=1}^n p_j(k-1) \cdot P_{ji}, \quad (i = \overline{1, n}) \quad (1)$$

де  $P_{ji}$  – ймовірність переходу частинки матеріалу зі стану  $S_j$  в стан  $S_i$ ;

$n$  – кількість спрямовувачів об'єднувачів потоків, що розміщені вздовж днища спірального матеріалопроводу, на яких може перебувати частинка матеріалу, шт.

Розглянемо окремо переміщення частинок матеріалу спіральним матеріалопроводом, які сходять з кожної грані спрямовувачів потоку першого ряду. Оскільки в першому ряду встановлено шість спрямовувачів, які мають дванадцять граней, тоді, відповідно, необхідно розглянути дванадцять випадків переміщення частинок матеріалу. Пронумеруємо ці грані зліва направо від 1 до 12, як показано на рис. 3, а. Нижній індекс "1" вказує на те, що це грані першого ряду спрямовувачів по ходу матеріалу спіральним матеріалопроводом. Очевидним є те, що можливе переміщення (ймовірні стани) частинок матеріалу, що сходять з граней  $1_1$  та  $12_1$ , вздовж днища буде симетричним відносно поздовжньої осі днища. Аналогічно будуть симетричними відносно поздовжньої осі днища можливі переміщення частинок, що сходять з граней:  $2_1$  та  $11_1$ ;  $3_1$  та  $10_1$ ;  $4_1$  та  $9_1$ ;  $5_1$  та  $8_1$ ;  $6_1$  та  $7_1$ . Враховуючи зазначене, достатньо розглянути можливе переміщення (ймовірні стани) частинок матеріалу, що сходять з граней  $1_1, 2_1, 3_1, 4_1, 5_1$  та  $6_1$ .

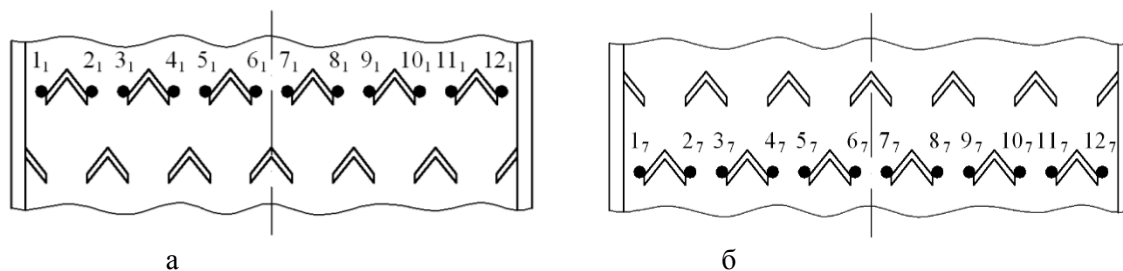


Рисунок 3 – Схеми до пояснення нумерації граней спрямовувачів потоку першого ряду (а) та сьомого ряду (б)

Спочатку розглянемо можливі переміщення частинки матеріалу, що сходять з грані  $1_1$  спрямовувача потоку першого ряду (рис. 4, а). Граф можливих станів частинки матеріалу під час переміщення днищем представлений на рис. 4, б. Відповідно до графу станів частинка може перебувати у 22 станах:  $S_1, S_2, \dots, S_{22}$ . На графі станів вказані перехідні ймовірності частинки з одного стану в другий на кожному  $k$ -му етапі.

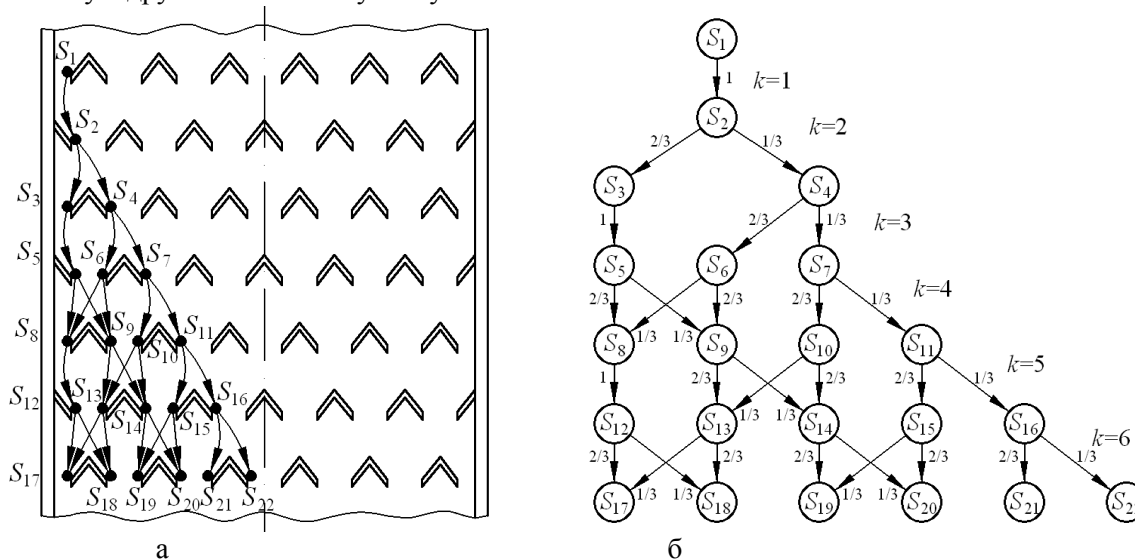


Рисунок 4 – Схема можливих переміщень частинки матеріалу, що сходять з грані  $1_1$  (а), та граф можливих станів частинки матеріалу, що сходять з грані  $1_1$  (б)

Визначимо ймовірності проходження частинки матеріалу через певні грані спрямовувачів на кожному етапі її руху днищем, тобто ймовірності перебування частинки у певних станах. Ймовірність перебування частинки матеріалу у станах після першого етапу:

– у стані  $S_2$ :  $p_2(1) = 1$ .

Ймовірність перебування частинки матеріалу у станах після другого етапу:

– у стані  $S_3$ :  $p_3(2) = p_2(1) \cdot P_{23} = 1 \cdot 2/3 = 2/3$ ;

– у стані  $S_4$ :  $p_4(2) = p_2(1) \cdot P_{24} = 1 \cdot 1/3 = 1/3$ .

Ймовірність перебування частинки матеріалу у станах після третього етапу:

$$- \text{ у стані } S_5 : p_5(3) = p_3(2) \cdot P_{35} = \frac{2}{3} \cdot 1 = \frac{2}{3};$$

$$- \text{ у стані } S_6 : p_6(3) = p_4(2) \cdot P_{46} = \frac{1}{3} \cdot \frac{2}{3} = \frac{2}{9};$$

$$- \text{ у стані } S_7 : p_7(3) = p_4(2) \cdot P_{47} = \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{3} = \frac{1}{9}.$$

Ймовірність перебування частинки матеріалу у станах після четвертого етапу:

$$- \text{ у стані } S_8 : p_8(4) = p_5(3) \cdot P_{58} + p_6(3) \cdot P_{68} = \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} + \frac{2}{9} \cdot \frac{1}{3} = \frac{14}{27};$$

$$- \text{ у стані } S_9 : p_9(4) = p_5(3) \cdot P_{59} + p_6(3) \cdot P_{69} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3} + \frac{2}{9} \cdot \frac{2}{3} = \frac{10}{27};$$

$$- \text{ у стані } S_{10} : p_{10}(4) = p_7(3) \cdot P_{710} = \frac{1}{9} \cdot \frac{2}{3} = \frac{2}{27};$$

$$- \text{ у стані } S_{11} : p_{11}(4) = p_7(3) \cdot P_{711} = \frac{1}{9} \cdot \frac{1}{3} = \frac{1}{27}.$$

Ймовірність перебування частинки матеріалу у станах після п'ятого етапу:

$$- \text{ у стані } S_{12} : p_{12}(5) = p_8(4) \cdot P_{812} = \frac{14}{27} \cdot 1 = \frac{14}{27};$$

$$- \text{ у стані } S_{13} : p_{13}(5) = p_9(4) \cdot P_{913} + p_{10}(4) \cdot P_{1013} = \frac{10}{27} \cdot \frac{2}{3} + \frac{2}{27} \cdot \frac{1}{3} = \frac{22}{81};$$

$$- \text{ у стані } S_{14} : p_{14}(5) = p_9(4) \cdot P_{914} + p_{10}(4) \cdot P_{1014} = \frac{10}{27} \cdot \frac{1}{3} + \frac{2}{27} \cdot \frac{2}{3} = \frac{14}{81};$$

$$- \text{ у стані } S_{15} : p_{15}(5) = p_{11}(4) \cdot P_{1115} = \frac{1}{27} \cdot \frac{2}{3} = \frac{2}{81};$$

$$- \text{ у стані } S_{16} : p_{16}(5) = p_{11}(4) \cdot P_{1116} = \frac{1}{27} \cdot \frac{1}{3} = \frac{1}{81}.$$

Ймовірність перебування частинки матеріалу у станах після шостого етапу:

$$- \text{ у стані } S_{17} : p_{17}(6) = p_{12}(5) \cdot P_{1217} + p_{13}(5) \cdot P_{1317} = \frac{14}{27} \cdot \frac{2}{3} + \frac{22}{81} \cdot \frac{1}{3} = \frac{106}{243};$$

$$- \text{ у стані } S_{18} : p_{18}(6) = p_{12}(5) \cdot P_{1218} + p_{13}(5) \cdot P_{1318} = \frac{14}{27} \cdot \frac{1}{3} + \frac{22}{81} \cdot \frac{2}{3} = \frac{86}{243};$$

$$- \text{ у стані } S_{19} : p_{19}(6) = p_{14}(5) \cdot P_{1419} + p_{15}(5) \cdot P_{1519} = \frac{14}{81} \cdot \frac{2}{3} + \frac{2}{81} \cdot \frac{1}{3} = \frac{30}{243};$$

$$- \text{ у стані } S_{20} : p_{20}(6) = p_{14}(5) \cdot P_{1420} + p_{15}(5) \cdot P_{1520} = \frac{14}{81} \cdot \frac{1}{3} + \frac{2}{81} \cdot \frac{2}{3} = \frac{18}{243};$$

$$- \text{ у стані } S_{21} : p_{21}(6) = p_{16}(5) \cdot P_{1621} = \frac{1}{81} \cdot \frac{2}{3} = \frac{2}{243};$$

$$- \text{ у стані } S_{22} : p_{22}(6) = p_{16}(5) \cdot P_{1622} = \frac{1}{81} \cdot \frac{1}{3} = \frac{1}{243}.$$

Розглянемо можливі переміщення частинки матеріалу, що сходять з грані 2<sub>1</sub> спрямовувача потоку першого ряду (рис. 5, а). Граф можливих станів частинки матеріалу під час переміщення днищем представлений на рис. 5, б. Відповідно до графу станів частинка може перебувати у 33 станах: S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, ..., S<sub>33</sub>. На графі станів вказані перехідні ймовірності частинки з одного стану в другий на кожному k-му етапі. Розрахунок ймовірностей перебування частинки матеріалу під час руху днищем матеріалопроводу при сходженні з грані 2<sub>1</sub> спрямовувача потоку першого ряду здійснюється як і для частинки, що сходять з грані 1<sub>1</sub>, за допомогою графа станів (рис. 5, б). Результати розрахунку ймовірностей станів частинки матеріалу представимо лише для сьомого ряду спрямовувачів:

$$p_{26}(6) = \frac{202}{729}; \quad p_{27}(6) = \frac{206}{729}; \quad p_{28}(6) = \frac{150}{729}; \quad p_{29}(6) = \frac{114}{729}; \quad p_{30}(6) = \frac{34}{729}; \quad p_{31}(6) = \frac{20}{729}; \quad p_{32}(6) = \frac{2}{729};$$

$$p_{33}(6) = \frac{1}{729}.$$



Розглянемо можливі переміщення частинки матеріалу, що сходить з грані  $3_1$  спрямовувача потоку першого ряду (рис. 6, а). Граф можливих станів частинки матеріалу під час переміщення днищем представлений на рис. 6, б. Відповідно до графу станів частинка може перебувати у 33 станах:  $S_1, S_2, \dots, S_{33}$ . На графі станів вказані перехідні ймовірності частинки з одного стану в другий на кожному  $k$ -му етапі.

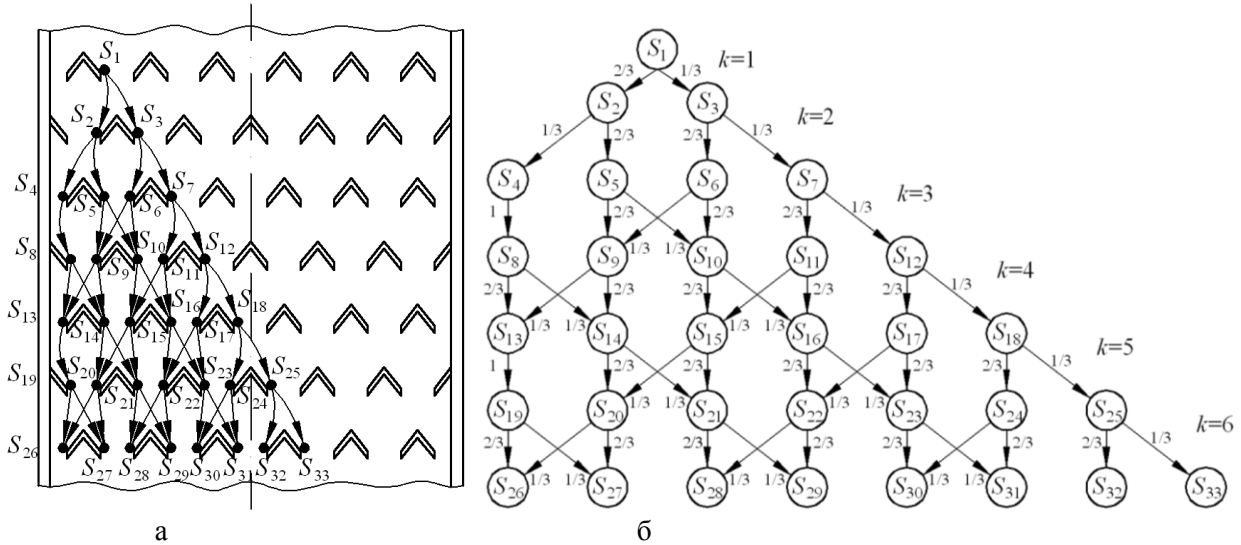


Рисунок 5 – Схема можливих переміщень частинки матеріалу, що сходить з грані  $2_1$  (а), та граф можливих станів частинки матеріалу, що сходить з грані  $2_1$  (б)

Результати розрахунку ймовірностей перебування частинки матеріалу, що зійшла з грані  $3_1$  спрямовувача потоку першого ряду, на гранях спрямовувачів сьомого ряду:

$$p_{26}(6) = \frac{146}{729}; \quad p_{27}(6) = \frac{166}{729}; \quad p_{28}(6) = \frac{174}{729}; \quad p_{29}(6) = \frac{147}{729}; \quad p_{30}(6) = \frac{56}{729}; \quad p_{31}(6) = \frac{34}{729}; \quad p_{32}(6) = \frac{4}{729};$$

$$p_{33}(6) = \frac{2}{729}.$$

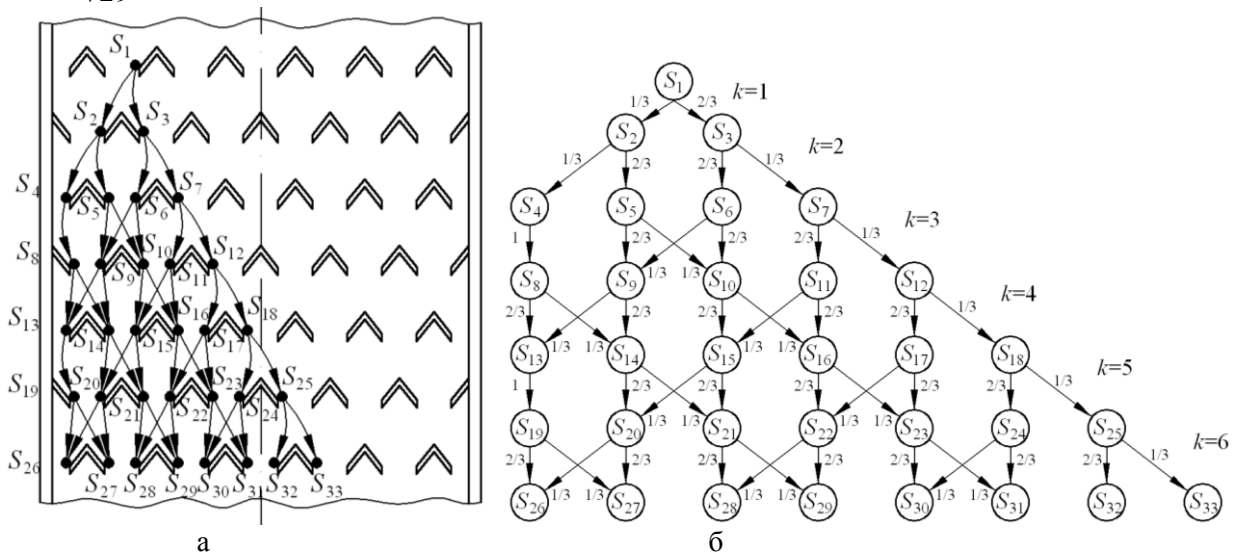


Рисунок 6 – Схема можливих переміщень частинки матеріалу, що сходить з грані  $3_1$  (а), та граф можливих станів частинки матеріалу, що сходить з грані  $3_1$  (б)

Розглянемо можливі переміщення частинки матеріалу, що сходить з грані  $4_1$  спрямовувача потоку першого ряду (рис. 7, а). Граф можливих станів частинки матеріалу під час переміщення днищем представлений на рис. 7, б. Відповідно до графу станів частинка може перебувати у 40 станах:  $S_1, S_2, \dots, S_{40}$ . Результати розрахунку ймовірностей перебування частинки матеріалу, що зійшла з грані  $4_1$  спрямовувача потоку першого ряду, на гранях спрямовувачів сьомого ряду:

$$p_{31}(6) = \frac{38}{729}; \quad p_{32}(6) = \frac{58}{729}; \quad p_{33}(6) = \frac{146}{729}; \quad p_{34}(6) = \frac{172}{729}; \quad p_{35}(6) = \frac{146}{729}; \quad p_{36}(6) = \frac{112}{729}; \quad p_{37}(6) = \frac{34}{729};$$

$$p_{38}(6) = \frac{20}{729}; \quad p_{39}(6) = \frac{2}{729}; \quad p_{40}(6) = \frac{1}{729}.$$

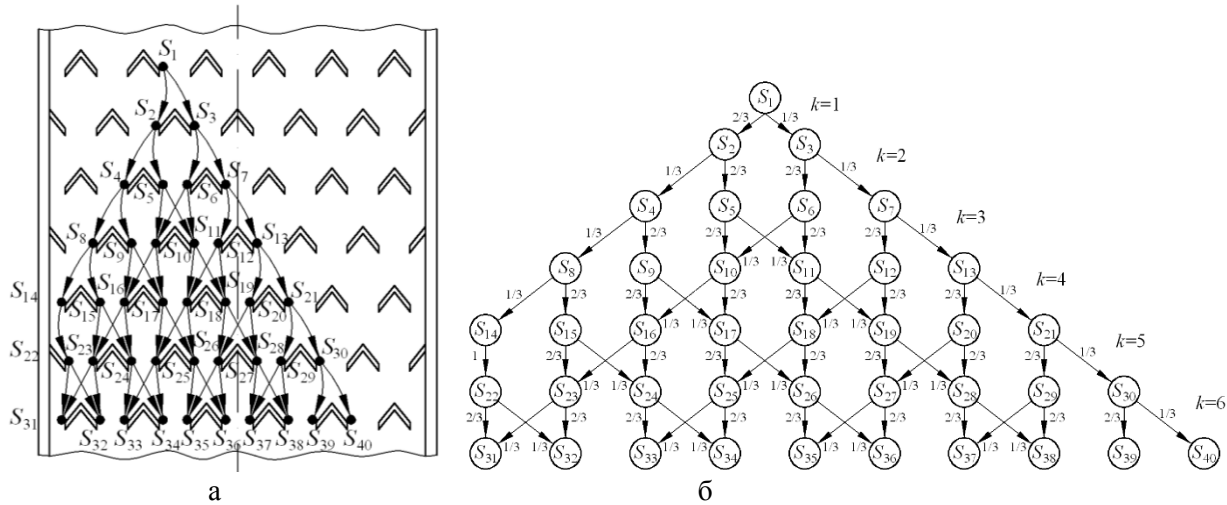


Рисунок 7 – Схема можливих переміщень частинки матеріалу, що сходить з грані 4<sub>1</sub> (а), та граф можливих станів частинки матеріалу, що сходить з грані 4<sub>1</sub> (б)

Розглянемо можливі переміщення частинки матеріалу, що сходить з грані 5<sub>1</sub> спрямовувача потоку першого ряду (рис. 8, а). Граф можливих станів частинки матеріалу під час переміщення днищем представлений на рис. 8, б. Відповідно до графу станів частинка може перебувати у 40 станах:  $S_1, S_2, \dots, S_{40}$ . На графі станів вказані перехідні ймовірності частинки з одного стану в другий на кожному  $k$ -му етапі. Результати розрахунку ймовірностей перебування частинки матеріалу, що зійшла з грані 5<sub>1</sub> спрямовувача потоку першого ряду, на гранях спрямовувачів сьомого ряду:

$$p_{31}(6) = \frac{22}{729}; \quad p_{32}(6) = \frac{35}{729}; \quad p_{33}(6) = \frac{112}{729}; \quad p_{34}(6) = \frac{146}{729}; \quad p_{35}(6) = \frac{172}{729}; \quad p_{36}(6) = \frac{146}{729}; \quad p_{37}(6) = \frac{56}{729};$$

$$p_{38}(6) = \frac{34}{729}; \quad p_{39}(6) = \frac{4}{729}; \quad p_{40}(6) = \frac{2}{729}.$$

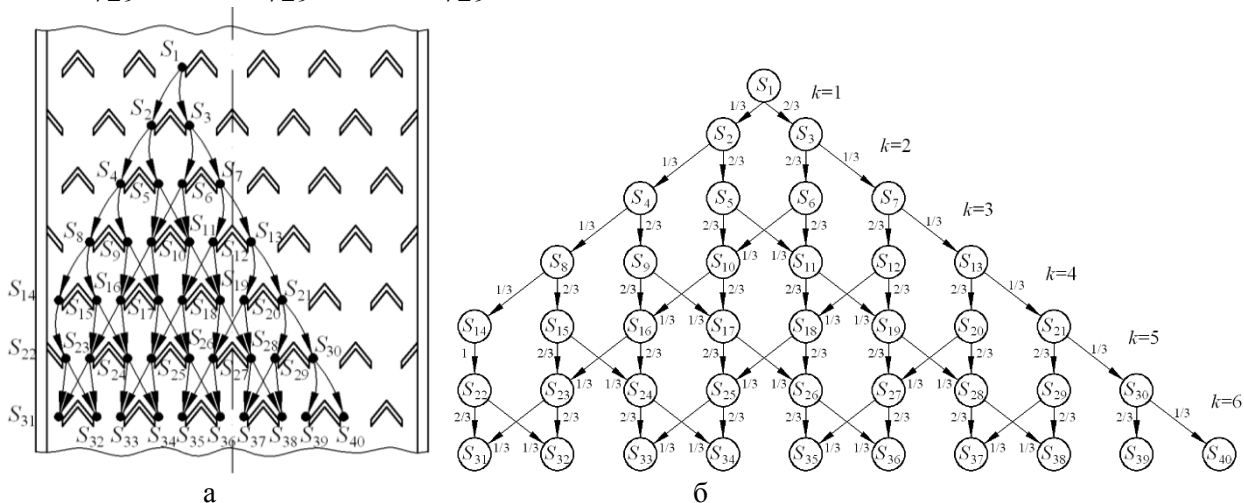


Рисунок 8 – Схема можливих переміщень частинки матеріалу, що сходить з грані 5<sub>1</sub> (а), та граф можливих станів частинки матеріалу, що сходить з грані 5<sub>1</sub> (б)

Розглянемо можливі переміщення частинки матеріалу, що сходить з грані 6<sub>1</sub> спрямовувача потоку першого ряду (рис. 9, а). Граф можливих станів частинки матеріалу під час переміщення днищем представлений на рис. 9, б. Відповідно до графу станів частинка може перебувати у 43 станах:  $S_1, S_2, \dots, S_{43}$ . На графі станів вказані перехідні ймовірності частинки з одного стану в другий на кожному

$k$ -му етапі. Результати розрахунку ймовірностей перебування частинки матеріалу, що зійшла з грані  $b_1$  спрямовувача потоку першого ряду, на гранях спрямовувачів сьомого ряду:

$$p_{32}(6) = \frac{2}{729}; p_{33}(6) = \frac{4}{729}; p_{34}(6) = \frac{34}{729}; p_{35}(6) = \frac{56}{729}; p_{36}(6) = \frac{146}{729}; p_{37}(6) = \frac{172}{729}; p_{38}(6) = \frac{146}{729};$$

$$p_{39}(6) = \frac{112}{729}; p_{40}(6) = \frac{34}{729}; p_{41}(6) = \frac{20}{729}; p_{42}(6) = \frac{2}{729}; p_{43}(6) = \frac{1}{729}.$$

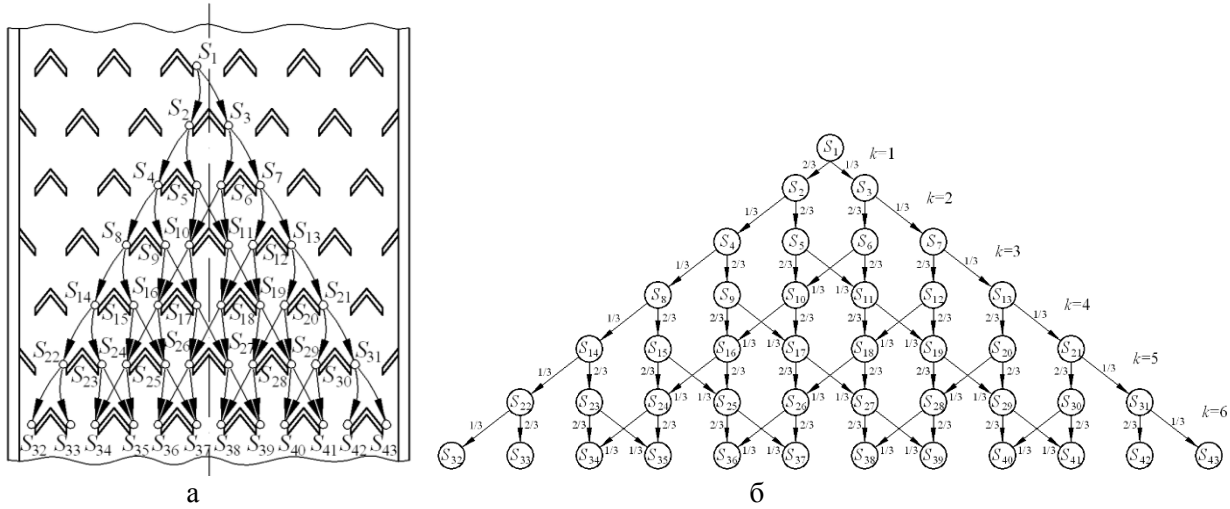


Рисунок 9 – Схема можливих переміщень частинки матеріалу, що сходить з грані  $b_1$  (а), та граф можливих станів частинки матеріалу, що сходить з грані  $b_1$  (б)

За одержаними у результаті розрахунків значеннями визначимо ймовірності попадання частинок сипкого матеріалу на грані спрямовувачів потоку сьомого (останнього) ряду. Пронумеруємо грані спрямовувачів останнього ряду зліва направо від 1 до 12 (рис. 3, б). Нижній індекс “7” вказує на те, що це грані сьомого ряду спрямовувачів потоку по ходу матеріалу днищем спірального матеріалопроводу.

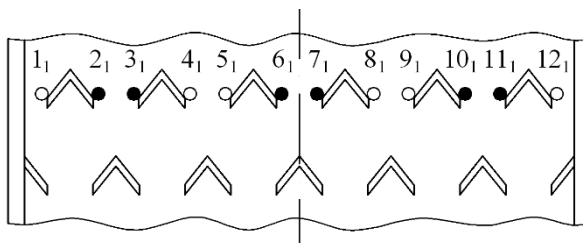
Розглянемо випадок, коли на усі грані спрямовувачів першого ряду подаються частинки одного сипкого матеріалу. Зведемо у таблицю 1 розраховані ймовірності надходження частинок матеріалу, що сходили з кожної грані спрямовувачів першого ряду, на грані спрямовувачів сьомого ряду. У таблиці 1 підрахована також величина  $\sum p$ , що являє собою суму ймовірностей надходження частинок матеріалу на певну грань спрямовувача сьомого ряду, які (частинки) сходили з усіх граней спрямовувачів першого ряду. Оскільки переміщення частинок, що зійшли з граней  $1_1, 2_1, 3_1, 4_1, 5_1$  та  $6_1$ , симетричні відносно поздовжньої осі днища переміщенням частинок, які зійшли відповідно з граней  $12_1, 11_1, 10_1, 9_1, 8_1$  та  $7_1$  спрямовувачів першого ряду, тому відповідні ймовірності надходження частинок на грані спрямовувачів сьомого ряду однакові. Наприклад, ймовірності надходження частинки на грані  $1_7$  та  $12_7$  однакові для частинок, що сходили з граней  $1_1$  та  $12_1$  (у таблиці 1 значення наведеного прикладу виділені напівжирним шрифтом). Значення суми ймовірностей надходження частинок матеріалу на усі грані спрямовувачів сьомого ряду  $\sum p = 1$ . Це значення вказує на те, що частинки матеріалу з високою ймовірністю (рівною одиниці) будуть рівномірно розподілені за всіма потоками в кінці спірального матеріалопроводу.

Розглянемо тепер випадок, коли на грані  $1_1, 4_1, 5_1, 8_1, 9_1$  та  $12_1$  спрямовувачів першого ряду подається один матеріал (компонент  $A$ ), а на грані  $2_1, 3_1, 6_1, 7_1, 10_1$  та  $11_1$  подається другий матеріал (компонент  $B$ ) (рис. 10).

Зведемо у таблицю 2 розраховані ймовірності надходження частинок двох компонентів на грані спрямовувачів сьомого ряду. Аналіз одержаних значень суми ймовірностей для компонента  $A$  ( $\sum p_A$ ) та компонента  $B$  ( $\sum p_B$ ) показує, що ймовірності знаходження частинок кожного з компонентів ( $A$  та  $B$ ) у потоках суміші на всіх гранях спрямовувачів сьомого ряду є високою і знаходиться в межах  $\sum p_A = 0,481...0,519$  та  $\sum p_B = 0,481...0,519$ , що свідчить про високий ступінь змішування компонентів суміші (у пропорції 1:1).

Таблиця 1 – Ймовірності надходження частинок матеріалу, що сходили з кожної грані спрямовувачів першого ряду, на грані спрямовувачів сьомого ряду

Грань, з якої почала рух частинка матеріалу	Ймовірності $p_i(6)$ надходження частинок матеріалу (перебування у стані $S_i$ ) на грані спрямовувачів потоку сьомого ряду											
	1 <sub>7</sub>	2 <sub>7</sub>	3 <sub>7</sub>	4 <sub>7</sub>	5 <sub>7</sub>	6 <sub>7</sub>	7 <sub>7</sub>	8 <sub>7</sub>	9 <sub>7</sub>	10 <sub>7</sub>	11 <sub>7</sub>	12 <sub>7</sub>
1 <sub>1</sub>	106/243	86/243	30/243	18/243	2/243	1/243	0	0	0	0	0	0
12 <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	1/243	2/243	18/243	30/243	86/243	106/243
2 <sub>1</sub>	202/729	206/729	150/729	114/729	34/729	20/729	2/729	1/729	0	0	0	0
11 <sub>1</sub>	0	0	0	0	1/729	2/729	20/729	34/729	114/729	150/729	206/729	202/729
3 <sub>1</sub>	146/729	166/729	174/729	147/729	56/729	34/729	4/729	2/729	0	0	0	0
10 <sub>1</sub>	0	0	0	0	2/729	4/729	34/729	56/729	147/729	174/729	166/729	146/729
4 <sub>1</sub>	38/729	58/729	146/729	172/729	146/729	112/729	34/729	20/729	2/729	1/729	0	0
9 <sub>1</sub>	0	0	1/729	2/729	20/729	34/729	112/729	146/729	172/729	146/729	58/729	38/729
5 <sub>1</sub>	22/729	35/729	112/729	146/729	172/729	146/729	56/729	34/729	4/729	2/729	0	0
8 <sub>1</sub>	0	0	2/729	4/729	34/729	56/729	146/729	172/729	146/729	112/729	35/729	22/729
6 <sub>1</sub>	2/729	4/729	34/729	56/729	146/729	172/729	146/729	112/729	34/729	20/729	2/729	1/729
7 <sub>1</sub>	1/729	2/729	20/729	34/729	112/729	146/729	172/729	146/729	56/729	34/729	4/729	2/729
$\sum p$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Рисунок 10 – Схема до пояснення подачі компонентів  $A$  та  $B$  на грані спрямовувачів першого рядуТаблиця 2 – Ймовірності надходження частинок компонентів  $A$  та  $B$ , що сходили з граней спрямовувачів першого ряду, на усі грані спрямовувачів сьомого ряду

Грань, з якої почала рух частинка компонента	Ймовірності $p_i(6)$ надходження частинок компонентів $A$ та $B$ (перебування у стані $S_i$ ) на грані спрямовувачів потоку сьомого ряду											
	1 <sub>7</sub>	2 <sub>7</sub>	3 <sub>7</sub>	4 <sub>7</sub>	5 <sub>7</sub>	6 <sub>7</sub>	7 <sub>7</sub>	8 <sub>7</sub>	9 <sub>7</sub>	10 <sub>7</sub>	11 <sub>7</sub>	12 <sub>7</sub>
Частинок компонента $A$												
1 <sub>1</sub>	106/243	86/243	30/243	18/243	2/243	1/243	0	0	0	0	0	0
12 <sub>1</sub>	0	0	0	0	0	0	1/243	2/243	18/243	30/243	86/243	106/243
4 <sub>1</sub>	38/729	58/729	146/729	172/729	146/729	112/729	34/729	20/729	2/729	1/729	0	0
9 <sub>1</sub>	0	0	1/729	2/729	20/729	34/729	112/729	146/729	172/729	146/729	58/729	38/729
5 <sub>1</sub>	22/729	35/729	112/729	146/729	172/729	146/729	56/729	34/729	4/729	2/729	0	0
8 <sub>1</sub>	0	0	2/729	4/729	34/729	56/729	146/729	172/729	146/729	112/729	35/729	22/729
$\sum p_A$	378/729 (0,519)	351/729 (0,481)	351/729 (0,481)	378/729 (0,519)	378/729 (0,519)	351/729 (0,481)	351/729 (0,481)	378/729 (0,519)	378/729 (0,519)	351/729 (0,481)	351/729 (0,481)	378/729 (0,519)
Частинок компонента $B$												
2 <sub>1</sub>	202/729	206/729	150/729	114/729	34/729	20/729	2/729	1/729	0	0	0	0
11 <sub>1</sub>	0	0	0	0	1/729	2/729	20/729	34/729	114/729	150/729	206/729	202/729
3 <sub>1</sub>	146/729	166/729	174/729	147/729	56/729	34/729	4/729	2/729	0	0	0	0
10 <sub>1</sub>	0	0	0	0	2/729	4/729	34/729	56/729	147/729	174/729	166/729	146/729
6 <sub>1</sub>	2/729	4/729	34/729	56/729	146/729	172/729	146/729	112/729	34/729	20/729	2/729	1/729
7 <sub>1</sub>	1/729	2/729	20/729	34/729	112/729	146/729	172/729	146/729	56/729	34/729	4/729	2/729
$\sum p_B$	351/729 (0,481)	378/729 (0,519)	378/729 (0,519)	351/729 (0,481)	351/729 (0,481)	378/729 (0,519)	378/729 (0,519)	351/729 (0,481)	351/729 (0,481)	378/729 (0,519)	378/729 (0,519)	351/729 (0,481)

**Висновок.** Використання математичного апарата, що розроблений для Марковського випадкового процесу з дискретними етапами і дискретним часом, дозволило визначити ступінь змішування сипких матеріалів у багатопотоковому спіральному змішувачі. Крім того, математичне моделювання процесу змішування сипких матеріалів дозволило обґрунтувати необхідну кількість конструктивних елементів (рядів спрямовувачів потоку), які необхідно встановити вздовж спіральної робочої поверхні для забезпечення певного ступеня змішування сипких матеріалів.



1. Макаров Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю.И. Макаров. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.
2. Верлока И.И. Современные гравитационные устройства непрерывного действия для смешивания сыпучих компонентов / И.И. Верлока, А.Б. Капранова, А.Е. Лебедев // Электронный научный журнал “Инженерный вестник Дона”, №4 (2014) [Электронный ресурс]. – Режим доступа до журн.: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2599>
3. Багринцев И.И. Исследование процесса смешения сыпучих материалов в гравитационно-решетчатом смесителе с пневмоциркуляцией / И.И. Багринцев, А.И. Барвин, В.Б. Модестов // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – №7 (154), ч. 2. – Луганськ, 2010.
4. Воронин В.В. Критерии и способы оценки качества смешивания сыпучих материалов / В.В. Воронин, К.А. Адигамов, С.С. Петренко, Р.А. Сизякин // Электронный научный журнал “Инженерный вестник Дона”, №4 (часть 2), 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа до журн.: <http://ivdon.ru/ru/magazine/issue/106?page=2>
5. Боровик О.В. Дослідження операцій в економіці: навч. посіб. / О.В. Боровик, Л.В. Боровик. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 424 с.

## REFERENCES

1. Makarov, Y. (1973). *Apparatus for mixing bulk materials*. [Apparaty dlya smesheniya sypuchikh materialov]. Moscow, Mashinostroenie Publ. 216 p.
2. Verloka, I., Kapranova, A., Lebedev, A. (2014). Modern gravitational continuous devices for mixing bulk materials. [Sovremennyye gravitatsionnyye ustroystva nepreryvnogo deystviya dlya smeshivaniya sypuchikh materialov]. *Electronic scientific journal: Engineering Journal of Don*. Vol. 4.
3. Bagrintsev, I., Barvin, V., Modestov, V. (2010). Research of the mixing process of bulk materials in a gravity mixer with pneumatic circulation. [Issledovaniye protsessa smesheniya sypuchikh materialov v gravitatsionno-reshetchotom smesitele s pnevmotsirkulyatsiyey]. *Bulletin: Scientific Journal of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*. Vol. 7 (154). Lugansk, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University Publ.
4. Voronin, V., Adigamov, K., Petrenko, S., Sizyakov, R. (2012). Criteria and methods for quality of mixing bulk materials. [Kriterii i sposoby otsenki kachestva smeshivaniya sypuchikh materialov]. *Electronic scientific journal: Engineering Journal of Don*. Vol. 4 (2).
5. Borovyk, O., Borovyk, L. (2007). *Research of operations in the economy*. [Doslidzhennya operatsiy v ekonomitsi]. Kyiv, Center of educational literature Publ., 424 p.

### **Дударев И.Н. Расчет многопоточкового спирального смесителя сыпучих материалов.**

Процесс смешивания сыпучих материалов довольно распространенный в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. Способ смешивания компонентов зависит от свойств сыпучих материалов. Соответственно, конструкция смесителя выбирается с учетом способа смешивания. В большинстве конструкций предусмотрено действие активных рабочих органов (шнек, лопатки) на материал для обеспечения необходимой степени их смешивания. Такое взаимодействие активных рабочих органов с материалом может способствовать его повреждению, а это недопустимо. В статье предложена новая конструкция спирального смесителя, для которой необходимо определить параметры и смоделировать процесс смешивания. Спиральный смеситель не повреждает компоненты смеси и обеспечивает качественное смешивание сыпучих материалов. В статье также представлены результаты анализа случаев перемещения частиц сыпучих материалов спиральной рабочей поверхностью смесителя. Предложена математическая модель, которая описывает процесс смешивания сыпучих материалов в спиральном смесителе. Математическая модель основана на математическом аппарате Марковского процесса. Предложенная модель разрешает обосновать рациональные параметры спирального смесителя и определить качественные показатели смеси на каждом этапе процесса смешивания.

**Ключевые слова:** спиральный смеситель, процесс смешивания, расчет, сыпучий материал, вероятность состояний.



***I. Dudarev. Calculation of multi-mixer of bulk materials.***

The process of mixing bulk materials is widespread in agricultural and food industry. Method of mixing the components depends on the properties of bulk materials. Mixer design selected according to the method of mixing. The necessary degree of mixing of bulk materials in mixers provides active working bodies. Action of active working bodies at the bulk material causes damage to the material. It is unacceptable. New design spiral mixer suggested in the article. Spiral mixer does not damage the materials and provides high-quality mix of bulk materials. Parameters would be determined and the mixing process should be modeled for the new spiral mixer. Analysis of cases of bulk materials movement in the spiral mixer is presented in the article. The mathematical model of mixing bulk materials in the spiral mixer is proposed in the article. The mathematical model of mixing bulk materials is developed using mathematical equations of Markov random process. The mathematical model of mixing bulk materials determines rational parameters of the spiral mixer and quality of mix at each step of the process.

**Keywords:** spiral mixer, process of mixing, calculation, bulk material, probability states.

**АВТОРИ:**

*ДУДАРЕВ Ігор Миколайович*, доктор технічних наук, Луцький національний технічний університет, професор кафедри обладнання переробних виробництв, e-mail: [opv@lntu.edu.ua](mailto:opv@lntu.edu.ua)

**АВТОРЫ:**

*ДУДАРЕВ Игорь Николаевич*, доктор технических наук, Луцкий национальный технический университет, профессор кафедры оборудования перерабатывающих производств, e-mail [opv@lntu.edu.ua](mailto:opv@lntu.edu.ua)

**AUTHORS:**

*Igor DUDAREV*, Doctor of Technical Sciences, Lutsk National Technical University, Professor of Refining Production Equipment Department, e-mail: [opv@lntu.edu.ua](mailto:opv@lntu.edu.ua)

Стаття надійшла в редакцію 28.05.2017 р.

## ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ ДЛЯ АВТОНОМНОГО РУХУ АВТОМОБІЛЯ З ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ

Встановлено, що найбільш екологічним та економічним є електротранспорт. Визначено, що для забезпечення автономності руху та зменшення шкідливих викидів можна використовувати сонячні батареї для зарядки тягових акумуляторів.

**Ключові слова:** акумулятори, контролер заряду, блок керування двигуном, підвищуючий перетворювач, мультиметр, осцилограф, струмовимірвальні кліщі, міський їздовий цикл.

**Постановка проблеми.** Прогноз енергетичного балансу вказує на те що найближчим часом найбільш швидко буде розвиватися сонячна енергетика.

Тому доцільним є покращення екологічних показників автомобіля шляхом застосування сонячних батарей для зарядки акумуляторів.

**Формулювання цілі статті.** Виходячи з вище сказаного були поставлені задачі дослідження батареї як накопичувачів енергії та джерела струму для зарядки, визначення раціональних способів компоновки, проведення експериментальних випробувань та проведення розрахункових досліджень.

### **Виклад основного матеріалу статті.**

Сучасні сонячні батареї мають різну форму і різновиди: це можуть бути монокристалічні або полікристалічні панелі, які можуть бути твердими або гнучкими. Остання властивість батареї дозволяє її наклеювати на поверхню автомобіля і тим самим в деякій мірі можна частково замінити лакофарбові покриття на сонячні батареї та отримувати електричну енергію [1].

Для того щоб провести експериментальні дослідження була взята модель автомобіля з електричним приводом та сонячними батареями за допомогою яких можна було заряджати літєві батареї.



Рис.1. – Макет легкового автомобіля з сонячними батареями

Компоновка сонячних батарей на моделі автомобіля та схема підключення представлена на рисунку.

Сонячні батареї з'єднані між собою послідовно і подають електричний струм з напругою 2.4В на перетворювач який підвищує її до 5В. Контролер контролює процес зарядки літєвих батарей і не дає їм перезаряджатися, а також контролює мінімальний заряд при якому може працювати батарея. Також через контролер відбувається подача електричного струму на блок керування двигуном.

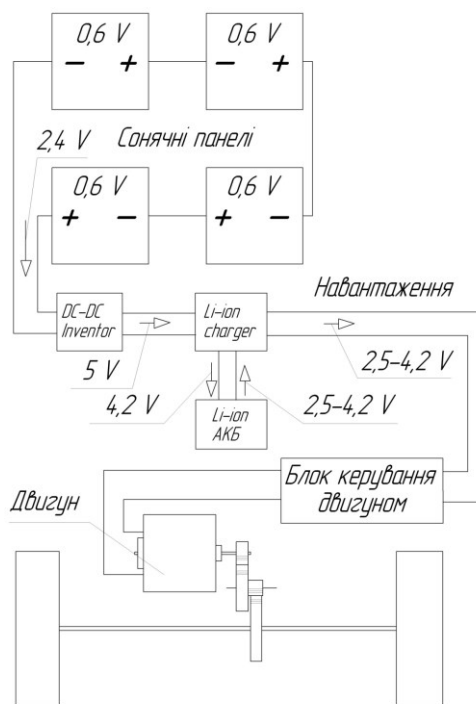


Рис.2. Компонівка сонячних батарей на моделі автомобіля та схема підключення в систему

За допомогою експериментальних досліджень та теоретичних розрахунків була побудована механічна характеристика електричного двигуна, який використовується на даній моделі. На даній моделі автомобіля електричний двигун з'єднаний з ведучими колесами через редуктор з передатним числом 9.22. Також внаслідок проведених експериментів і розрахунків були побудовані діаграми балансу потужностей, прискорень та часу і шляху розгону.

За основу досліджень був взятий міський їздовий цикл який характеризується: зупинками – 60 секунд, пришвидшеннями – 42 секунди, постійною швидкістю – 59 секунди, сповільненнями – 34 секунди. Усього час циклу триває 195 секунд [2].

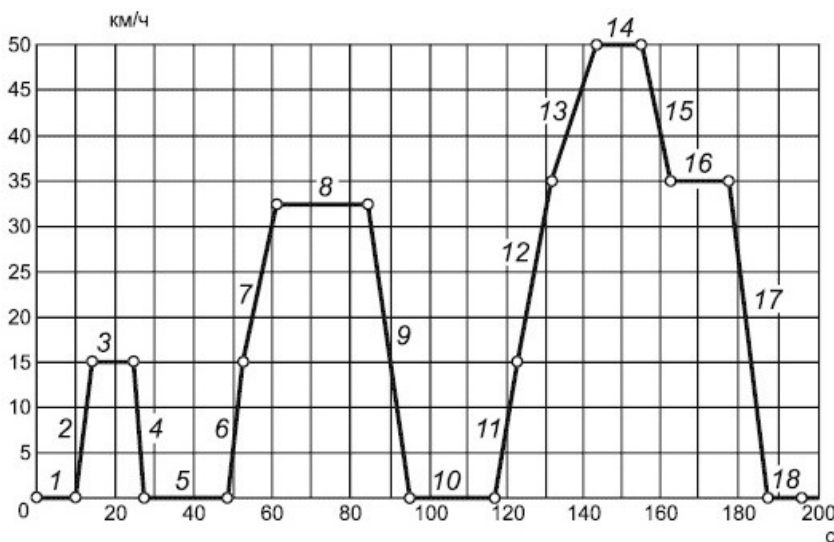


Рис.3. Міський їздовий цикл

В циклі середня швидкість становить 18,77 км/год.

Внаслідок того що під час виконання циклу максимальна швидкість руху автомобіля становить 50 км/год, що дорівнює 13,9 м/с, модель автомобіля може розвивати максимальну швидкість 2 м/с.

Тому був встановлений коефіцієнт подібності швидкості який дорівнює відношенню максимальної швидкості автомобіля до максимальної швидкості моделі і дорівнює 6.94.

З урахуванням коефіцієнта подібності швидкості, теоретична середня швидкість моделі становить 0,71 м/с при цій швидкості середня потужність опору руху становить 0,25 вата і середній пробіг моделі за циклом = 139 метрів.

Робота, яка виконується під час руху моделі за цикл становить 48 Дж. З урахуванням ККД електродвигуна, ККД контролера необхідна енергія для руху моделі становить влітку 148 Дж, а взимку -178 Дж.

Припускаючи, що автомобіль можна буде обклеїти гнучкими сонячними панелями замість фарбового покриття, був виведений коефіцієнт пропорційності площі відносно натурального автомобіля і моделі, який дорівнює 290.

Виходячи з цього розрахунку площа сонячних батарей на моделі дорівнює 0,031м<sup>2</sup>. В нас площа 4 експериментальних сонячних батарей, з якими ми проводили експеримент становить 0,625 м<sup>2</sup>.

Ми можемо визначити приведену потужність сонячних батарей з урахуванням пропорцій площ, яку може мати фарбована поверхня і площі, яку мають сонячні батареї. І ця потужність дорівнює 0,92 Вт. З урахуванням ККД зарядного пристрою, який дорівнює 0,63 потужність зарядки ТАБ = 0,58 Вт.

Маючи енергію яка необхідна для зарядки батареї потужність зарядки, ми можемо визначити час зарядки ТАБ улітку=255с., взимку - 306 с.

Для визначення забезпечення енергією силової установки був встановлений коефіцієнт забезпечення енергії який дорівнює відношенню часу поїздки до часу заряду батареї.

В результаті досліджень було встановлено, що влітку коефіцієнт забезпечення енергії дорівнює 0,76, а взимку цей коефіцієнт становить 0,64.

Це означає, що для поїздки влітку, ми маємо забезпечення енергією в циклі на 76%, а взимку - на 64%. І для здійснення руху нам потрібно робити зупинки для підзарядки батареї.

Для проведення експериментів використовувалось відповідне обладнання: мультиметр, осцилограф, струмовимірювальні кліщі та інші прилади і обладнання.



Рис. 4 Вимірювальне обладнання:  
а) струмові кліщі MASTECH MS2108, б) мультиметр M890G, в) цифровий USB-осцилограф Hantek 6022BE

Також для перетворення струму і зарядки використовувалися підвищуючі перетворювачі та контролери заряду-розряду літій-полімерної батареї, який контролює струм зарядки, мінімальну і максимальну напругу батареї. [3,4].





Рис.5. Перетворювач підвищуючий DC-DC LM2596 DC 1.23v-30v

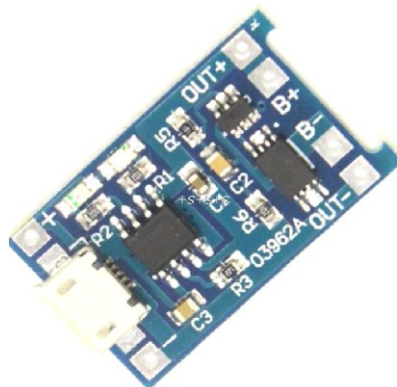


Рис.6. Контролер заряду-розряду літій-полімерної батареї

В результаті проведення експериментального дослідження була побудована характеристика сонячних батарей, визначені найбільш оптимальні струми і напруги для зарядки батарей.

**Висновки:** в процесі виконання експериментальних досліджень було встановлено, що застосування сонячних батарей дозволяє акумулювати від 64 до 76% енергії за міським їздовим циклом. Також результати досліджень дають можливість визначити енергетичні показники автомобіля, розробити методику підбору сонячних батарей з оптимальними характеристиками.

1. Кравченко А.П., Дуда Д.В., Верительник Е.А. Солнечные элементы питания на автомобильном транспорте. Современное состояние и перспективы использования// Автомобильный транспорт, Харьков: ХНАДУ, 2009 - №25 – С. 151 – 155.

2. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения легковых автомобилей, приводимых в движение только двигателем внутреннего сгорания либо приводимых в движение при помощи гибридного электропривода, в отношении измерения расхода электроэнергии и запаса хода на электротяге: Правила ЕЭК ООН №101. - [Введены в действие 04.04.2005]. – Женева.: Европейская Экономическая комиссия Организации Объединенных наций, 2005. – 128 с.

3. LM2596.5V 3V 3.3V 3.7V 4.5V to 5V DC DC Step UP Switching Power Supply. [Електронний ресурс] – 2016. – Режим доступу: <https://ru.aliexpress.com/item/8PCS-1-5V-3V-3-3V-3-7V-4-5V-to-5V-DC-DC-Step-UP/32409942507>.

4. Smart-Electronics-5V-Micro-USB-1A-18650-Lithium-Battery-Charging-Board-With-Protection-Charger-Module Модуль для Arduino. . [Електронний ресурс] – 2015. – Режим доступу: <https://aliexpress.com/item/Smart-Electronics-5V-Micro-USB-1A-18650-Lithium-Battery-Charging-Board-With-Protection-Charger-Module-for/32500042672.html>.

#### REFERENCES

1. Kravchenko A.P., Duda D.V., Veritel' nik E.A. 2009 Solar cells for motor transport. Current state and prospects of use // Automobile transport, Kharkov: HNADU, №25 151 – 155pp.

2. Geneva: United Nations Economic Commission for Europe, 2005. Uniform provisions concerning the approval of passenger cars driven by only an internal combustion engine or driven by a hybrid electric drive with respect to measuring electricity consumption and power reserve at electric traction: UNECE Regulation No. 101. - [Enacted on 04.04.2005]. - 128 pp.

3. LM2596.5V 3V 3.3V 3.7V 4.5V to 5V DC DC Step UP Switching Power Supply. [Electronic resource] - 2016 - Access: <https://ru.aliexpress.com/item/8PCS-1-5V-3V-3-3V-3-7V-4-5V-to-5V-DC-DC-Step-UP/32409942507>



UP/32409942507.

4. Smart-Electronics-5V-Micro-USB-1A-18650-Lithium-Battery-Charging-Board-With-Protection-Charger-Module for Arduino. . [Electronic resource] - 2015 - Access: <https://aliexpress.com/item/Smart-Electronics-5V-Micro-USB-1A-18650-Lithium-Battery-Charging-Board-With-Protection-Charger-Module-for/32500042672.html>.

**Сітовський А.П., Жилко І.С., Бодак В.І. Использование солнечных батарей для автономного движение автомобиля с электроприводом**

Установлено, что наиболее экологичным и экономичным является электротранспорт. Определено, что для обеспечения автономности движения и уменьшения вредных выбросов можно использовать солнечные батареи для зарядки тяговых аккумуляторов.

**Ключевые слова:** аккумуляторы, контроллер заряда, блок управления двигателем, повышающий преобразователь, мультиметр, осциллограф, токоизмерительные клещи, городской ездовой цикл.

**O. Sitovskyy, I. Zhylo, V. Bodak. The use of solar panels for autonomous movement of the car with electric drive**

Found that the most ecological and economical is electric.

Determined to ensure that the autonomy movement and reduce emissions can use solar panels to charge the traction batteries.

**Keywords:** batteries, charge controllers, engine control unit, enhancing converter, multimeter, oscilloscope, pliers clamp, urban driving cycle.

**АВТОРИ:**

Сітовський Олег Пилипович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автомобілі і транспортні технології» Луцький НТУ, e-mail: [sitovsky@ukr.net](mailto:sitovsky@ukr.net)

Жилко Ігор Сергійович, студент кафедри «Автомобілі і транспортні технології» Луцький НТУ, e-mail: [Dj.IgoRock@gmail.com](mailto:Dj.IgoRock@gmail.com)

Бодак Володимир Іванович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автомобілі і транспортні технології» Луцький НТУ, e-mail: [bodak@lenta.ru](mailto:bodak@lenta.ru)

**АВТОРЫ:**

Ситовский Олег Филиппович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и транспортные технологии» Луцкий НТУ, e-mail: [sitovsky@ukr.net](mailto:sitovsky@ukr.net)

Жилко Игорь Сергеевич, студент кафедры «Автомобили и транспортные технологии» Луцкий НТУ, e-mail: [Dj.IgoRock@gmail.com](mailto:Dj.IgoRock@gmail.com)

Бодак Владимир Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили и транспортные технологии» Луцкий НТУ, e-mail: [bodak@lenta.ru](mailto:bodak@lenta.ru)

**AUTHOR:**

Oleg Sitovskyy, Ph.D., assistant professor of "Cars and transport technologies" Lutsky NTU, e-mail: [sitovsky@ukr.net](mailto:sitovsky@ukr.net)

Igor Zhylo, a student of department "Automotive and Transport Technology" Lutsky NTU, e-mail: [Dj.IgoRock@gmail.com](mailto:Dj.IgoRock@gmail.com)

Volodymyr Bodak, Ph.D., assistant professor of "Cars and transport technologies" Lutsky NTU, e-mail: [bodak@lenta.ru](mailto:bodak@lenta.ru)

Стаття надійшла в редакцію 16.05.2017 р.

Кожушко А.П.<sup>1</sup>, Таран І.О.<sup>2</sup>  
*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»<sup>1</sup>*  
*Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»<sup>2</sup>*

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ БЕЗСТУПІНЧАСТОЇ ТРАНСМІСІЇ НА АВТОМОБІЛЯХ ДЛЯ РЕМОНТУ НАФТОГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

В даній роботі описано процес визначення значення динамічного фактора в ході дослідження автомобіля для ремонту нафтогазових свердловин, який оснащено механічною та гід्रोоб'ємно-механічною трансмісією. У роботі обґрунтовано підхід для визначення передавального відношення в замкнутому контурі безступінчастої гідрооб'ємно-механічної трансмісії. Наведено результати порівняльного аналізу значень динамічного фактора при використанні на автомобілях для ремонту нафтогазових свердловин безступінчастої гідрооб'ємно-механічної та механічної трансмісії.

**Ключові слова:** автомобіль, розгін, гідрооб'ємно-механічна трансмісія, динамічний фактор, коефіцієнт корисної дії.

**Вступ.** В світовій галузі машинобудування розвиток конструкцій автомобілів та тракторів, як правило, направлено на підвищення технічного рівня, а також на покращення умов праці водія, як в транспортному, так і в робочому режимах.

Впровадження нових технічних рішень в машинобудуванні призведе до виникнення нових конструкцій, які, в першу чергу, покликані на альтернативну механічній передачу потужності від силової установки до рушіїв. В галузі автомобілебудування розглядаються такі типи трансмісій як: електромеханічна, з варіатором, тощо. Аналізуючи трансмісії сучасних тракторів [1], необхідно відзначити гідрооб'ємно-механічні трансмісії (ГОМТ), які набувають більшої популярності в порівнянні зі ступінчастими механічними трансмісіями. Пов'язують це з забезпеченням плавності руху, автоматизацією управління, підвищенням ергономічних властивостей під час виконання технологічних операцій.

Застосування ГОМТ на автомобілях надає наступні переваги в порівнянні з механічною трансмісією: в результаті безперервного потоку потужності та плавної зміни моменту підвищується прохідність; при змінних режимах роботи знижуються динамічні навантаження в трансмісії; за рахунок кращого використання потужності двигуна внутрішнього згоряння можливе підвищення середніх швидкостей руху по бездоріжжю. Окрім того, незалежне розташування агрегатів трансмісії, дозволяє найдодільніше розмістити їх на машині, що гарантує високі захисні властивості трансмісії, тобто надійне оберігання від перевантажень двигуна і системи приводу робочих органів завдяки установці запобіжних і переливних клапанів;

**Стан питання.** Існує ряд публікацій [1 – 3] присвячених розгляду питань пов'язаних з аналізом ГОМТ. Зокрема, в роботі [1] проведено аналіз західноєвропейського ринку, який показав що трактори оснащуються трансмісіями з синхронізованими коробками перемикання передач та коробками з шестернями постійного зчеплення, трансмісіями діапазонного типу з перемиканням передач під навантаженням в діапазоні, трансмісіями з перемиканням всіх передач під навантаженням, а також безступінчастими двопотоковими трансмісіями. Дослідженню використання на автомобілях для ремонту нафтогазових свердловин ГОМТ присвячені праці [4 – 6], в яких автори роблять акцент на аналіз роботи трансмісії під час спуско-підйомних операцій. Проте в повній мірі не з'ясовано вплив використання ГОМТ замість механічної трансмісії в процесі виконання транспортних робіт. В роботі [6] наводяться аргументації доцільності використання безступінчастих ГОМТ у автомобілях для ремонту нафтогазових свердловин в процесі підйому та спуску колон труб. Проте використання ГОМТ в автомобілях потребує їх обґрунтування з точки зору тягово-швидкісної характеристики, а саме зіставлення показників динамічного фактору отриманого для автомобіля з механічною трансмісією та безступінчастою ГОМТ.

**Мета роботи.** Використання на автомобілях ГОМТ, перш за все, пов'язано з вирішенням спеціальних задач, тобто з виконанням робочих операцій. Зважаючи на це, метою даної роботи є дослідження впровадження ГОМТ на спеціальні автомобілі (наприклад, на автомобілі для ремонту нафтогазових свердловин), а також дослідження зміни показників роботи трансмісії та в цілому автомобіля при виконання транспортних операцій.

**Матеріали досліджень.** Описуючи автомобіль для ремонту нафтогазових свердловин необхідно більш детально окреслити конструктивні особливості базової механічної (рис. 1а) та запропонованої ГОМТ (рис. 1б).

Механічна трансмісія має вісім швидкісних діапазонів передач в транспортному режимі руху, і технологічному режимі роботи, які забезпечуються ступінчастою механічною трансмісією. Трансмісія установки передає потужність від коробки відбору потужності на двоступеневу проміжну опору і далі до виконавчих механізмів. В якості привода установки використовується ходовий двигун шасі. До трансмісії належать: коробка відбору потужності на роздавальній коробці (приналежність шасі), проміжна опора, циліндричний редуктор, карданні вали, зубчасті муфти, а також роздавальний редуктор, ланцюгові передачі, фрикційні муфти, які конструктивно входять до складу лебідки і забезпечують обертання барабана лебідки [4].

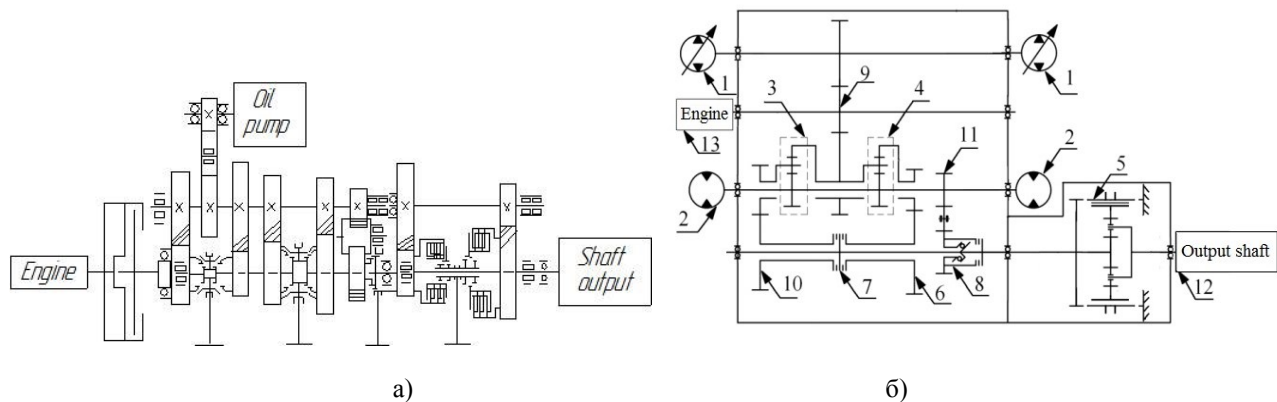


Рис. 1. Кінематичні схеми трансмісій: а – механічна; б – ГОМТ; 1 – регульований гідронасос; 2 – нерегульований гідромотор; 3, 4, 5 – планетарні механізми; 6, 9, 10, 11 – редуктори; 7 – гідропідтискні муфти; 8 – обгінна муфта; 12 – вихідний вал; 13 – двигун

Запропонована безступінчаста ГОМТ (рис. 1б) складається з двигуна внутрішнього згоряння 13 гідрооб'ємної передачі, а саме: з двох регульованих гідронасосів 1 і двох нерегульованих гідромоторів 2, по 112 см<sup>3</sup>; планетарних механізмів 3, 4, 5; редукторів 6, 9, 10, 11; гідропідтискної 7 і обгінної муфт 8; вихідний вал 12. В запропонованій конструкції потужність двигуна йде окремими потоками в залежності від діапазону. Однопотоким – гідравлічним, коли потужність двигуна 13, через редуктор 9 передається до валу гідронасоса 1, через трубопроводи на вал гідромотора 2, далі на редуктор 11, обгінну муфту 8, планетарний механізм 5 до вихідного валу 12. Двохпотоким – гідрооб'ємно-механічним, коли потужність двигуна через редуктор 9, коронну шестерню і водило двох планетарних механізмів 3, 4 (в залежності від діапазону), далі з водила і коронної шестерні, до двох редукторів 6, 10 та двох гідропідтискних муфт 7, планетарного механізму 5 до вихідного валу 12. ГОМТ з диференціалом на виході має три швидкісні безступінчасті діапазони передач при транспортному режимі руху: однопотоким, який забезпечується гідрооб'ємною передачею та планетарним механізмом 5, та двома двухпотокими, які забезпечуються гідрооб'ємною передачею та планетарними рядами 3, 4. При виконанні спуско-підйомної операції у ГОМТ з диференціалом на виході застосовується лише два діапазони передач, однопотоким та один двухпотоким (ввімкнено планетарний механізм 4) [5 – 6].

В процесі дослідження роботи автомобіля для ремонту нафтогазових свердловин з безступінчастою ГОМТ на транспортному режимі роботи необхідно відзначити можливість руху заднім ходом, який досягається зміною параметру регулювання гідронасосу  $e_1 \in [0; -1]$ . Основним критерієм, який окреслює тягово-швидкісні характеристики є динамічний фактор. При визначенні динамічного фактора автомобіля для ремонту нафтогазових свердловин скористаємося класичними рівняннями

$$V = \frac{\omega \cdot r_k}{i_k \cdot i_o \cdot i_{rk}}; \quad (1)$$

$$P_k = M \cdot i_k \cdot \frac{i_o \cdot \eta_{tr}}{r_k}; \quad (2)$$

$$P_w = k \cdot F \cdot V^2; \quad (3)$$

$$D_{meh} = \frac{P_k - P_w}{G}, \quad (4)$$

де  $V$  – швидкість руху автомобіля;  $\omega$  – кутова швидкість колінчастого валу;  $r_k$  – радіус кочення колеса;  $i_k$  – передавальне число відповідної передачі;  $i_0$  – передавальне число головної передачі;  $i_{rk}$  – передавальне число в роздавальній коробці передач;  $P_k$  – тягова сила на колесах;  $M$  – крутний момент двигуна;  $\eta_{tr}$  – ККД трансмісії;  $P_w$  – сила опору повітря;  $k$  – коефіцієнт опору повітря;  $F$  – площа поперечного перетину (лобового опору);  $G$  – вага автомобіля.

При формуванні передавального числа ГОМТ скористаємося зворотною величиною, а саме передавальним відношенням, визначення якого, безпосередньо для ГОМТ наводиться в роботах [7 – 10]. На основі цих робіт відомо, що при розподілу потужності в двопотоковій ГОМТ можливо три режиму роботи, що відповідно змінює визначення передавального відношення в замкнутому контурі.

Автор в роботах [9] пропонує універсальні рівняння, які надають змогу визначення передавального відношення  $i$  при передачі потужності паралельними потоками, як з перевантаженням механічної, так і з перевантаженням гідравлічної гілок трансмісії:

$$\frac{N_A}{N_C} = \frac{\eta_{HSD}^{+1}}{\eta_{HSD}^{+1} - i}, \quad \frac{N_B}{N_C} = \frac{\eta_{HSD}^{+1} \cdot i}{i - \eta_{HSD}^{+1}} \quad (5)$$

де  $N_A$  – потужність, яка протікає по механічній гілці ГОМТ;  $N_C$  – потужність двигуна внутрішнього згоряння;  $N_B$  – потужність, яка протікає по гідравлічній гілці ГОМТ;  $\eta_{HSD}$  – ККД ГОП.

Ототожнюючи наведені рівняння (5) необхідно відмітити, що при паралельному розподілу потужності ступінь ККД ГОП повинна дорівнювати +1, що призведе до  $i < 0$ . В випадку перевантаження механічної гілки ступінь ККД ГОП повинна дорівнювати -1, що призведе до  $i > 0$ . При перевантаженні гідравлічної гілки ступінь ККД ГОП повинна дорівнювати +1, що, на відміну від випадку при паралельному розподілу потужності, призведе до  $i > 0$ .

З рівнянь (5) не відомим залишається значення показника ККД ГОП  $\eta_{HSD}$ . Для знаходження цього показника необхідно відокремити загальне значення ККД ГОП на дві складові: ККД об'ємний  $\eta_V$  та ККД механічний  $\eta_M$ , які формуються в прямому та зворотному потоці.

$$\eta_{HSD} = \eta_V \cdot \eta_M. \quad (6)$$

Згідно з роботи [9] ККД об'ємний  $\eta_V$  та ККД механічний  $\eta_M$  визначаються з наступних рівнянь

$$\eta_V = \begin{cases} \frac{\omega_m}{\omega_p \cdot e_1(t)}, & \text{if } \omega_p > 0; \\ \frac{\omega_p \cdot e_1(t)}{\omega_m}; \end{cases} \quad \eta_M = \begin{cases} \frac{-M_m}{M_p \cdot e_1(t)}, & \text{if } M_p > 0; \\ \left| \frac{M_p \cdot e_1(t)}{M_m} \right|, \end{cases} \quad (7)$$

де  $\omega_p$ ,  $\omega_m$  – кутові швидкості на ланках гідронасоса та гідромотора;  $M_p$ ,  $M_m$  – крутний момент на ланках гідронасоса та гідромотора.

На рис. 2 наведена зміна показників ККД ГОМТ та ККД ГОП на різних діапазонах руху по асфальто-бетонній поверхні.

Зіставляючи математичні залежності, обчислимо динамічний фактор автомобіля для ремонту нафтогазових свердловин з механічною трансмісією та безступінчастою ГОМТ. На рис. 3 наведено зміну динамічного фактора автомобіля для ремонту нафтогазових свердловин з механічною трансмісією та безступінчастою ГОМТ.

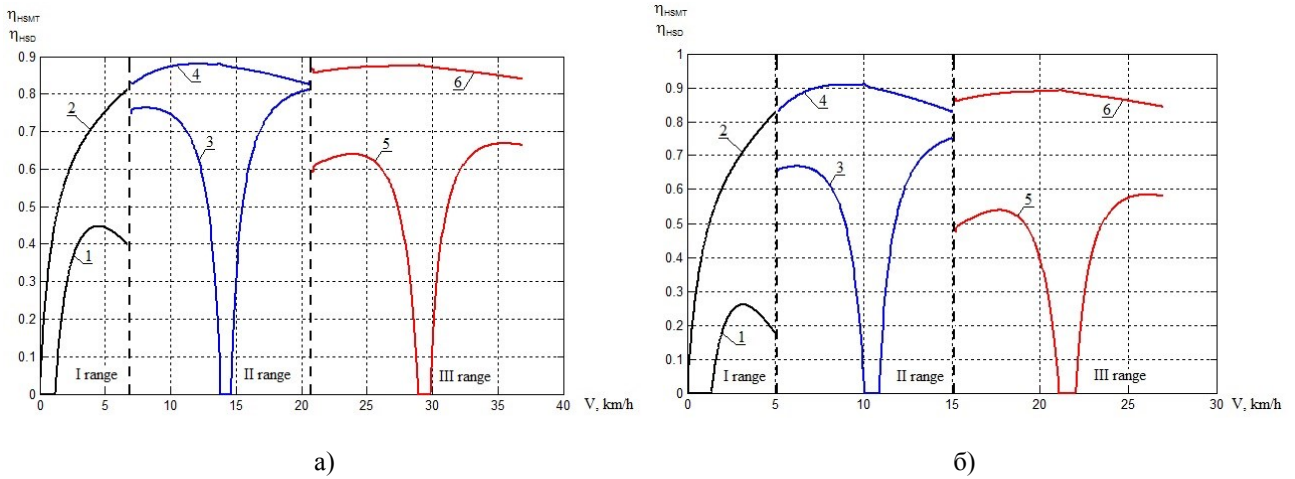


Рис. 2. Зміна показників автомобіля для ремонту нафтогазових свердловин:  
 а – при  $i_{rk}=0,95$ ; б – при  $i_{rk}=1,31$ ; 1, 3, 5 – ККД ГОП відповідно на I, II, та III діапазонах;  
 2, 4, 6 – ККД ГОМТ відповідно на I, II, та III діапазонах

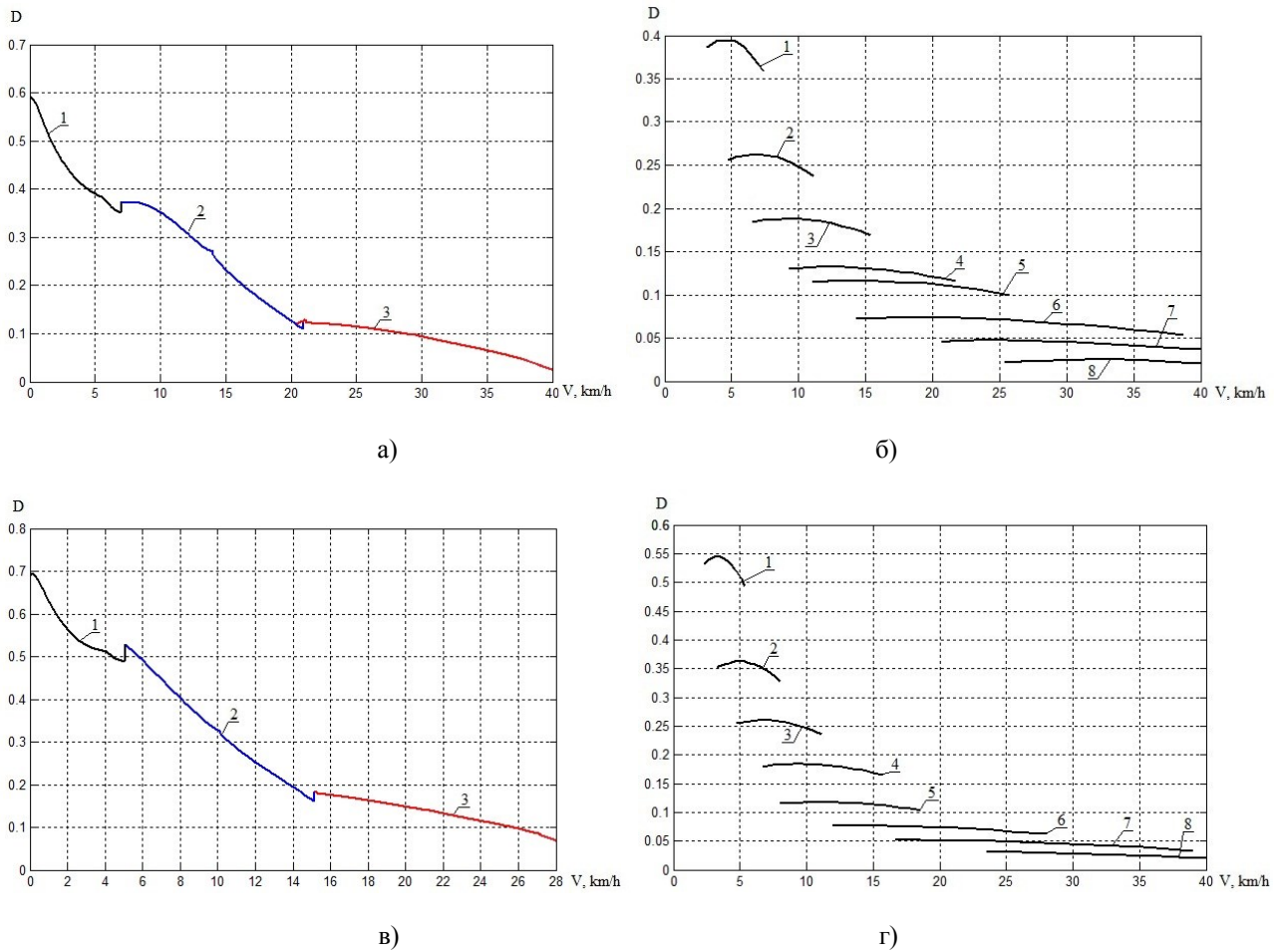


Рис. 3. Зміна динамічного фактора автомобіля для ремонту нафтогазових свердловин:  
 а – з безступінчастою ГОМТ при  $i_{rk}=0,95$ ; б – з механічною трансмісією при  $i_{rk}=0,95$ ; в – з безступінчастою ГОМТ при  $i_{rk}=1,31$ ; г – з механічною трансмісією при  $i_{rk}=1,31$ ; 1 – перша передача (діапазон); 2 – друга передача (діапазон); 3 – третя передача (діапазон); 4 – четверта передача; 5 – п'ята передача; 6 – шоста передача; 7 – сьома передача; 8 – восьма передача



Аналізуючи рис. 3 необхідно відмітити, що значення динамічного фактора автомобіля для ремонту нафтогазових свердловин оснащеного безступінчастою ГОМТ вище ніж у автомобіля з механічною.

**Висновки.** При дослідженні транспортного режиму руху обґрунтовано застосування на автомобілях для ремонту нафтогазових свердловин безступінчастих ГОМТ. Встановлено, що при впровадженні в автомобіль для ремонту нафтогазових свердловин ГОМТ підвищується прохідність та маневреність.

Визначено, що при порівнянні показників роботи автомобіля для ремонту нафтогазових свердловин оснащеного безступінчастою ГОМТ замість механічної трансмісії максимальне значення динамічного фактора (на початку руху) вище на 21,4% при  $i_{rk}=1,31$  та на 33,9% при  $i_{rk}=0,95$ . При зіставленні на всьому діапазоні зміни швидкості значення динамічного фактора на 8,1% при  $i_{rk}=1,31$  та на 11,5% при  $i_{rk}=0,95$ , використовуючи безступінчасту ГОМТ замість механічної трансмісії.

1. Самородов В.Б. Перспективи трансмісії колісних тракторів / В.Б. Самородов, А.І. Бондаренко, А.П. Кожушко, Є.С. Пелипенко, М.О. Мітцель // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2014. – № 10 (1053). – С. 3 – 10.
2. Самородов В.Б. Формирование рационального изменения управления бесступенчатой трансмиссии на этапах разгона и торможения трактора / В.Б. Самородов, А.П. Кожушко, Є.С. Пелипенко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2016. – № 4/7 (82). – С. 37 – 44.
3. Taran I.O., Kozhushko, A.P. (2016) Substantiating of Rational Law of Hydrostatic Drive Control Parameters While Accelerating of Wheeled Tractors with Hydrostatic and Mechanical Transmission // Mechanics, Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 6. – P. 70 – 76.
4. Самородов В.Б. Разработка и анализ бесступенчатой двухпоточной гидрообъемно-механической трансмиссии по критерию наибольшего КПД, автомобиля для ремонта нефтегазовых скважин / В.Б. Самородов, А.О. Островерх, А.П. Кожушко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2012. – №60 (966). – С. 105 – 111.
5. Самородов В.Б. Анализ технологического режима работы бесступенчатой гидрообъемно-механической трансмиссии с использованием отечественных гидроагрегатов автомобиля для ремонта нефтегазовых скважин / В.Б. Самородов, А.О. Островерх, А.П. Кожушко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2013. – №30 (1003). – С. 23 – 31.
6. Самородов В.Б. Повышение эффективности работы подъемных автомобильных установок с использованием бесступенчатых гидрообъемно-механических трансмиссий / В.Б. Самородов, А.О. Островерх // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2016. – № 6/7 (72). – С. 37 – 44.
7. Таран І.А. Закономерности передачи мощности по ветвям двухпоточных гидрообъемно-механических трансмиссий / І.А. Таран // Науковий вісник НГУ. – 2012. – №2 (128). – С. 69 – 75.
8. Таран І.А. Информационные технологии сравнительного анализа трансмиссий транспортных средств на базе интегральных стохастических критериев / І.А. Таран // Вісник Херсонської державної морської академії. – 2013. – № 2 (9). – С. 277-283.
9. Таран І.А. Трансмісії шахтних дизелевозів / І.А. Таран – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. – 2012. – 256 с.
10. Таран І.А. Автоматизированный анализ распределения потоков мощности в трансмиссии дизелевоза / І.А. Таран // Уголь Украины. – 2013. – № 12. – С.34-38.

#### REFERENCES

1. Samorodov, V.B., Bondarenko, A.I., Kozhushko, A.P., Pelipenko, E.S., Mittsel, M.O. (2014). Perspective transmission wheeled tractors [Perspektyvni transmissiyi kolisnykh traktoriv]. The bulletin of the National Technical University "KhPI". Vol. № 10. P. 3 – 10.
2. Samorodov V.B., Kozhushko A.P., Pelipenko E.S. (2016). Formation of a rational change in controlling continuously variable transmission at the stages of a tractor's acceleration and braking [Formirovanie ratsionalnogo izmeneniya upravleniya besstupenchatoy transmissii na etapah razgona i tormozheniya traktora]. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2016. Vol. № 4/7 (82). P. 37 - 44. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.75402
3. Taran I.O., Kozhushko, A.P. (2016). Substantiating of Rational Law of Hydrostatic Drive Control Parameters While Accelerating of Wheeled Tractors with Hydrostatic and Mechanical Transmission. Mechanics, Materials Science and Engineering, September 2016. ISSN 2412. 5954. Vol. 6, Part II: Mechanical Engineering and Physics. P. 70 – 76. DOI: 10.13140/RG.2.1.3590.9362
4. Samorodov V.B., Ostroverch O.O., Kozhushko A.P. (2012). Development and analysis of a continuously variable double-split hydrostatic mechanical transmission by the criterion of the highest efficiency, the vehicle for repair of oil and gas wells [Razrabotka i analiz besstupenchatoy dvuhpotочноy gidroob'emno-mehanicheskoy transmissii po kriteriyu naibolshego KPD, avtomobilya dlya remonta neftegazovyih skvazhin]. The bulletin of the National Technical University "KhPI". Vol. 60 (966). P. 105 – 111.
5. Samorodov V.B., Ostroverch O.O., Kozhushko A.P. (2013). Analysis of the technological mode of a continuously variable hydrostatic-mechanical transmission with the use of native car repair hydraulic units for oil and gas wells [Analiz tehnologicheskogo rezhima raboty besstupenchatoy gidroob'emno-mehanicheskoy transmissii s ispolzovaniem otechestvennyih gidroagregatov avtomobilya dlya remonta neftegazovyih skvazhin]. The bulletin of the National Technical University "KhPI". Vol. 30 (1003). P. 23 – 31.
6. Samorodov V.B., Ostroverch O.O. (2014). Increased efficiency of truck pulling units using stepless hydrostatic mechanical transmission [Povyshenie effektivnosti raboty pod'emnyih avtomobilnyih ustanovok s ispolzovaniem besstupenchatyih gidroob'emno-mehanicheskih transmissiy]. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 6/7 (72). P. 37 – 44. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.30867
7. Taran I.O. (2012). Laws of power transmission on branches of double-split hydrostatic mechanical transmissions [Zakonomernosti peredachi moschnosti po vetvyam dvuhpotочnyih gidroob'emno-mehanicheskih transmissiy]. Naukoviy vistnik NGU. Dnepropetrovsk: SHEI «NMU». Vol. 2. P. 69 – 75.
8. Taran I.O. (2013). Information technology comparative analysis of vehicles transmissions on the basis of stochastic integral criteria

[Informatsionnyie tehnologii sravnitel'nogo analiza transmissiy transportnyih sredstv na baze integralnyih stohasticheskikh kriteriev]. Naukoviy vistnik Chersons'koi derzhavnoi morskoi akademii. Kherson: Kherson state maritime academy. Vol. 2 (9). P. 277 – 283.

9. Taran I.O. (2012). Transmission of mine locomotive: Monograph. [Transmissiyi shakhtnykh dyzelevoziv]. Dnepropetrovsk: published by SHEI «NMU». 256 p.

10. Taran I.O. (2013). Automated analysis of the distribution of power flow transmission locomotive [Avtomatizirovannyi analiz raspredeleniya potokov moschnosti v transmissii dizelevoza]. Ugol' Ukraine. Vol. 12. P. 34 – 38

**А.П. Кожушко, И.А. Таран. Обоснование внедрения бесступенчатой трансмиссии на автомобилях для ремонта нефтегазовых скважин.** В данной работе описан процесс определения значения динамического фактора в процессе исследования автомобиля для ремонта нефтегазовых скважин, который оборудован механической и гидрообъемно-механической трансмиссией. В работе обоснован выбор подхода для определения передаточного отношения в замкнутом контуре бесступенчатой гидрообъемно-механической трансмиссии. Приведены результаты сравнительного анализа значений динамического фактора при использовании на автомобилях для ремонта нефтегазовых скважин бесступенчатой гидрообъемно-механической и механической трансмиссий.

**Ключевые слова:** автомобиль, разгон, гидрообъемно-механическая трансмиссия, динамический фактор, коэффициент полезного действия.

**A. Kozhushko, I. Taran. Substantiation the introduction of a stepless transmission in cars for repair of oil and gas wells.** In this paper the process of determining the value of the dynamic factor in the process of researching a car for repair of oil and gas wells, which is equipped by mechanical and hydrostatic mechanical transmission, is described. The choice of the approach for the determination of the gear ratio in the closed loop of a stepless hydrostatic mechanical transmission is substantiated. The results of a comparative analysis of the dynamic characteristics using the stepless hydrostatic mechanical and mechanical transmissions on automobiles for repair of oil and gas wells are presented.

**Key-words:** car, overlocking, hydrostatic mechanical transmission, dynamic factor, coefficient of efficiency.

#### АВТОРИ:

**КОЖУШКО Андрій Павлович**, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри «Автомобіле- і тракторобудування», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», e-mail: andreykozhushko7@gmail.com.

**ТАРАН Ігор Олександрович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Управління на транспорті», Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», e-mail: taran\_70@mail.ru.

#### AUTHORS:

**Andriy KOZHUSHKO**, Candidate of Science in Technology, Senior Lecturer of Car and Tractor Industry Department, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, e-mail: andreykozhushko7@gmail.com

**Igor TARAN**, Doctor of Science in Technology, Professor, Head of Transport Management Department, National Mining University, e-mail: taran\_70@mail.ru;

Стаття надійшла в редакцію 3.05.2017 р.

<sup>1</sup>Кравченко О.П., <sup>2</sup>Кравченко К.О.<sup>1</sup>Житомирський державний технологічний університет  
<sup>2</sup>Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля**АНАЛІЗ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПОРУШЕНЬ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ  
АВТОМОБІЛІВ-ТЯГАЧІВ VOLVO FH 1242**

Наведено аналіз надійності автомобілів-тягачів VOLVO FH 1242, які виконують міжнародні вантажні перевезення. Встановлено, що транспортний засіб є надійною системою, що відповідає вимогам економічності і екологічності, але в якому мають місце несправності. Отримано розподіли порушень працездатності і загальні показники експлуатаційної надійності. Отримано закономірності порушень працездатності агрегатів та систем автомобілів-тягачів в експлуатації, які в значній мірі відрізняються на етапах гарантійного та післягарантійного напрацювань.

**Ключові слова:** автомобіль-тягач, надійність, закономірність, кількісні показники, планування.

**Постановка проблеми.** Ефективна робота автомобільних поїздів забезпечується комплексом показників автомобіля-тягача. Що надає підприємство-виробник та підтримкою надійності в умовах експлуатації рухомого складу. Поширеним видом вантажних автомобілів, що виконують міжнародні перевезення, є автомобілі-тягачі VOLVO FH 1242. Аналіз надійності цих вантажівок в гарантійний період експлуатації дозволив розробити пропозиції щодо підвищення ефективності роботи транспортного підприємства, управління і планування раціонального використання запасних частин, організації технічного обслуговування [1, 2, 3, 4]. Дослідження, виконані в цей період експлуатації, визначили менш надійні елементи і дали можливість більше приділяти їм уваги. Спільними зусиллями виробника автомобілів і перевізника виявлені і усунені недоліки технології виготовлення автомобілів, визначена подальша організація профілактичних робіт.

**Мета роботи.** Дослідження надійності автомобілів-тягачів VOLVO FH 1242 в умовах післягарантійної експлуатації, виявлення вузлів і агрегатів найбільш часто схильних до ремонтів для поліпшення організації технічного обслуговування і встановлення закономірностей порушень працездатності агрегатів та систем.

**Матеріали і результати дослідження.** Дослідницька робота виконана по оцінці надійності ста автомобілів-тягачів VOLVO FH 1242з пробігом до 900 тис. км. Категорія умов експлуатації автомобілів - I-II, період обстеження - 2005–початок 2014 року.

На підставі зібраних статистичних даних за методиками [5, 6] проаналізовано усунення дефектів і несправностей, отримані закономірності порушень працездатності, виявлені основні статистичні характеристики. За весь період експлуатації автомобілів виявлено 1329 відмов, що в середньому складає 13,3 відмови на один автомобіль; визначено характер розподілу відмов по агрегатам і системам автомобілів (рис. 1). Основні порушення працездатності відбувалися в двигуні та електро- та електронному обладнанні (табл. 1).

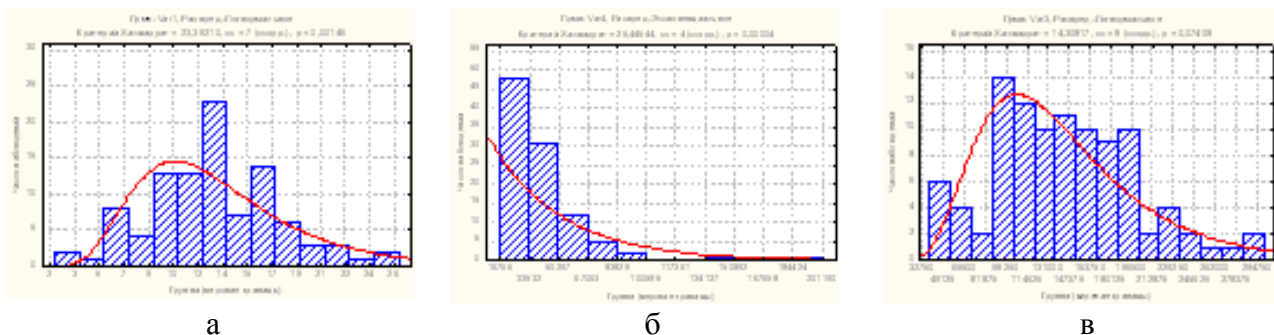
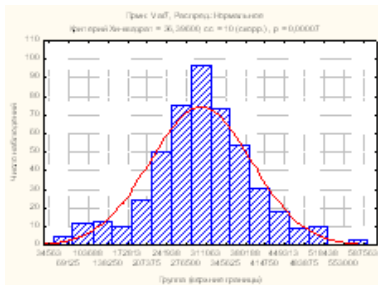


Рис. 1. Статистичні характеристики розподілу порушень працездатності: а – загальна кількість відмов, б – середнє напрацювання на відмову, в – напрацювання на першу відмову

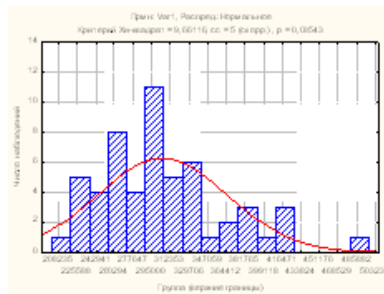
Встановлено, що найбільша кількість ремонтних робіт у двигуні відноситься до заміни комплекту прокладок (48,8%), головки блока циліндрів (11,4%), елементів глушника (11,4%), замінено 24 форсунки та 19 насосів Adblue (рис. 2).

Таблиця 1 – Кількісний розподіл відмов

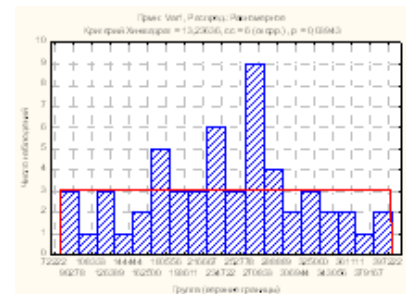
Найменування елемента автомобіля	Кількість	
	од.	%
ДВЗ	484	36,4
Трансмiсія	114	8,6
Рульове управління	6	0,5
Ходова частина	121	9,1
Електричне та електронне обладнання	290	21,8
Гальмівна система	126	9,5
Інше	188	14,1



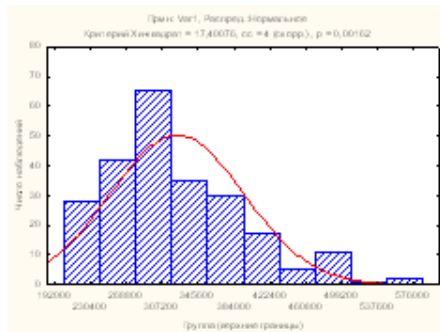
а



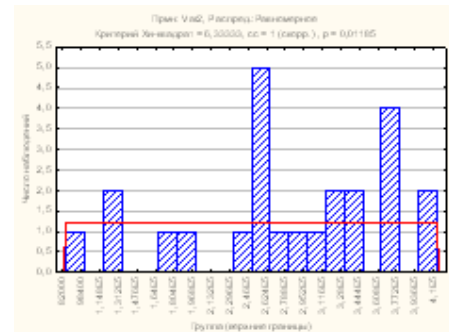
б



в



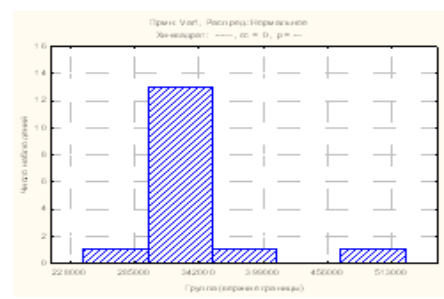
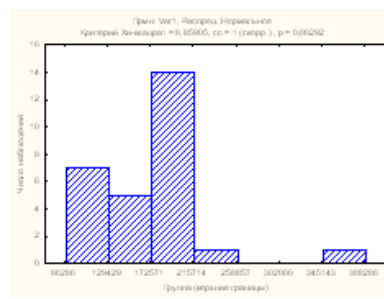
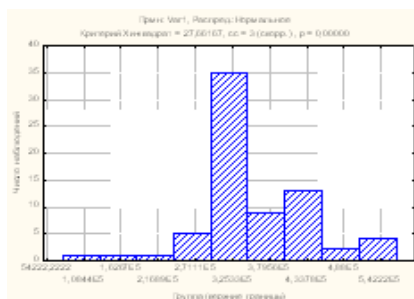
г



д

Рис. 2. Статистичні характеристики розподілу несправностей ДВЗ: а – загальний розподіл, б – головка блоку циліндрів, в – елементи глушника, г – комплект прокладок, д – форсунка Adblue

Серед відмов електричного обладнання слід відмітити заміну підшипника ролика натягувача ремня генератора (44,5%), заміну ролика натягувача ремня генератора в зборі (24,5%), а також заміну вимикача маси (7,9%) – рисунок 3.



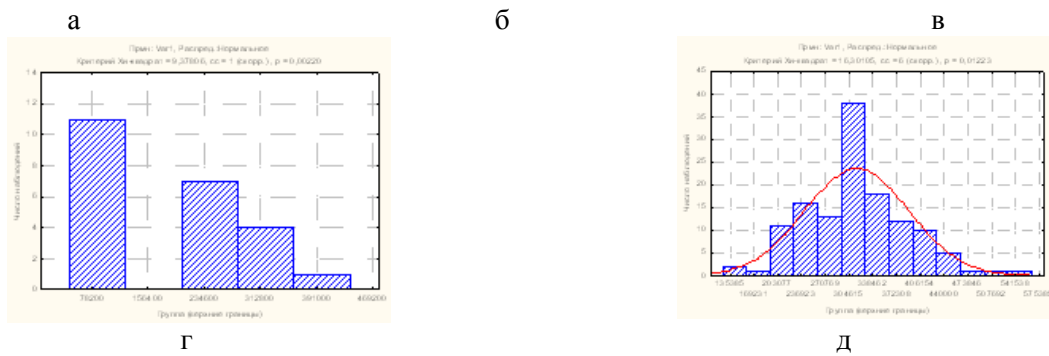


Рис. 3. Статистичні характеристики відмов елементів електричного обладнання: а – загальний розподіл, б – ролик натягувача ремня генератора, в – ремкомплект тахографа, г – підшипник ролика, д – ремень генератора, е – вимикач маси

Гальмівна система займає четверте місце рейтингу відмов. За весь період експлуатації вона налічує 126 відмов, з них - 32,5% припадає на пружини гальмівних колодок, 21,4% - на гальмівний суппорт, 20,6% - на датчик зносу гальмівних колодок (табл. 2, рис. 4).

Таблиця 2. Розподіл несправностей елементів гальмівної системи

Елемент гальмівної системи	Відмов за весь період, од.	Відмов за весь період, %	Напрацювання до першої заміни, км	Середнє напрацювання на відмову, км
Пружина гальмівної колодки	41	32,5%	129000	299146
Суппорт гальмівний	27	21,4%	328000	413111
Енергоаккумулятор	2	1,6%	155000	202500
Датчик зносу гальмівних колодок	26	20,6%	106000	312923
Модулятор керування гальмами	12	9,5%	83000	256583
Датчик ABS	4	3,2%	98000	270750
Кабель ABS	10	7,9%	420000	126900
Блок EBS	4	3,2%	155000	286750

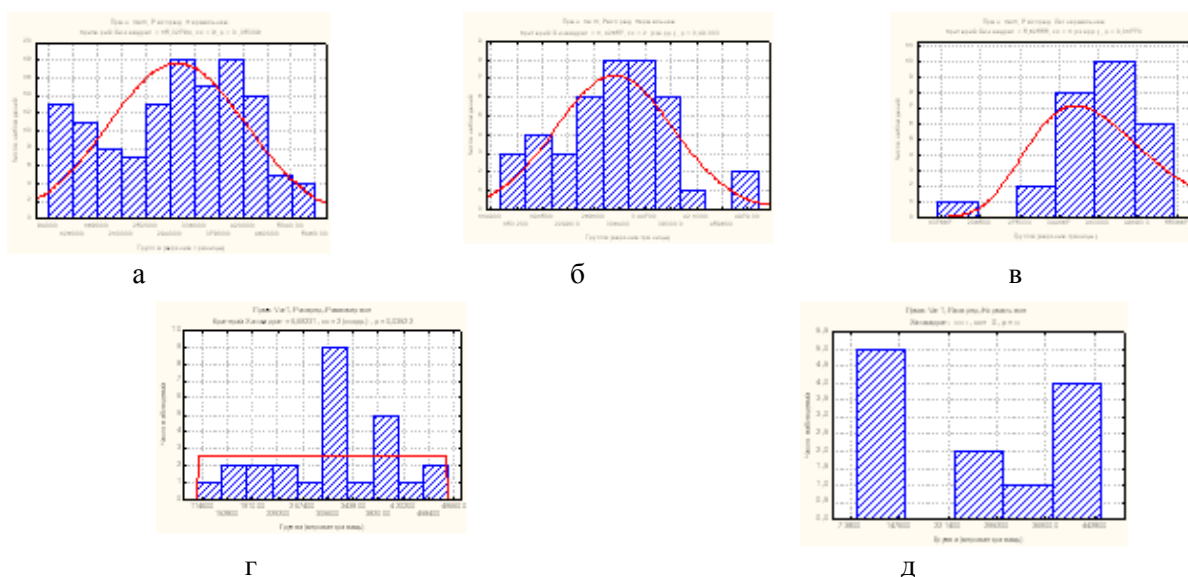


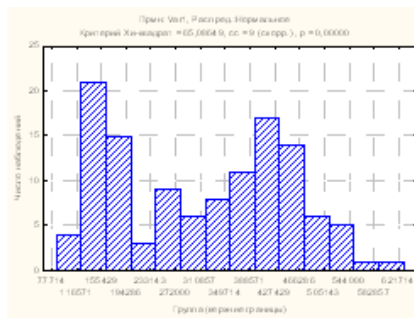
Рис. 4. Статистичні характеристики відмов деталей гальмівної системи: а – загальний розподіл, б– пружина гальмівних колодок, в – суппорт гальмівний, г – датчик зносу гальмівних колодок,



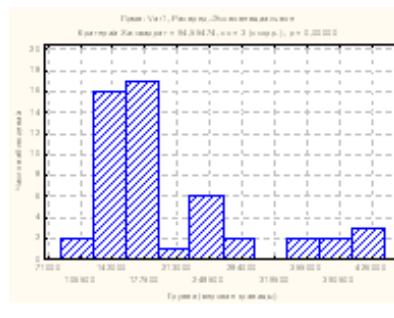
Менше 10% відмов припадає на ходову частину. Найслабшими її елементами виявилися пневморесора (40,5%) і датчик рівня пола (42,1%) – таблиця 3, рисунок 5.

Таблиця 3. Розподіл несправностей елементів ходової частини

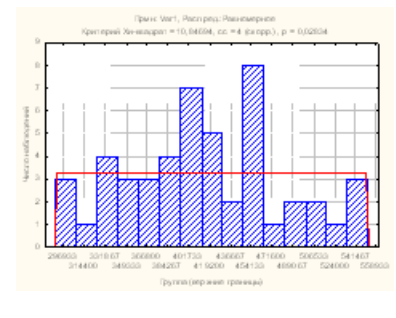
Деталь	Відмов, од.	Відмов, %	Напрацювання до першої заміни, км	Середнє напрацювання на відмову, км
Зворотний клапан підвіски	3	2,5%	105000	177000
Ремкомплект лучевой	2	1,7%	486000	500500
Пневморесора	49	40,5%	295000	414939
Стойка стабілізатора	16	13,2%	131000	353188
Датчик рівня пола	51	42,1%	85000	204765



а



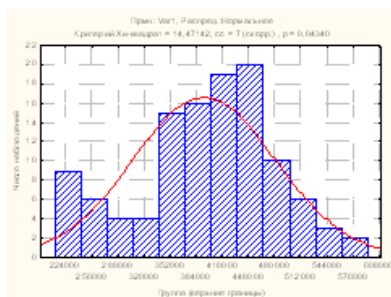
б



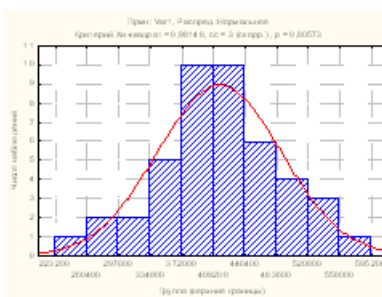
в

Рис. 5. Статистичні характеристики відмов ходової частини: а – загальний розподіл, б – сенсор підвіски, в – пневморесора

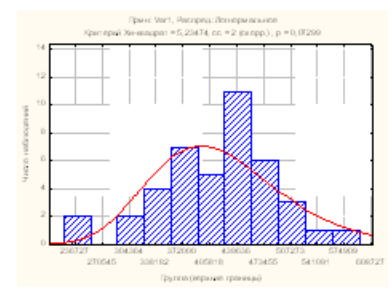
Несправності трансмісії представлені замінами вижимного підшипника зчеплення та диска зчеплення (38,6% і 36,8%, відповідно від усієї кількості відмов трансмісії) – рисунок 6, таблиця 4.



а



б



в

Рис. 6. Статистична характеристика розподілу несправностей елементів трансмісії: а – загальний розподіл, б – підшипник вижимний, в – диск зчеплення

Найбільш надійним елементом автомобіля виявилось рульове управління, доля в загальній кількості відмов якого складає не більше одного відсотка. За весь післягарантійний період експлуатації було замінено три насоса гідропідсилювача, одна гайка шкворня, один трос руля і одна

продольна тяга (таблиця 5).

Таблиця 4. Розподіл несправностей трансмісії

Елементи трансмісії	Відмов, од.	Відмов, %	Напрацювання до першої відмови, км	Середнє напрацювання на відмову, км
Підшипник вижимний	44	38,6%	222000	416477,3
Диск зчеплення	42	36,8%	222000	418500
Трос КПП	1	0,9%	210000	405000
Редуктор заднього моста	3	2,6%	245000	332666,7
Ремонтний комплект ППП	5	4,4%	345000	394200
Демультіплікатор КПП	6	5,3%	280000	302500
Корпус КПП	2	1,8%	400000	314000
Шпилька колеса	1	0,9%	345000	389000
Гайка хвостовика КПП	2	1,8%	210000	229000
Головний циліндр зчеплення	2	1,8%	245000	333000
Корзина зчеплення	1	0,9%	222000	222000
Сальник хвостовика КПП	5	4,4%	210000	282200

Таблиця 5. Розподіл несправностей рульового управління

Елементи рульового управління	Відмов за весь період, од.	Відмов за весь період, %	Напрацювання до першої відмови, км	Середнє напрацювання на відмову, км
Насос гідропідсилювача	3	50,0%	318000	356666,7
Гайка шкворня	1	16,7%	231000	231000
Трос руля	1	16,7%	385000	385000
Продольна тяга	1	16,7%	196000	196000

Несправності інших агрегатів і систем, віднесених в групу “Інше” складають 14,1% від загальної кількості відмов. Більша частина з них відноситься до елементів кабіни (амортизатори, подушки, торсіони, стабілізатори, системи опалення та інше).

**Висновки.** Отримані результати проведеного аналізу дозволяють зробити висновки про надійність автомобілів-тягачів VOLVOFH 1242. Встановлено, що автомобіль, відповідає вимогам економічності і екологічності, але в якому мають місце несправності. Порівнянням гарантійного та післягарантійного періодів експлуатації встановлено відмінність закономірностей появи відмов та несправностей у елементах тягача. Гарантійний період в більшості випадків описується несиметричними законами розподілу (Вейбула, експоненціальний, бета-розподіл); післягарантійний період характеризується симетричними законами (нормальний, логнормальний, рівномірний). Проведені дослідження дали змогу раціонально організувати технічне обслуговування автомобілів та оптимізувати кількість запасних частин [7], які повинні бути в наявності на підприємстві для зменшення простою автомобільного парку.

1. Кравченко А.П., Мухин Р.Г., Мерьмов С.В. Систематизация дефектов и неисправностей автомобилей-тягачей VOLVO FH 1242 и MERCEDES-BENZ 1844 ACTROS LS / Сборник научных трудов “Автомобильный транспорт”. – Харьков: ХНАДУ, 2005. – С. 42–45.

2. Бажинов О.В., Кравченко А.П. Надежность автомобильных поездов // Монография. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2009. – 412 с.

3. Kravchenko A. Statistical researches of operating reliability of lorry convoys of european production / International Congress of heavy Vehicles, Road Trains and Urban Transport, BNTU, Minsk, 2010, p. 227–232.

4. Кравченко А.П. Анализ эксплуатационной надежности автомобилей-тягачей VOLVO FH 1242 / Кравченко А.П., Верительник Е.А. // «Наукові нотатки» Луцького національного технічного університету, Міжвузівський збірник. Випуск 36, Луцьк, 2012, с. 165-168.

5. Алпаидзе Г.Е., Романов Л.Г., Червонный А.А., Шахтарин Ф.И. Гарантийный надзор за сложными техническими системами. – М.: Машиностроение, 1988. – 232 с.
6. Высоцкий М.С., Гальбурт А.Е., Гилелес Л.Х., Кузнецов Е.С. Обеспечение надежности автомобилей MAZ в эксплуатации / Под ред. Е.С. Кузнецова. – М.: Транспорт, 1977. – 183 с.

## REFERENCES

1. Kravchenko A.P., Muhin R.G., Mer'emov S.V. Sistematizacija defektov i neispravnostej avtomobilej-tjagachej VOLVO FH 1242 i MERCEDES-BENZ 1844 ACTROS LS / Sbornik nauchnyh trudov "Avtomobil'nyj transport". – Har'kov: HNADU, 2005. – S. 42–45.
2. Bazhinov O.V., Kravchenko A.P. Nadezhnost' avtomobil'nyh poezdov // Monografija. – Lugansk: SNU im. V. Dalja, 2009. – 412 s.
3. Kravchenko A. Statistical researches of operating reliability of lorry convoys of european production / International Congress of heavy Vehicles, Road Trains and Urban Transport, BNTU, Minsk, 2010, p. 227–232.
4. Kravchenko A.P. Analiz jekspluatacionoj nadezhnosti avtomobilej-tjagachej VOLVO FH 1242 / Kravchenko A.P., Veritel'nik E.A. // «Naukovi notatki» Luc'kogo nacional'nogo tehničnogo universitetu, Mizhvuzivs'kij zbirnik. Vipusk 36, Luc'k, 2012, s. 165-168.
5. Alpaidze G.E., Romanov L.G., Chervonnyj A.A., Shahtarin F.I. Garantijnyj nadzor za slozhnymi tehničeskimi sistemami. – M.: Mashinostroenie, 1988. – 232 s.
6. Vysockij M.S., Gal'burt A.E., Gileles L.H., Kuznecov E.S. Obespechenie nadezhnosti avtomobilej MAZ v jekspluatacii / Pod red. E.S. Kuznecova. – M.: Transport, 1977. – 183 s.

***Кравченко А.П., Кравченко К.А. Анализ закономерностей нарушения работоспособности автомобилей-тягачей VOLVO FH 1242.***

Приведен анализ надежности автомобилей-тягачей VOLVO FH 1242, которые выполняют международные грузовые перевозки. Установлено, что транспортное средство является надежной системой, соответствующей требованиям экономичности и экологичности, но в которой имеют место неисправности. Получены распределения нарушений работоспособности и общие показатели эксплуатационной надежности. Выявлены закономерности нарушений работоспособности агрегатов и систем автомобилей-тягачей в эксплуатации, которые в значительной степени отличаются на этапах гарантийного и послегарантийного периодов эксплуатации.

**Ключевые слова:** автомобиль-тягач, надежность, закономерность, количественные показатели, планирование.

***Kravchenko O., Kravchenko K. Analysis of the regularities of the failure of the working capacity of motor vehicles VOLVO FH 1242.***

The reliability analysis of VOLVO FH 1242 truck-tractors, which perform international cargo transportation, is given. It is established that the vehicle is a reliable system that meets the requirements of economy and environmental friendliness, but in which there are malfunctions. Distributions of operational disruptions and general indicators of operational reliability are obtained. Regularities in the performance of aggregates and systems of truck tractors in operation have been obtained, which are significantly different at the stages of warranty and post-warranty developments.

**Keywords:** vehicles-trucks, reliability, refusal regularities, quantitative indicators, planning.

### АВТОРИ:

**КРАВЧЕНКО Олександр Петрович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Автомобілі та автомобільне господарство», Житомирський державний технологічний університет, e-mail: [avtoap@ukr.net](mailto:avtoap@ukr.net)

**КРАВЧЕНКО Костянтин Олександрович**, аспірант кафедри «Залізничний, автомобільний транспорт та підйомно-транспортні машини», Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, e-mail: [konstantin75@i.ua](mailto:konstantin75@i.ua)

### AUTHOR:

**Oleksandr KRAVCHENKO**, Doctor of Science in Technology, Professor, Professor of the Department of Automobiles and Motor-Car Economy, Zhytomyr State Technological University, e-mail: [avtoap@ukr.net](mailto:avtoap@ukr.net)

**Kostiantyn KRAVCHENKO**, PhD student of the Department of Railway, Automobile Transport and Handling Machines, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, e-mail: [konstantin75@i.ua](mailto:konstantin75@i.ua)

Стаття надійшла в редакцію 29.04.2017 р.

Мазилюк П.В.  
*Луцький національний технічний університет*

## СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ДІЯМИ ВОДІЇВ ПІД ЧАС РУХУ ВУЛИЧНИМИ МЕРЕЖАМИ М. ЛУЦЬКА

В статті досліджується проїзд водіями прогнозованих перешкод – світлофорів у м. Луцьку. Розраховується процентне відношення проїзду транспортних засобів, які долають прогнозовані перешкоди без повної зупинки. За результатами розрахунків встановлено, що ефективність проїзду перехресть маршрутними транспортними засобами становить 21-76%. У легкових автомобілів використання рекомендованого методу проїзду становить лише 7-9%, тому проїзд перехресть без повної зупинки транспортного засобу виходить тільки на 32-38% від реальної можливості випадків.

**Ключові слова:** колісний транспортний засіб, світлофор, водій, дорожній рух, економічність.

**Постановка проблеми.** Збільшення кількості транспорту та водіїв, створюють нові проблеми на вуличних мережах міста. Використання удосконалених методів регулювання на дорогах, не завжди приносять бажаного результату. Так система «зелена хвиля», роблячи в одному напрямку потоку автомобілів без зупинки проїзд, в протилежному напрямку руху автомобілі не можуть користуватися такою перевагою. На багатьох частинах доріг немає належного регулювання, тому часто можливо побачити, коли маленькі групи автомобілів, а в основному одиночні автомобілі проїжджають перехрестя з повною зупинкою.

Водії, маючи власний транспортний засіб, або працюючи на підприємствах чи в державних установах використовують маршрути доріг, які повторюються часто, але не всі водії користуються перевагою в передбаченні та подоланні прогнозованих перешкод. Це призводить до збільшення витрати пального, збільшення транспортних перешкод та заторів і підвищенню викидів шкідливих речовин.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Тривалий час ведуться дослідження режимів руху транспортних потоків [1], а саме: напрямком руху транспортного потоку, його інтенсивність, швидкість, щільність, складом, наявністю засобів регулювання руху, геометричні елементи перетинів. Дослідження цих складових дали можливість створити систему «зелена хвиля», яка вперше появилася ще у 1926 році [2]. Систему щоразу удосконалюють, так у 2016 році в тестових режимах почали активно впроваджувати на вулицях м. Києва [3]. Це призвело до підвищення швидкісного режиму і пропускної здатності окремих частинах доріг вуличної мережі міста та зменшенню пробок на дорогах.

**Формулювання мети.** Метою роботи є дослідження і аналіз проїзду водіями прогнозованих перешкод - світлофорів на вуличних мережах міста.

**Виклад основного матеріалу.** Для того, щоб покращити рух на дорожніх мережах міста, одиночних чи невеликих груп автомобілів, був запропонований беззупиночний метод проїзду прогнозованих перешкод [4], який потребує удосконалення, шляхом дослідження різних факторів і дій водіїв. Для вирішення поставленої задачі, потрібно реально побачити дії водіїв, громадського транспортного засобу, при переїзді прогнозованих перешкод. Проводячи дослідження був вибраний маршрут, який буде проходити через все місто: Луцький НТУ- «Модерн - Експо». Враховуючи дослідження Сітовського О.П. [5], час для проведення дослідження був вибраний не піковий, коли навантаження на дорогах не було максимальним.

За допомогою карти Google [6], було показано номери маршрутних транспортних засобів, які були використані при дослідженні (рис.1). Це в основному маршрути номер 12 та номер 3.

В результаті спостережень за рухом маршрутного транспортного засобу та діями водіїв цих маршрутних транспортних засобів були встановлені певні визначення:

-*реальна можливість* – це відсоток випадків, які дозволяють використовувати запропонований метод проїзду світлофора [4]. Сюди входять реальні швидкості і час проїзду до світлофора;

-*проїзд без зупинки* - це процент маршрутних транспортних засобів, які проїхали без повної зупинки світлофор;

-*використання* – це процент відношення проїзду без зупинки до реальної можливості проїзду без зупинки.

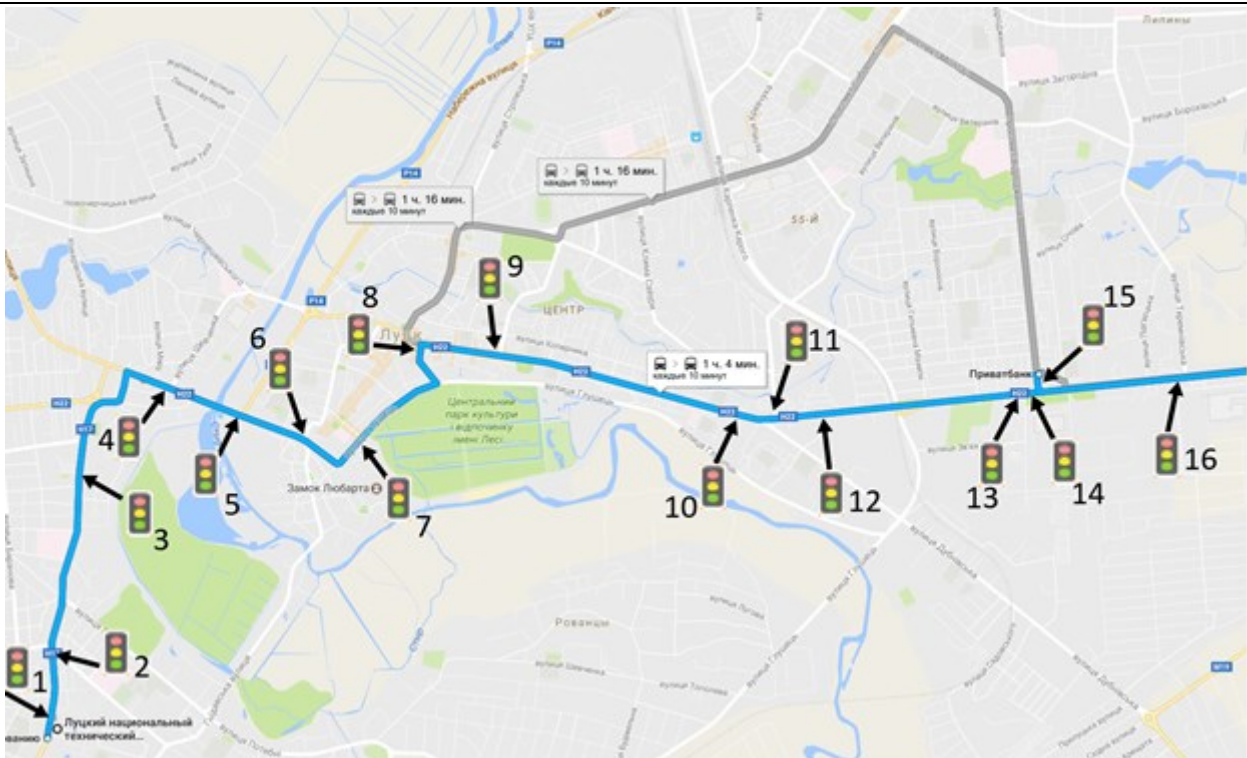


Рис. 1. Схема розміщення світлофорів на маршруті Луцький НТУ – «Модерн – Експо»

Результати досліджень наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати досліджень і оцінка дій водіїв маршрутних транспортних засобів

Світлофор, №	Реальна можливість, %	Проїзд без зупинки, %	Використання, %
1	81	24	30
2	73	29	40
3	89	19	21
4	71	20	28
5	65	38	59
6	51	23	45
7	35	19	54
8	31	22	70
9	37	16	43
10	69	26	38
11	86	27	31
12	33	25	76
13	37	12	32
14	12	4	33
15	38	11	29
16	85	31	37

За результатами розрахунків було встановлено, що ефективність дій по проїзду перехресть маршрутними транспортними засобами становить 21-76%.

Враховуючи складність перехрестя, можна сказати, що на складних ділянках великого ефекту використання даного способу не передбачається.



Виходячи зі статистики використання водія методу проїзду світлофорів без зупинки, можна зауважити, що більшість водіїв маршрутних транспортних засобів виконують проїзд світлофорів неефективно, що призводить до значного збільшення витрати пального та погіршення екологічної обстановки у місті.

Для того, щоб побачити повну обстановку на дорозі, було проведення дослідження руху легкових автомобілів на початку і кінці вибраного маршруту показаного на рисунку 1, світлофор №1 – Луцький НТУ та світлофор №16 – «Модерн – Експо».

В результаті спостережень за рухом легкових транспортних засобів та діями водіїв цих транспортних засобів було встановлено додаткове визначення:

- *використання рекомендованого методу* – показує кількість автомобілів та їх процентний розподіл, які використали запропонований метод проїзду світлофора [4].

Результати досліджень наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати досліджень і оцінка дій водіїв легкових автомобілів

Світлофор, №	Кількість автомобілів	Реальна можливість		Проїзд без зупинки		Використання рекомендованого методу	
		авт.	%	авт.	%	авт.	%
1	175	138	78	45	32	13	9
16	146	131	89	51	38	9	7

За результатами розрахунків та оцінки дій водіїв легкових транспортних засобів також можна побачити, що абсолютна більшість водіїв проїжджають перехрестя неправильно. Тому проїзд перехрестя без повної зупинки транспортного засобу виходить тільки на 32-38% від реальної можливості водіїв. А лише 7-9% використовують рекомендований метод проїзду.

**Висновки:** Виходячи з результатів дослідження руху колісного транспортного засобу можна побачити, що водії маршрутних транспортних засобів і водії легкових автомобілів не використовують при управлінні транспортним засобом економічних методів їзди - беззупинного проїзду прогнозованих перешкод. З усіх реальних можливих випадків проїзду прогнозованих перешкод без зупинки приблизно третина автомобілів проїжджає їх без зупинки. Лише до 10% водіїв застосовують під час управління автомобілем вказаний метод керування. Тому є необхідність в подальшому продовженні досліджень та впровадженні запропонованих методів проїзду у рекомендації для водіїв та у повсякденну практику водіїв транспортних засобів.

1. Беспалов, Д.О. Особливості режиму руху транспортного потоку на перетинах міських магістралей в різних рівнях / [Електронний ресурс] // <https://bespalov.me/2012/04/10/osobennosti-reghima-dvigheniya-transporta/> (Дата звернення: 10.04.2012р.).

2. Вікіпедія – вільна енциклопедія. Грьне Welle / [Електронний ресурс] // [https://de.wikipedia.org/wiki/Gryne\\_Welle](https://de.wikipedia.org/wiki/Gryne_Welle) (Дата звернення: 17.09.2016р.).

3. Київ «сьогодні». Светофори в Києве будут работать в режиме "Зеленая волна" / [Електронний ресурс] // <http://kiev.segodnya.ua/ktransport/svetofory-v-kieve-budut-rabotat-v-rezhime-zelenaya-volna-729589.html> (Дата звернення: 01.06.2016р.).

4. Мазилюк П.В. Математичне моделювання процесу гальмування на вимогу сигналів світлофора / Мазилюк П. В., Сітовський О. П. // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – Луцьк: НТУ, 2016. – Вип. 55. С.364-366.

5. Сітовський О.П. Визначення параметрів руху автомобіля в дорожніх заторах / Сітовський О.П., Кашуба А.М. // Вісник СевНТУ. Збірник наукових праць. Севастополь, -2012, випуск 135. С. 134-137.

6. Google карта Луцька / [Електронний ресурс] // <https://www.google.com.ua/maps/place/Луцк> (Дата звернення: 05.10.2016р.).

## REFERENCES

1. D. Bespalov, (2012). Special aspects of traffic flow at the intersection of urban highways at different levels / [elektronnyy resurs] // [ssylka https://bespalov.me/2012/04/10/osobennosti-reghima-dvigheniya-transporta/](https://bespalov.me/2012/04/10/osobennosti-reghima-dvigheniya-transporta/)

2. Wikipedia - the free encyclopedia (2016). Грьне Welle / [elektronnyy resurs] // [ssylka https://de.wikipedia.org/wiki/Gryne\\_Welle/](https://de.wikipedia.org/wiki/Gryne_Welle/)

3. Kiev "today" (2016). Traffic lights in Kiev will work in the regime of "Green Wave" / [elektronnyy resurs] // [ssylka http://kiev.segodnya.ua/ktransport/svetofory-v-kieve-budut-rabotat-v-rezhime-zelenaya-volna-729589.html](http://kiev.segodnya.ua/ktransport/svetofory-v-kieve-budut-rabotat-v-rezhime-zelenaya-volna-729589.html)

4. P. Mazylyuk, & O. Sitovskiy, (2016). *Mathematical modeling of braking demand signal lights*, Mizhvuziv's' kyy

zbirnyk "Naukovi notatky". — Luts' k: LNTU, 2016. — Vyp. 55. ST.364-366.

5.O.Sitovskyi, & A. Kashuba, (2012). Characterization moving vehicle in traffic congestion, Visnyk SevNTU. Zbirnyk naukovykh prats' .Sevastopol' , -2012, Vyp. 135. ST. 134-137.

6.Google map of Lutsk (2016) / [elektronnyy resurs] // ssylka <https://www.google.com.ua/maps/place/Луцк/>

**Мазылюк П.В. Наблюдение за действиями водителей во время движения уличной сети г.Луцка**

В статье исследуется проезд водителями прогнозируемых препятствий - светофоров в г.Луцке. Рассчитывается процентное отношение проезда транспортных средств, испытываемых прогнозируемые препятствия без полной остановки. По результатам расчетов установлено, что эффективность проезда перекрестков маршрутными транспортными средствами составляет 21-76%. У легковых автомобилей использования рекомендованного метода проезда составляет всего 7-9%, поэтому проезд перекрестков без полной остановки транспортного средства получится только на 32-38% от реальной возможности случаев.

**Ключевые слова:** колесное транспортное средство, светофор, водитель, дорожное движение, экономичность.

**P.Mazylyuk. Monitoring actions of the vehicle drivers when driving network of streets in the Lutsk**

The article examines the drivers traveling predicted noise - traffic lights in the city. Lutsk. Calculate the percentage of travel vehicles are projected overcome obstacles without full stop. The calculations revealed that the effectiveness route travel crossroads vehicles is 21-76%. In cars using the recommended method of travel is only 7-9%, so transportation intersections without a full stop the vehicle goes only 32-38% of the real possibility drivers.

**Keywords:** Vehicles, traffic lights, driver, traffic, economy.

**АВТОР:**

**МАЗИЛЮК Павло Вікторович**, аспірант кафедри «Автомобілі і транспортні технології» Луцький НТУ, e-mail: [mazylyuk@ukr.net](mailto:mazylyuk@ukr.net)

**АВТОР:**

**МАЗЫЛЮК Павел Викторович**, аспирант кафедры автомобилей и транспортных технологий, Луцкий НТУ, e-mail: [mazylyuk@ukr.net](mailto:mazylyuk@ukr.net)

**AUTHOR:**

**Pavlo MAZYLYUK**, Postgraduate Student of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: [mazylyuk@ukr.net](mailto:mazylyuk@ukr.net)

Мельничук С.В., Чуйко С.П., Рафальський О.І.  
*Житомирський державний технологічний університет*

## **ПІДВИЩЕННЯ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ МІСЬКОГО АВТОБУСА ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РУХУ. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Надійна та ефективна робота пасажирського громадського транспорту в містах є одним з найважливіших показників соціальної та економічної стабільності держави, яка не повинна загрожувати безпеці життю і здоров'ю пасажирів та навколишньому середовищу.

Вибрана ефективна методика аналізу паливної економічності та екологічних показників міських автобусів. Визначені проблеми в організації транспортної системи, фактори що впливають на підвищення рівня забруднення довкілля та сформовані нові технічні напрямки вирішення удосконалення ефективності експлуатації міських автобусів. Надається оцінка показників міської маршрутної мережі яка дозволяє вдосконалити раціональну структуру парку рухомого складу для роботи на маршрутах.

**Ключові слова:** маршрутна мережа, міський автобус, екологічна безпека, паливна економічність, колісний транспортний засіб.

**Актуальність теми дослідження.** Підвищення паливної економічності та екологічних показників автомобілів, як і раніше, залишається однією із основних проблем при конструюванні нових та експлуатації уже існуючих автотранспортних засобів. В теперішній час до числа найбільш перспективніших шляхів вирішення названої проблеми відноситься оптимізація конструктивних параметрів і режим руху автомобіля з урахуванням конкретних умов експлуатації.

У сучасних умовах ефективна експлуатація автобусів передбачає додаткові пошуки рішень та підходи до проблем вибору рухомого складу для роботи на міських пасажирських маршрутах, які вбачають розгляд транспортного процесу в більш широкому контексті. В найближчому майбутньому двигуни внутрішнього згорання залишатимуться основним джерелом енергії на автобусах України і одним з недоліків цих двигунів є погіршення паливної економічності та екологічних показників в умовах експлуатації.

Надання послуг пасажирським автомобільним транспортом має виконуватися транспортними засобами, що забезпечують зручність, комфортність і безпеку перевезень та тісно поєднуватись із паливною економічністю та обмеженнями по забрудненню навколишнього середовища.

Доцільність перегляду вибору рухомого складу, з метою підвищення ефективності експлуатації автобусів на міських маршрутах, на прикладі м. Житомира, має бути поширена одночасно на всіх учасників транспортного процесу: пасажирів, перевізників та організаторів перевезень.

Ефективність експлуатації автобусів тісно пов'язана з проблемами організації перевезень у містах, серед яких основними є:

- формування маршрутної мережі;
- визначення необхідної кількості автобусів та їх місткості;
- розробка розкладу руху та узгодженість з єдиним координатором транспортної системи міста.

Правильний підхід до розв'язку даних проблем визначає ефективність, екологічність, паливну економічність роботи пасажирського автотранспорту та якість обслуговування пасажирів.

Це є те поєднання проблем на міському пасажирському автотранспорті, які протягом багатьох років не тільки не розв'язуються, а в значній мірі ускладнюються. На сьогодні маємо всі ресурси для забезпечення ефективної роботи автомобільних перевізників і надання якісних послуг.

### **Зв'язок роботи з науковими планами і програмами**

У січні 2016 року в Україні стартував проект технічної допомоги Європейського Союзу «Підтримка імплементації Угоди про асоціацію та Національної транспортної стратегії», де представлено Проект технічної допомоги «Підтримка Міністерству інфраструктури у реалізації

пріоритетних проєктів з розвитку міського пасажирського транспорту” (Support to the Ministry of Infrastructure for the Ukraine Urban Public Transport FL project”) і вбачається розробка, впровадження та моніторинг інвестиційного проєкту ЄІВ «Розвиток міського пасажирського транспорту в містах України» та сприяння розвитку національної політики в галузі міського пасажирського транспорту, покращення його регуляторного забезпечення та впровадження відповідних організаційних змін на центральному та місцевому рівнях відповідно до цілей викладених в Угоді про Асоціацію між Україною та ЄС від травня 2014 р.

Директива щодо СЕО(стратегічної екологічної оцінки) від грудня 2016р., з урахуванням «Стратегічного плану розвитку автомобільного транспорту та дорожнього господарства на період до 2020 року», передбачає визначення заходів із запобігання, зменшення або нейтралізації негативного впливу на навколишнє середовище, сприяти якісним і безпечним послугам громадського транспорту в міських поселеннях та надання якісних та ефективних послуг перевезень[8].

Дана робота є продовження дослідження з визначення параметрів пасажиропотоків в м. Житомирі та оцінки відповідностей техніко-експлуатаційних параметрів міських маршрутних автобусів, відповідно до договору співпраці між ЖДТУ та мерією №39/1 від 07 квітня 2016р.

#### **Аналіз основних досліджень та публікацій.**

Роботи, у яких проводились дослідження паливної економічності автомобілів та визначення екологічних показників, з урахуванням режимів руху автомобілів, можна розділити на наступні напрямлення:

- дослідження при сталому, несталому і циклічному режимі руху;
- дослідження впливу окремих факторів на паливно-екологічні показники;
- розробка методів оцінки паливної економічності як основний показник підвищення екологічних стандартів автомобіля.

Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В. та інші[12] запропонували розрахунки масових викидів шкідливих речовин здійснювати у три способи зважаючи на те, де відбувається експлуатація транспортного засобу, це проведення розрахунків із використанням питомих викидів *j*-ї шкідливої речовини з *одиноці маси* певного виду палива, спожитого автомобілем певного типу в умовах руху містом, *за усередненими* питомими викидами шкідливих речовин та із застосуванням *середнього питомого викиду* *j*-ї шкідливої речовини з *одиноці маси* витраченого палива певного виду. В усіх трьох випадках обов'язковим є врахування впливу технічного стану автомобіля на величину питомих викидів.

Автомобільні двигуни працюють у широкому діапазоні зміни навантажувальних та швидкісних режимів, які визначають умови руху автомобіля в транспортному потоці і відповідно є суттєвими джерелами забруднення довкілля в таких умовах.

Для оцінки забруднення навколишнього середовища викидами автомобілів при їх русі у різних експлуатаційних режимах, розроблені методики визначення кількості відпрацьованих газів в режимах: розгону(уповільнення), усталеного руху, гальмування двигуном(примусовий холостий хід) та активного холостого ходу[4,12].

У роботі [3] відзначено, щоб мати можливість максимально точно визначити рівень емісії шкідливих речовин з відпрацьованих газів, запропоновано випробовувати транспортний засіб за умов, які максимально наближені до умов експлуатації на моделюючому роликівому стенді у відповідності заданої програми, за визначеними Європейськими їздовими циклами.

Міські умови експлуатації досить точно описані Європейським їздовим циклом [2], який для КТЗ масою до 3,5 т включає в себе 16 режимів роботи автомобіля. Результуючими являються 6-9 режими, згруповані в табл.1

Таблиця 1. Витяг з операційної карти імітації міського циклу на стенді для КТЗ з масою до 3,5т.

№ пп	Режим роботи КТЗ	Прискорення, м/с <sup>2</sup>	Швидкість км/год.	Час,с	Застосована передача
1	Холостий хід	-	-	21	Н
2	Розгін	0,83	0...15	5	К1
	Перемикання передач	-	-	2	-
	Розгін	0,94	15...32	5	К2
3	Постійна швидкість	-	32	24	К2
4	Уповільнення	- 0,75	32...10	8	К2
	Уповільнення з виключенням зчепленням	-0,92	10...0	3	Н

Загальні підходи у вирішенні питання вибору пасажиромісткості автобуса і розгляду шляхів удосконалення роботи міського пасажирського транспорту набули сучасні математичні методи, які розширюють можливості використання моделювання в задачах аналізу, синтезу та експлуатації складних транспортних систем [18].

Значний вплив на паливну економічність і кількість викидів автомобілів чинять повнота використання пасажиромісткості, зменшення холостих пробігів та кваліфікація водія, як людський фактор. Про це свідчать дослідження [4,7,13].

В попередніх роботах по дослідженню проблеми організації пасажироперевезень в м. Житомирі проаналізовані та узагальнені основні проблеми роботи автобусів, визначено найбільш завантаженою вулицю Київську, узагальнені пріоритетні показники формування маршрутної автобусної мережі з порівнянням досвіду наукових робіт у цьому напрямку для інших міста України, визначена оцінка технічного рівня автобусів з урахуванням умов експлуатації, яка сприятиме вибору міського автобуса по основним технічним параметрам[5,6,9].

Проведеним дослідженням проблеми екологічності критичних по інтенсивності руху перехресть в м. Житомирі, розраховані накопичення викидів автотранспортних засобів на одному з найбільш навантаженому перехресті вул. М. Грушевського– вул. Небесної Сотні, свідчить про перевищення гранично допустимих концентрацій основних викидів CO, NO<sub>x</sub>, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, сажі, SO<sub>2</sub>, у рази[10].

Наявні основні методики оцінювання ефективності експлуатації міських автобусів не враховують особливості структури рухомого складу яка суттєво змінилась за останні роки, техніко-економічні а особливо екологічні характеристики сучасних автобусів, режими їх роботи на маршрутах в умовах сучасних транспортних потоках.

**Мета та задачі дослідження.** Метою роботи є підвищення паливної економічності та екологічності міського автобуса шляхом оптимального вибору його техніко-експлуатаційних параметрів відповідно до удосконалення режимів руху.

Раціональний вибір рухомого складу за основними технічними показниками впливає на ефективність використання та якість системи міських пасажирських перевезень і дає можливість повніше враховувати економічні інтереси перевізників за умови виконання факторів якості транспортного обслуговування.

Для досягнення мети дослідження, вирішуються наступні задачі:

1. Аналіз методик дослідження паливної економічності та екологічності колісних транспортних засобів.
2. Аналіз умов руху міських автобусів в м. Житомирі.
3. Дослідження пасажиропотоків на пасажирському транспорті міста Житомира.
4. Розробка методики вибору міського автобуса для заданих параметрів маршруту та середнього пасажиропотоку.
5. Дослідження паливної економічності та екологічних показників автобусів що використовуються на маршрутній мережі м. Житомира.
6. Вибір моделі міського автобуса з покращеними показниками паливної економічності та підвищеними екологічними стандартами для конкретних умов експлуатації.

**Наукова новизна** напрямку дослідження полягає в тому, що питання удосконалення паливної економічності та екологічних показників міських автобусів досліджується комплексно, в поєднанні з вибором експлуатаційних та технічних показників, за допомогою яких обґрунтовані параметри автобусів для конкретних умов експлуатації.



Запропоновано в доповнення до стандартного міського циклу три додаткові різновиди циклів руху автобусів, які при експериментальному дослідженні більш повно будуть відображати якісну та кількісну оцінку руху міського автобуса:

- початковий;
- середній;
- складний.

З урахуванням подальшого розвитку автомобільного транспорту необхідно вирішувати важливу соціальну і народногосподарську задачу-зниження шкідливих викидів автомобілів в експлуатаційний період.

#### Основна частина.

Особливістю руху автомобілів у міських умовах являється його циклічність і поряд з розгоном і сталим рухом, відповідно присутнє сповільнення за допомогою двигуна або гальмівної системи, повна зупинка.

Двигуни автобусів в населених пунктах при роботі на маршрутах до 26% часу працюють в режимах самостійного холостого ходу. Широке використання режимів малих навантажень, самостійного і примусового холостого ходу являється причиною викидів в атмосферу перш за все продуктів неповного згорання. Основні експлуатаційні режими -це несталі.

Аналіз досліджень показує, що режими розгону в залежності від умов експлуатації становлять 20..47%, сповільнення( коли двигун в основному працює на примусовому холостому ходу)-14...42%, сталі режими-10...43%. Для маршрутних автобусів режими роботи двигунів найбільш частіше використовуються частоти які становлять 40...65% номінальної потужності[4].

Керуючись нормативними документами, витрату палива автомобіля у міському циклі на дорозі, визначають шляхом дорожніх випробувань автомобіля.

З метою порівняльної характеристики паливної економічності міських автобусів, проводять розрахункове дослідження. Методику розрахунків і випробувань найбільш доцільно розглянути на підставі положень і вимог ГОСТ 20306-90 [2].

На рис.2 модельовано міський їздовий цикл на дорозі, що відображає залежність умовної швидкості руху автомобіля від пройденого шляху.

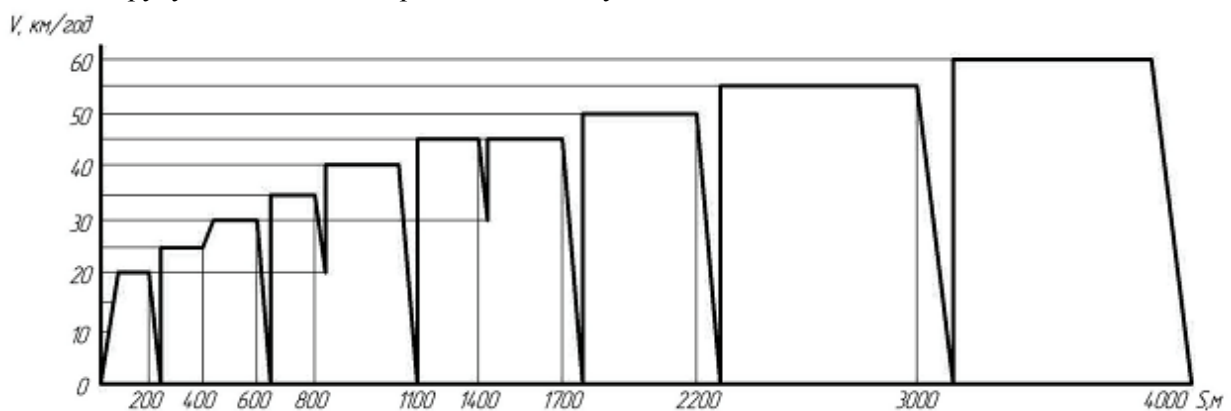


Рис.1. Схема міського їздового циклу для КТЗ повною масою до 3,5т

Дорожні ділянки для вимірювань витрати палива в міському циклі мають бути прямолінійними, горизонтальними, із цементно-або асфальто-бетонним гладким, сухим і чистим покриттям. Швидкісні режими руху нормуються операційною картою та графічною схемою усього циклу для кожного типу автомобіля. Характерним є включення до циклу типових фаз руху: розгін, усталена швидкість, сповільнення за допомогою двигуна або гальмівної системи, повна зупинка. Послідовне виконання названих фаз(операцій) встановлено через певні відстані шляху.

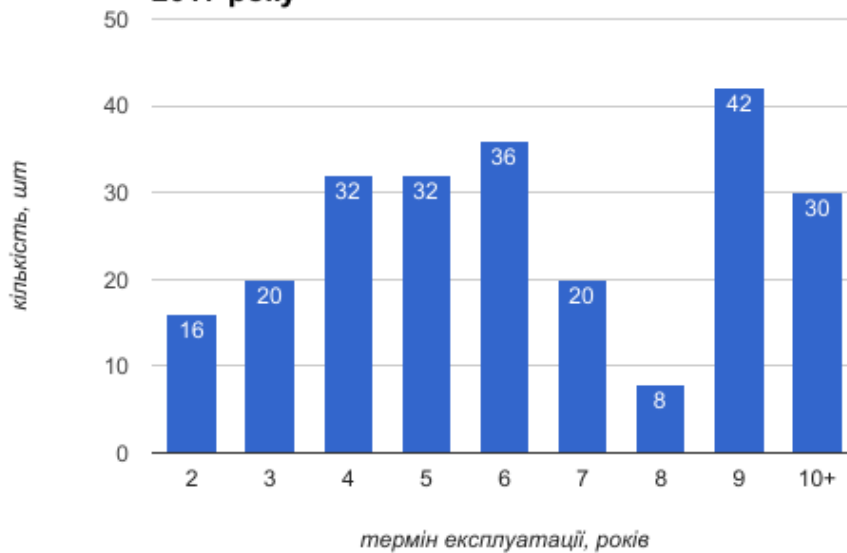
Витрата палива є тим визначальним параметром, який враховує вплив на економічність і токсичність роботи транспортного засобу багатьох експлуатаційних умов. Тому доречним є застосування методик, в яких розрахунки здійснюють за одним вихідним параметром, а саме за витратою палива.

Слід також враховувати наявність проблеми модернізації та удосконалення вулично-дорожньої мережі, організації раціональної схеми руху пасажирських і вантажних потоків магістралями міст.

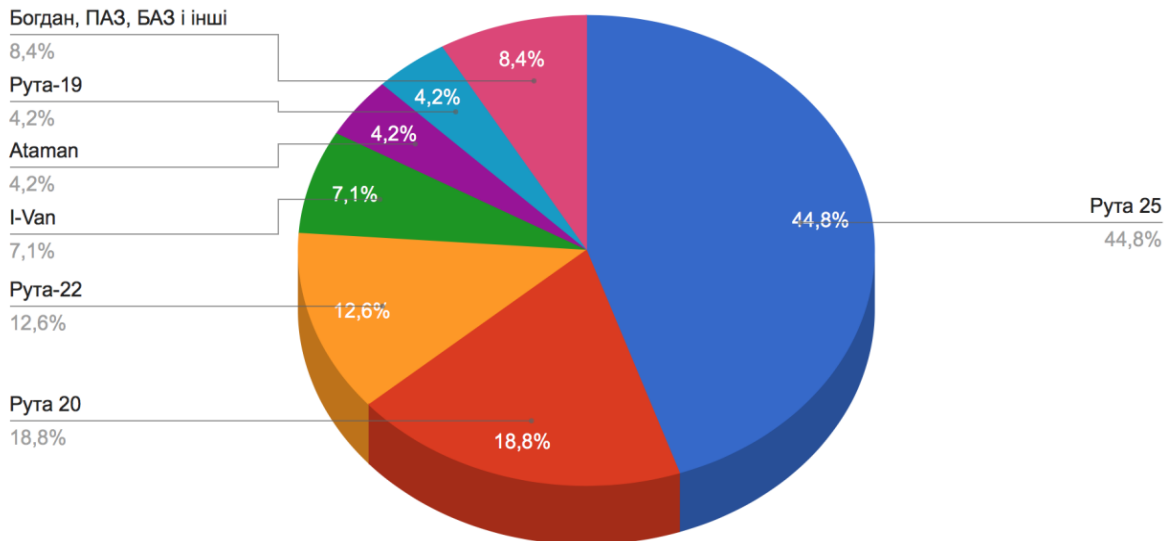
В зв'язку з цим, доцільно виділити основні напрямлення розвитку конструкції і покращання вихідних параметрів і характеристик міського автобуса, який не буде поступатися іноземним аналогам:

- підвищена продуктивність та якість перевезення;
- покращення паливної економічності;
- підвищення екологічних показників при експлуатації на маршруті;
- підвищення ступені відповідності соціальним вимогам;
- підвищення конструктивної безпеки;
- підвищення надійності .

**Кількість міських автобусів в м. Житомирі по терміну експлуатації, станом на 14 лютого 2017 року**



**Кількість міських автобусів в м. Житомирі по маркам, станом на 14 лютого 2017 року**



З проведених попередніх досліджень[5,6,9,10] свідчить, що утворення заторів на дорогах і перехрестях міста Житомира приводить до збільшення часу поїздки а це в свою чергу впливає на економічні показники роботи системи міського пасажирського транспорту так і на екологічні аспекти даної проблеми.

Міській системі пасажирського транспорту необхідна модернізація парку транспортних засобів, що дозволить підвищити якість обслуговування пасажирів і покращити економічні показники роботи транспортної системи. Нові автобуси мають більшу місткість, отже збільшиться наповненість автобусів, що особливо актуально в години найбільшої транспортної активності населення міста. Також слід врахувати, що перехід міських автобусів на моделі, які відповідають більш жорстким

екологічним вимогам, можуть знизити рівень викидів шкідливих речовин і відповідно підвищити відповідну ступінь комфорту перевезень.

Пошук умов оптимізації витрати палива міським автобусом доцільно проводити по трьом основним напрямкам:

1. Підбір серед наявних в експлуатації параметрів вітчизняних автобусів в оптимальному поєднанні з найкращою паливною економічністю.
2. Обґрунтування раціонального навантаження на автобус при якому показники витрати палива, в залежності від конкретних умов експлуатації, будуть оптимальними.
3. Встановлення ефективних режимів керування водієм роботою двигуна, трансмісії, гальмівної системи. Керований режим в кожний даний момент часу характеризують швидкість руху, положення складових подачі палива, вибрана передача трансмісії, гальмування двигуном, тиск повітря в шинах та т.і.

Слід відмітити що всі три напрямки оптимізації показників паливної економічності автобуса взаємопов'язані.

З метою обґрунтування вибору показників оптимізації досконалості конструкції автомобіля, паливну економічність за одну годину у різних експлуатаційних умовах, згідно з [11], розраховують:

$$Q_{\text{ГОД}} = \frac{q_e \times N_e}{1000}, \text{ кг/ГОД;} \quad (1.1)$$

де  $Q_{\text{ГОД}}$  - погодинна витрата палива, кг/год.;  
 $q_e$  – питома витрата палива, гр./кВт. год.;  
 $N_e$  – ефективна потужність, яку розвиває двигун, кВт.

$$N_e = \frac{G_a f_a V_a}{270 \gamma_{\text{ТР}}} \text{ гр./кВт. год.}, \quad (1.2)$$

де  $G_a$  – повна маса автомобіля, кг;  
 $f_a$  – коефіцієнт опору кочення;  
 $\gamma_{\text{ТР}}$  – ККД трансмісії.

Показником паливної економічності автомобіля служить контрольна витрата палива, тобто шляхові витрати на 100км шляху, який визначається експериментально як при рівномірному русі так і в режимі міського циклу.

$$Q_S = \frac{q_e \times N_e}{10 v_a \rho_{\text{П}}} \text{ , л/100км} \quad (1.3)$$

де,  $Q_S$  – витрати палива на 100км пробігу зі швидкістю  $V_a$ , л/100км;

$$Q_{SQ} = \frac{Q_S}{G_{\text{ГРнас}}} \text{ або } Q_P = \frac{Q_a}{W} = \frac{Q_a}{S_{\text{ГР}} G_{\text{ГРПАС}}}, \quad (1.4)$$

де,  $Q_{SQ}$  - витрати палива, віднесені до одиниці транспортної роботи, л/(пас.км);

$N_e$  – потужність, яку розвиває двигун, кВт;

$v_a$  - швидкість руху автомобіля, км/год;

$Q_a$  – абсолютна витрата палива, л;

$\rho_{\text{П}}$  – щільність палива, г/см<sup>3</sup>;

$W$  – об'єм транспортної роботи, пас.км

$G_{\text{ПАС}}$  – кількість перевезених пасажирів;

$S_{\text{ГР}}$  – пробіг автомобіля в навантаженому стані, км.

З приведених виразів видимі загальні напрямки оптимізації параметрів, які визначають витрати палива автомобілем:  $q_e$  – питома витрата палива завжди повинна прагнути до мінімуму; при заданій швидкості руху  $v_a$  і транспортній роботі  $W$  повинні бути мінімальними витрати потужності двигуна

$N_e$  або при заданій потужності, яку розвиває двигун, повинні бути максимальними швидкість  $v_a$  і транспортна робота  $W$  автомобіля.

Таким чином повинні виконуватись умови

$$g_e \rightarrow \min; N_e \rightarrow \min; v_a = \text{const}; W = \text{const}; \quad (1.5)$$

$$g_e \rightarrow \min; N_e \rightarrow \text{const}; v_a = \text{max}; W = \text{max}; \quad (1.6)$$

Досить поширена є методика для визначення ефективної питомої витрати палива[11]

$$g_e = g_N \times K_{об} \times K_{и} \quad (1.7)$$

де  $g_N$  – питома витрата палива при максимальній потужності двигуна, (г/кВт год.);

$K_{об}$  – коефіцієнт, який враховує зміни питомої витрати палива в залежності від частоти обертання колінчатого валу двигуна;

$K_{и}$  – коефіцієнт, який враховує зміни питомої витрати палива в залежності від ступені використання потужності двигуна;

Витрата палива на 100 км пройденого шляху не дозволяє правильно оцінити вплив корисного навантаження автомобіля на його паливну економічність, так як створюється враження, що автомобіля без навантаження має кращу паливну економічність, ніж з вантажем, тому що в нього витрата палива менша. Відповідно, правильніше оцінювати паливну економічність витратою палива, віднесеної до одиниці транспортної роботи (пасажиро-кілометрах), згідно формули:

$$Q_{тр} = \frac{1000 Q_s P_n}{m_b S_b} \quad (1.8)$$

де  $m_b$  – кількість перевезених пасажирів, кг,

$S_b$  – пробіг автомобіля з пасажирями, км

Розрахунок викидів шкідливих речовин із застосуванням середнього питомого виду  $J$  шкідливої речовини ( $g_{jci}$ ) з одиниці маси витраченого палива певного виду[12]:

$$M_j = \sum_{i=1}^m g_{jci} G_i K\tau 10^{-3}, \text{т} \quad (1.9)$$

де,  $G_i$  – кількість палива спожита під час пересування автомобіля в місті;

Обов'язковим є врахування коефіцієнта впливу технічного стану автомобілів на величину питомих викидів ( $K\tau$ ), табл. 2

Табл.2. – Значення коефіцієнтів впливу технічного стану автомобіля на питомі витрати шкідливих речовин (лише для автобусів)

Групи автомобілів	Значення коефіцієнту $K\tau$ для різних шкідливих речовин			
	CO	$C_m H_n$	$NO_x$	C
Автобуси з ДВЗ, які працюють на бензині та ЗНГ	1,7	1,8	0,9	-
Автобуси з дизельним двигуном	1,5	1,4	0,95	1,8
Автобуси з ДВЗ, які працюють на СПГ	1,7	1,8	0,9	-

Відомо, що погіршення технічного стану транспортного засобу спричиняє збільшення викидів продуктів неповного згорання: оксиду вуглецю CO і вуглеводнів  $C_m H_n$ , а також сажі C. Вміст оксидів азоту  $NO_x$  в такому випадку зменшується.

Усі головні параметри і критерії будуть в подальшому визначатись з отриманих даних науково дослідної роботи.

В межах поправок 06 до Правил ООН NO49 були встановлені вимоги до транспортних засобів категорій  $M_2$  та  $M_3$  в експлуатації. Згідно даних вимог, відповідність транспортних засобів чи двигунів, які знаходяться в експлуатації, підтверджується безпосередньо проведеними випробуваннями на дорозі у звичних режимах керування, умовах і при звичному навантаженні. Випробування на відповідність експлуатаційним вимогам повинно бути репрезативним для тих

транспортних засобів які експлуатуються на дорогах в реальній ситуації, умовах нормального навантаження і професійним водієм, який зазвичай керує даним транспортним засобом.

#### **Висновки.**

1. Проведене дослідження маршрутної пасажирської мережі м. Житомира свідчить, що на пасажирських маршрутах, в основному (до 80%) використовуються автобуси малої пасажиромісткості(категоріїМ2) із терміном експлуатації більше шести років, необґрунтовано частим інтервалом руху та неузгодженістю із режимами роботи інших маршрутів за тими ж напрямками.
2. Аналіз умов експлуатації та проведені дослідження пасажиропотоків показали, що автобуси працюють із значним (до 20-30%) перенавантаженням по пасажиромісткості. Такі не досконалі умови експлуатації призводять до погіршення паливної економічності транспортних засобів та екологічності міста.
3. Проаналізовано методики визначення паливної економічності транспортних засобів, що враховують як навантаження автобуса так і умови експлуатації.
4. Для розробки методики покращення паливної економічності та екологічності міського автобуса, необхідно провести класифікацію міських пасажирських маршрутів за експлуатаційними і організаційними характеристиками та розробити рекомендації щодо вибору параметрів автобуса відповідно до типу маршруту.

1. Біліченко В.В. Удосконалення роботи міських маршрутів шляхом вибору раціональної кількості та пасажиромісткості автобусів. //Вісник Житомирського державного технологічного університету.-№1-2012.

2. ГОСТ 20306-90 Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. М.Издательство стандартов,1991-31с.

3. Гутаревич Ю.Ф. Випробування двигунів внутрішнього згорання/ Гутаревич Ю.Ф.,Корпач А.О., Говорун А.Г. Випробування двигунів внутрішнього згорання. Навчальний посібник. Київ-2013-252с.

4. Гутаревич Ю.Ф. Снижение вредных выбросов автомобиля в эксплуатационных условиях./ Монография.Киев.1991-179с.

5. До питання вибору техніко-експлуатаційних параметрів автобусів для роботи на міських пасажирських маршрутах/ [Рудзинський В.В.,Маяк М.М., Мельничук С.В., Шумляківський В.П., Рафальський О.І.]. // Вісник Житомирського державного технологічного університету №1(76)-2016.с.138-142.

6. Дослідження стану пасажироперевезень в місті Житомирі, аналіз проблеми / [Рудзинський В.В., Мельничук С.В., Рафальський О.І., Шумляківський В.П.].-ЛНТУ.Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті-2014.-№2.с.117-122.

7. Маяк Н.М. Топливная экономичность автомобиля в сложных условиях движения. /Монография. Киев.1990-215с.

8. Міністерство інфраструктури України. [Електронний ресурс] / режим доступу:[mtu.gov.ua/timeline/Evrointegraciya.html](http://mtu.gov.ua/timeline/Evrointegraciya.html)

9. Обстеження пасажиропотоків на транспорті загального користування м. Житомир та оцінка основних техніко- експлуатаційних параметрів для вибору міських автобусів/ [Рудзинський В.В.,Маяк М.М., Мельничук С.В., Рафальський О.І., Чуйко С.П.]. //Вісник Житомирського державного технологічного університету №2(77)-2016р.с.6-12.

10.Титаренко В.Є. Дослідження екологічного стану транспортних перехресть за викидами автомобільних двигунів у місті Житомирі / В.Є. Титаренко, В.О.Нестеренко// Вісник Житомирського державного технологічного університету №2-2016. с.267-273.

11. Теория и конструкция автомобилей/ Иларионов В.А., Морин М.М., Сергеев Н.М., Фаробин Я.Е.- М. Машиностроение.1985-368с.

12. Екологія та автомобільний транспорт / [Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В, Говорун А.Г., Корпач А.О.,Мержиєвська Л.П.]. Київ «Артістей»-2008. -296с.

13. Экологические основы интеллектуальных транспортных систем/[В.В.Рудзинський, А.В. Ільченко, С.В.Мельничук, В.Е Титаренко, В.П.Шумляківський].- Житомир. ЖГТУ,2014,-176с.



## REFERENCES

1. Bilichenko V.V. [*Improving the work of urban routes by choosing a rational number and passenger capacity of buses.*] // Bulletin of the Zhytomyr State Technological University. -N1-2012.
2. GOST 20306-90 [*Motor vehicles. Fuel economy. Test methods*]. M. Industrial standards. 1991 – p. 31.
3. Hutarevich Yu.F. [*Tests of internal combustion engines*]/ Hutarevich Yu.F. Dorpach A. O., Hovorun A.G. [*Tests of internal combustion engines.*] Tutorial. Kyiv-2013- 252с.
4. Hutarevich Yu.F. [*Reduction of harmful emissions of the car under operating conditions.*] / Monograph. Kyiv. 1991- p. 179.
5. To the question of choice of technical and operational parameters of buses for work on city passenger routes / Rudzinsky V.V., Mayak M.M., Melnychuk S.V., Shumlyakovskiy V.P., Rafalskyi O.I. // [*Bulletin of the Zhytomyr State Technological University №1 (76)*] - 2016. p.138-142.
6. Investigation of the state of passenger traffic in Zhytomyr, analysis of the problem / [Rudzinsky B.V., Melnichuk S.V., Rafalsky O.I., Shumlyakovskiy V.P.] .- LNTU. [*Modern technologies in mechanical engineering and transport-2014.-№2.* p.117-122.
7. Mayak N.M. [*Fuel economy of the car in difficult traffic conditions.*] / Monograph. Kiev 1990- p. 215.
8. Ministry of Infrastructure of Ukraine. [*Electronic resource*] / access mode: [www.mtu.gov.ua/timeline/Evointegraciva.html](http://www.mtu.gov.ua/timeline/Evointegraciva.html)
9. Survey of passenger traffic on public transport in Zhytomyr and assessment of basic technical and operational parameters for the selection of city buses / [Rudzynskiy V.V., Mayak M.M., Melnychuk S.V., Rafalskyi O.H., Chuiko S. P.]. // [*Bulletin of the Zhytomyr State Technological University № 2 (77)*] -2016 p. 6-12.
10. Titarenko V.E. [*Investigation of the ecological state of transport junctions in the emissions of automobile engines in the city of Zhytomyr*] / Titarenko V.Ye., Nesterenko V.O. // Bulletin of Zhytomyr State Technological University №2-2016. p. 267-273.
11. Theory and design of automobiles/Hilarionov V.A., Morin M.M., Sergeev NM, Farobin Ya.E.-[*M. Machine-building.*] 1985-368с.
12. Ecology and road transport / [Hutarevich Yu.F., Zerkalov D.V., Hovorun AG, Korpach A.O., Mergzhevskaya L.P.]. Kyiv "Artists" -2008. -296s.
13. Ecological bases of intelligent transport systems / [V.V.Rudzynskiy, A.V. Ilchenko, S.V.Melnichuk, V.E. Titarenko, V.P. Shumlyakovskiy] .- *Zhytomyr. ZHSTU*, 2014, -p. 176.

**Мельничук С.В., Чуйко С.П., Рафальський А.І. Повышение топливной экономичности и экологических показателей городского автобуса путем оптимизации параметров и режимов движения. Постановка проблемы.**

Надежная и эффективная работа пассажирского общественного транспорта в городах является одним из важнейших показателей социальной и экономической стабильности государства, не должна угрожать безопасности жизни и здоровью пассажиров и окружающей среде.

Выбрана эффективная методика анализа топливной экономичности и экологических показателей городских автобусов. Определены проблемы в организации транспортной системы, факторы влияющие на повышение уровня загрязнения окружающей среды и сформированы новые технические направления решения усовершенствования эффективности эксплуатации городских автобусов. Дается оценка показателей городской маршрутной сети которая позволяет совершенствованию рациональной структуры парка подвижного состава для работы на маршрутах.

**Ключевые слова:** маршрутная сеть, городской автобус, экологическая безопасность, топливная экономичность, колесное транспортное средство.

**Melnichuk C.B., Chuiko S.P., Rafalskyi A.I. Increasing fuel economy and environmental indicators of the city bus by optimizing parameters and modes of movement. Statement of problem.**

Reliable and efficient work of passenger public transport in cities is one of the most important indicators of social and economic stability of the state, should not endanger the safety of life and health of passengers and the environment.

An effective method for analyzing fuel economy and environmental indicators of city buses is chosen. Problems in the organization of the transport system, factors influencing the increase of the level of pollution of the environment are determined, and new technical directions of the solution for improving the efficiency of the

operation of city buses have been formed. The estimation of indicators of the city route network is given which allows to improve the rational structure of the fleet of the rolling stock for work on routes.

**Keywords:** route network, city bus, ecological safety, fuel economy, wheeled vehicle.

**АВТОРИ:**

*МЕЛЬНИЧУК Сергій Володимирович*, кандидат технічних наук, професор кафедри автомобілів і механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету, e-mail: [sergil@mail.ru](mailto:sergil@mail.ru)

*ЧУЙКО Сергій Петрович*, аспірант кафедри автомобілів і механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету, e-mail: [expertauto@ukr.net](mailto:expertauto@ukr.net)

*РАФАЛЬСЬКИЙ Олексій Ігорович*, асистент кафедри автомобілів і механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

**АВТОРЫ:**

*МЕЛЬНИЧУК Сергей Владимирович*, к.т.н., профессор кафедры автомобилей и механики технических систем Житомирского государственного технологического университета, e-mail: [sergil@mail.ru](mailto:sergil@mail.ru)

*ЧУЙКО Сергей Петрович*, аспирант кафедры автомобилей и механики технических систем Житомирского государственного технологического университета, e-mail: [expertauto@ukr.net](mailto:expertauto@ukr.net)

*РАФАЛЬСКИЙ Алексей Игоревич*, ассистент кафедры автомобилей и механики технических систем Житомирского государственного технологического университета

**AUTHORS:**

*MELNYCHUK Serhii Volodymyrovych*, Ph.D., Professor, Department of Automobile and Mechanics of Technical Systems of Zhytomyr State Technological University, e-mail: [sergii@mail.ru](mailto:sergii@mail.ru)

*CHUIKO Serhii Petrovych*, postgraduate student of the Department of Automobile and Mechanics of Technical Systems of Zhytomyr State Technological University, e-mail: [expertauto@ukr.net](mailto:expertauto@ukr.net)

*RAFALSKYI Andrey Ivanovich*, assistant of the Department of Automobile and Mechanics of Technical Systems of Zhytomyr State Technological University

Стаття надійшла в редакцію 30.04.2017 р.

Мошковський С.О., Павлюк В.І., Дембіцький В.М.  
*Луцький національний технічний університет*

## КОРИГУВАННЯ ПИТОМИХ ТРУДОМІСТКОСТЕЙ ТО і РЕМОНТУ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ ПІД ЧАС ТЕХНОЛОГІЧНОГО РОЗРАХУНКУ СТО

Проведено дослідження деяких особливостей процесу формування величини питомих трудомісток технічного обслуговування і ремонту легкових автомобілів, для технологічного проектування міських станцій технічного обслуговування. Вказано на потребу істотного коригування питомих трудомісток вказаних у нормах технологічного проектування відповідно до сучасних вимог. Визначено ступінь впливу на питомі трудомістки ТО і ремонту чинників, що коригують їх величину. Запропоновано у технологічний розрахунок станцій технічного обслуговування ввести додатковий узагальнюючий коефіцієнт коригування величин питомих трудомісток, що враховуватиме рівень технічної та технологічної досконалості автомобіля і технологічного обладнання, рівень механізації робіт та якість організації виробництва.

**Ключові слова:** станція технічного обслуговування, норматив, питомі трудомістки, коригування.

**Постановка проблеми.** Безпека дорожнього руху, ефективна робота автомобільного транспорту, безпосередньо залежать як від стосунків учасників процесів так і від конструкційної досконалості автомобілів та якості їх технічного обслуговування і ремонту. Частка робіт з обслуговування чи ремонту автомобіля, доволі складного за технічним рівнем, що можуть виконуватися власником транспортного засобу самостійно чи із залученням інших осіб, постійно зменшується. Таким чином, кваліфіковане сервісне обслуговування, сучасного автомобіля є необхідною умовою та вимогою часу.

Допустимі значення нормативів на обслуговування та ремонт, вказаних в ОНТП-01-91 [1] суттєво відрізняються від нормативів на технічне обслуговування, які наводяться в технічній документації на сучасні автомобілі [2]. Отже, для технологічного розрахунку, під час проектування нових чи реконструкції існуючих станцій технічного обслуговування, виникає потреба раціонального вибору величини питомих трудомісток технічного обслуговування і ремонту легкових автомобілів, шляхом коригування їх нормативних значень, чим підтверджується актуальність такого дослідження.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Під час проектування міських СТО, для визначення їх необхідної потужності, часто використовують існуючу методичку визначення кількості робочих постів за річним об'ємом робіт і питомими трудомістками технічного обслуговування та ремонту парку легкових автомобілів на 1000 км їх пробігу [3, 4, 5], використовуючи відкорговані значення нормативів [1]. У згаданих нормах технологічного проектування вказані граничні значення питомих трудомісток для різних класів легкових автомобілів та коефіцієнти коригування залежно від розмірів СТО та кліматичних районів експлуатації транспортних засобів.

Результатами проведених досліджень [6 – 9] підтверджене значне зменшення трудозатрат на ТО і ремонт автомобіля пов'язане з удосконаленням конструкції автомобіля і технологічного обладнання, рівнем механізації робіт та покращенням організації виробництва.

**Метою роботи** є визначення ступеня впливу основних коригуючих чинників, на величину питомих трудомісток ТО і ремонту автомобілів для покращення технологічного розрахунку станцій технічного обслуговування.

### **Результати досліджень.**

Вплив на величину питомої трудомістки кількості робочих постів СТО, що визначає її потужність [3], характеризується коефіцієнтом  $K_{II}$  – коригування питомої трудомістки ТО і ремонту легкових автомобілів від попередньо визначеної орієнтовної кількості  $P_p$  робочих постів СТО. Залежно від кількості постів цей коефіцієнт може приймати значення від 1,05 до 0,80 [1, 3, 4]. Питома трудомісткість не підлягає коригуванню для кількості постів від 6 до 10 ( $K_{II} = 1,00$ ). Збільшення трудомістки на 5% спостерігається при зменшенні кількості робочих постів (для малих СТО). Збільшення кількості робочих постів, а відтак і потужності станції призводить до пропорційного зменшення питомої трудомістки. Для найбільшої кількості постів надвеликих станцій таке зменшення становить 20%.

За наведеними даними питомих трудомісткостей ТО і ремонту легкових автомобілів різних класів у нормах ОНТП-АТП-СТО-80 [5] розраховано коефіцієнти коригування питомих трудомісткостей ТО і ремонту (рис.1) залежно від потужності СТО, для проведення порівняльного аналізу з коефіцієнтами за ОНТП-01-91 [1] (рис.2).

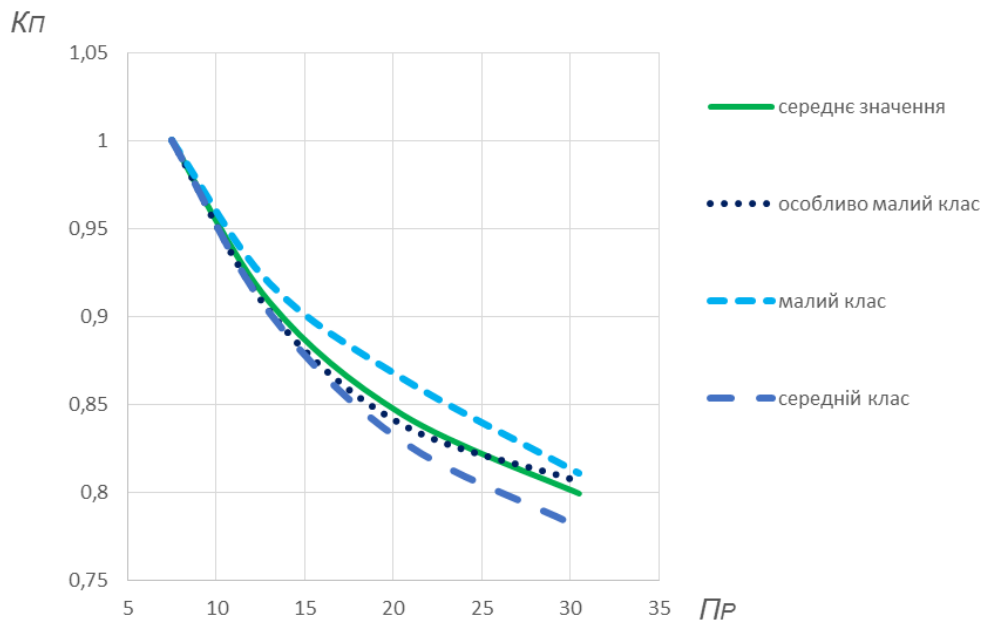


Рисунок 1 – Залежність величини коефіцієнта коригування  $K_p$  від кількості робочих постів  $P_p$  (потужності СТО) для різних класів легкових автомобілів за ОНТП-АТП-СТО-80

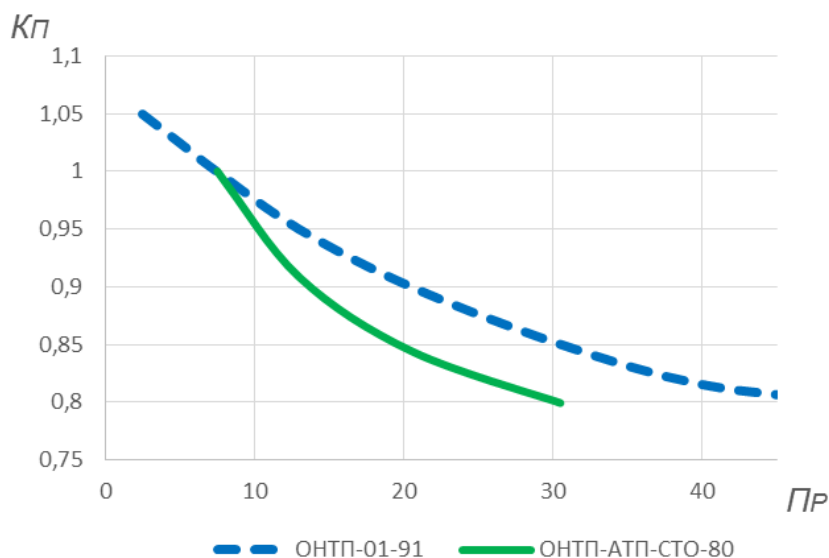


Рисунок 2 – До порівняння величини коефіцієнтів коригування  $K_p$

Значення розрахованих коефіцієнтів  $K_p$  за даними ОНТП-АТП-СТО-80 (рис. 1) для різних класів легкових автомобілів, відрізняються не більше ніж на 4,5%. Тому для подальшого порівняння величин коефіцієнтів (рис. 2) приймається середнє значення для вказаних класів автомобіля (рис. 1). Зі зміною редакції норм на проектування переглянуті величини питомих трудомісткостей ТО і ремонту для всіх класів легкових автомобілів в сторону зменшення. Максимальне відхилення значень коефіцієнтів досягає 9%. Характеристика зміни коефіцієнта  $K_p$  від кількості робочих постів (рис. 2), вказує на меншу його залежність від потужності СТО за даними ОНТП-01-91. Доцільно припустити, що узгодження нормативних вимог з умовами сьогодення, призведе до зменшення норм питомих трудомісткостей ТО і ремонту автомобілів та відповідної зміни коефіцієнтів коригування.

Природо-кліматичні умови експлуатації автомобілів на величину трудомісткостей ТО і ремонту, для нашої країни, впливають менше. Так для помірно-теплих, теплих вологих коефіцієнт коригування  $K_K = 0,9$ , а для жарких сухих, помірно холодних районів –  $K_K = 1,1$ . Для холодних і дуже холодних (що нехарактерно для нашого регіону) відповідно  $K_K = 1,2$  та  $K_K = 1,3$  [1, 4]. Не коригується трудомісткість для помірних районів  $K_K = 1,0$ . Таким чином для помірно-холодних, помірно-теплих та теплих вологих кліматичних районів трудомісткість може змінюватися на 10% у порівнянні з помірними районами.

Одночасна зміна трудомісткостей від вище наведених чинників становитиме менше 30%, (максимум для холодних регіонів до 40%).

Для підтвердження і доповнення результатів дослідження, наведених у роботі [8], опрацьовано дані трудомісткостей на технічне обслуговування оновленого ряду модифікацій легкових автомобілів (понад 650 модифікацій), взятих з інформаційної бази даних Autodata. Питомі трудомісткості технічного обслуговування і ремонту легкових автомобілів, отримані як приведені на 1000 км пробігу, з врахуванням триразового збільшення трудомісткостей ТО – приймаючи значення трудозатрат на поточний ремонт [8]. Проведеними додатковими дослідженнями встановлено, що відхилення величини розрахованих питомих трудомісткостей малого та середнього класів легкових автомобілів за робочим об'ємом двигуна, представлених у вибірці найбільшою кількістю автомобілів, становить 8%. Загалом для різних класів легкових автомобілів таке відхилення (через малу вибірку представників особливо-малого та великого класів) сягає до 22%, для порівняння питомих трудомісткостей для трьох класів вказаних у нормах, відповідно – 32% за ОНТП-АТП-СТО-80 та 35% – ОНТП-01-91.

Аналізуючи питомі трудомісткості ТО і ремонту розраховані на основі реальних значень трудомісткостей, якими користуються фірмові СТО визначено, що вони можуть бути меншими на 75 – 85%, ніж зазначені в нормах на проектування [1] 91-го року. Значна різниця значень питомих трудомісткостей зумовлена, у першу чергу, технічною та технологічною досконалістю автомобілів і технологічного обладнання, високим рівнем механізації робіт та інформаційного забезпечення, якістю фірмового сервісу.

Для технологічного розрахунку нових та реконструкції існуючих підприємств автосервісу пропонується ввести додатковий узагальнюючий коефіцієнт  $K_D$ , коригування величин питомих трудомісткостей, що враховуватиме рівень технічної та технологічної досконалості автомобіля і технологічного обладнання, рівень механізації робіт та якість організації виробництва. Величина такого коефіцієнта може бути представлена широким інтервалом значень  $K_D = 0,15 – 1,00$ .

Найбільше значення  $K_D = 1,00$  відповідає умовам зазначеним у ОНТП-01-91, зокрема рівень механізації процесів не нижчі для повнооб'ємного технічного обслуговування 25 – 30% та ремонту – 20 – 25%. Питома частка працюючих, що заняті ручною працею, в цілому на СТО не перевищує 70 – 80% [1].

Найменше значення цього коефіцієнта попередньо приймається за вищенаведеним аналізом результатів, отриманих на основі обробки статистичних даних трудомісткостей на ТО та з урахуванням трудозатрат на поточний ремонт автомобілів. За найсприятливіших умов, а саме авторизоване сервісне обслуговування технічно і технологічно досконалого автомобіля з максимальним рівнем механізації виробничих процесів та відповідною кваліфікацією виконавців, кількісне значення коефіцієнта становитиме  $K_D = 0,15 – 0,25$ .

Скориставшись наведеними даними у літературних джерелах та рекомендаціями [9] доцільно припустити, що вказані величини коефіцієнта  $K_D$  можливо отримати з врахуванням зменшення на 40 – 60% трудомісткості на ТО і ремонт при забезпеченні необхідним технологічним обладнанням, зменшенню трудових затрат на 15 – 20% враховуючи експлуатаційну технологічність та конструкційну досконалість сучасного автомобіля та досягненні рівня механізації більше 40%. Слід зауважити, що для кожного з підприємств автотранспорту є оптимальний рівень механізації процесів ТО і ремонту автомобілів прагнення досягти якого має економічну доцільність, з точки зору отримання прибутку з виробництва. Підвищуючи рівень механізації для СТО різної потужності варто врахувати те, що при механізації операцій з ТО і поточного ремонту спостерігається закон спадаючої ефективності [9], тобто зниження темпів приросту прибутку з підвищенням рівня механізації.

Отже, найбільший вплив на величину питомих трудомісткостей ТО і ремонту під час технологічного розрахунку СТО матимуть конструкційна досконалість та експлуатаційна технологічність автомобілів, стан ВТБ з високо-технологічним обладнанням та інформаційним забезпеченням, рівень механізації технологічних процесів з ТО і ремонту. Врахування цих факторів призводить до значного зменшення питомих трудомісткостей – близько 80% (рис. 3).



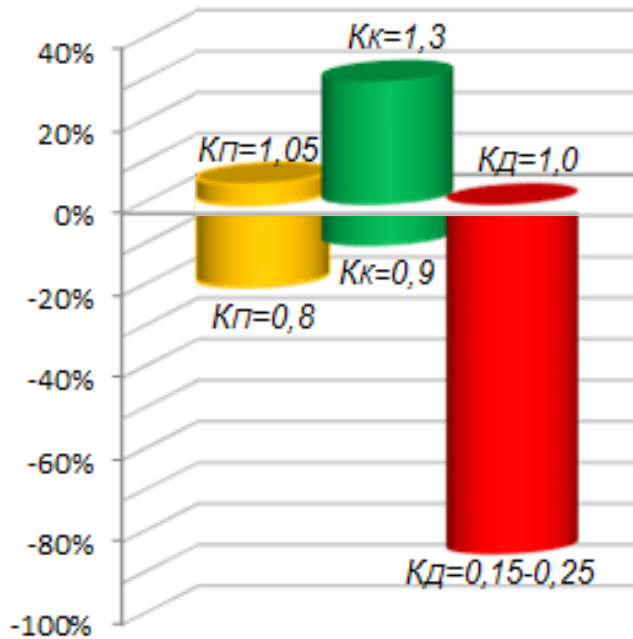


Рисунок 3 – Ступінь впливу основних чинників, що визначають величину питомих трудомісткостей ТО і ремонту легкових автомобілів та відповідні коефіцієнти коригування

Загалом же, дослідження величини впливу кожного зі згаданих факторів (рівень механізації, інформаційне забезпечення та ін.) на величину питомих трудомісткостей потребує проведення додаткових досліджень.

**Висновки.** Проведені дослідження вказують на потребу обґрунтування величини питомих трудомісткостей технічного обслуговування і ремонту легкових автомобілів під час технологічного розрахунку СТО для сучасного парку транспортних засобів. Результатами досліджень підтверджено значне зменшення трудомісткості ТО і ремонту, яке визначає необхідність додаткового коригування нормативів, що не суперечить встановленим вимогам на проектування. Запропоновано введення додаткового узагальнюючого коефіцієнта коригування питомих трудомісткостей у технологічний розрахунок СТО та визначено інтервал його значень. Проаналізовано ступінь впливу основних чинників на величину досліджуваної трудомісткості та вказано на потребу продовження досліджень на визначення ваги окремих факторів, що характеризують запропонований коефіцієнт коригування.

1. ОНТП-01-91 [Електронний ресурс]. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта. Минавтотранс РСФСР – М.: Росавтотранс, 1991. URL: <http://ventportal.com/ua/node/468>.

2. Нормативы трудоемкости [Електронний ресурс]. Нормативы [www.autodata-group.com](http://www.autodata-group.com). URL: <https://workshop.autodata-group.com/login>

3. Марков О.Д. Станции технического обслуживания автомобилей / О.Д. Марков. К.: Кондор, 2008. – 536 с.

4. Болбас М.М. Проектирование предприятий автомобильного транспорта: учебник / М.М. Болбас [и др.]; под ред. М.М. Болбаса. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2004. – 528 с.

5. Напольський Г.М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания: Учеб. для вузов. – М.: Транспорт, 1985. – 231 с.

6. Лукин В.П. Закономерности формирования производительности и пропускной способности средств автообслуживания. / В.П. Лукин, В.М. Власов – М.: МАДИ, 1987. – 64 с.

7. Ощепков П.П. Модель расчёта трудоёмкости работ по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей [Електронний ресурс] / П.П. Ощепков, М.Ю. Храпова // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №3 (2016) URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/60TVN316.pdf>

8. Павлюк В. І. Питомі трудомісткості обслуговування легкових автомобілів фірмовими СТО / В. І. Павлюк // Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип. : Автомобіле- та тракторобудування. – Харків : НТУ "ХПІ". – 2015. – № 9 (1118). – С. 92 – 97. URL: [http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/14981/1/vestnik\\_HPI\\_2015\\_9\\_Pavliuk\\_Pytomi\\_trudomistkosti.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/14981/1/vestnik_HPI_2015_9_Pavliuk_Pytomi_trudomistkosti.pdf).

9. Сарбаев В.И. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: механизация и экологическая безопасность производственных процессов / В.И. Сарбаев, С.С. Селиванов, В.Н. Коноплев, Ю.Н. Демин // Серия «Учебники, учебные пособия». – Ростов н/Д: «Феникс», 2004. – 448 с.

## REFERENCES

1. ОНТП-01-91 (1991). *All-Union Norms for Technological Design of Automobile Transport Enterprises* [ОНТП-01-91. *Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта*]. Minavtotrans RSFSR. Moscow, Rosavtotrans. URL: <http://ventportal.com/ua/node/468>.
2. *Standards of labor intensity. [Normativy trudoemkosti]. Standards [Normativy]* www.autodata-group.com. URL: <https://workshop.autodata-group.com/login>.
3. Markov, O. (2008). *Service station. [Stancii tehničeskogo obsluzhivaniya avtomobilej]*. Kiev, Publ. Kondor, 536 p.
4. Bolbas, M. (2004). *Designing of the enterprises of automobile transport: Textbook [Proektirovanie predpriyatij avtomobilnogo transporta: uchebnik]*. Minsk, Publ. Adukacyja i vyhavanje, 528 p.
5. Napol'skiy, G. (1985). *Technological Designing vehicles and stations of technical enterprises of service: Textbook. for high schools [Tehnologičeskoe proektirovanie avtotransportnih predpriyatij i stancij tehničeskogo obsluzhivaniya: Ucheb. dlja vuzov]*. Moscow, Publ. Transport, 231 p.
6. Lukin, V., Vlasov, V. (1987). *Regularities in the formation of productivity and throughput of auto-care facilities [Zakonomernosti formirovanija proizvoditelnosti i propuskoj sposobnosti sredstv avtoobsluzhivaniya]*. Moscow, MADI, 64p.
7. Ocshepkov P., Hrapova M. (2016). *The model for calculating the laboriousness of works on maintenance and repair of cars. [Model raschjota trudojmkosti rabot po tehničeskomu obsluzhivaniju i remontu avtomobilej] . Internet-journal "Naukovedy" Volume 8, №3 [Internet-zhurnal «NAUKOVEDENIE» Tom 8, №3]* URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/60TVN316.pdf>
8. Pavljuk, V. (2015). *The specific labour input in maintenance of passengers cars by Brand Service Stations [Pitomi trudomistkosti obslugovuvannja legkovih avtomobiliv firmovimi STO] / V. I. Pavlyuk // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Car- and tractorbuilding. – Kharkiv : NTU "KhPI", 2015. – № 9 (1118). – P. 92–97. URL: [http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/14981/1/vestnik\\_HPI\\_2015\\_9\\_Pavliuk\\_Pitomi\\_trudomistkosti.pdf](http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/14981/1/vestnik_HPI_2015_9_Pavliuk_Pitomi_trudomistkosti.pdf).*
9. Sarbaev, V., Selivanov, S., Konoplev, V., Demin, Ju. (2004). *Maintenance and repair of vehicles: mechanization and environmental safety of production processes [Tehnicheskoe obsluzhivanie i remont avtomobilej: mehanizacija i ekologičeskaja bezopasnost proizvodstvennyh processov]* [Serija «Uchebniki, uchebnye posobija]. Rostov on/D. Publ. «Feniks», 448 p.

**Мошковський С.А., Павлюк В.І., Дембіцький В.М., Корректирование удельной трудоемкости ТО и ремонта легковых автомобилей во время технологического расчета СТО.**

Проведено дослідження деяких особливостей процесу формування величини удельної трудоемкости технічного обслуговування і ремонту легкових автомобілів, для технологічного проектування міських станцій технічного обслуговування. Указано на необхідність суттєвої корекції удельних трудоемкостей указаних в нормах технологічного проектування в відповідності з сучасними вимогами. Визначено ступінь впливу на удельні трудоемкости ТО і ремонту факторів, які коректують їх величину. Предложено в технологічний розрахунок станцій технічного обслуговування ввести додатковий узагальнюючий коефіцієнт корекції величин удельної трудоемкости, який буде враховувати рівень технічного і технологічного досконалості автомобіля і технологічного обладнання, рівень механізації робіт і якість організації виробництва.

**Ключевые слова:** станція технічного обслуговування, норматив, удельні трудоемкости, коректування.

**S. Moshkovskiy, V. Pavliuk., V. Dembitskiy, Correct the specific labour intensities of motor cars servicing and repair for the technological designing of the maintenance and service stations.**

There was made a research of some specialties of the generation process of the value of specific labour intensities of motor cars servicing and repair, for the technological designing of the city maintenance and service stations. This issue has analysed the standards of labour input in maintenance and repair of passengers cars. The labour input in maintenance and repair of passengers cars is given for different car classes. The received values of labour input are lower than the defined ones in the legal normative documents in our country. There was shown the necessity to correct essentially the specific labour intensities, indicated in the rules of technological designing in accordance with contemporary requirements. There was found the influence degree on the specific labour intensities of servicing and repair of the factors which correct their value. There was proposed to add, to the technological calculating of the maintenance and service stations, the additional resumptive coefficient of the specific labour intensities values correction which will take into consideration the level of technical and technological perfection of the vehicle and technological equipment, the level of works mechanization and production organisation quality. The results of made decisions can be used in constructing service stations.

**Key words:** maintenance and service station, standard, specific labour intensities, correct.

**АВТОРИ:**

**МОШКОВСЬКИЙ Сергій Олексійович**, магістр, кафедра автомобілів і транспортних технологій, Луцький НТУ, e-mail: [moshkovskiy94@gmail.com](mailto:moshkovskiy94@gmail.com)

**ПАВЛЮК Василь Іванович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький НТУ, e-mail: [wasilijpi@mail.ru](mailto:wasilijpi@mail.ru)

**ДЕМБІЦЬКИЙ Валерій Миколайович**, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри автомобілів і транспортних технологій, Луцький НТУ, e-mail: [dvm2@meta.ua](mailto:dvm2@meta.ua)

**АВТОРЫ:**

**МОШКОВСКИЙ Сергей Алексеевич**, магистр, кафедра автомобилей и транспортных технологий, Луцкий НТУ, e-mail: [moshkovskiy94@gmail.com](mailto:moshkovskiy94@gmail.com)

**ПАВЛЮК Василий Иванович**, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и транспортных технологий, Луцкий НТУ, e-mail: [wasilijpi@mail.ru](mailto:wasilijpi@mail.ru)

**ДЕМБИЦКИЙ Валерий Николаевич**, кандидат технических наук, старший преподаватель

кафедры автомобилей и транспортных технологий, Луцкий НТУ, e-mail : [dvm2@meta.ua](mailto:dvm2@meta.ua)

AUTHORS:

*Serhii MOSHKOVSKYI*, Master of Engineering, Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: [moshkovskiy94@gmail.com](mailto:moshkovskiy94@gmail.com)

*Vasyl PAVLIUK*, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: [wasilijpi@mail.ru](mailto:wasilijpi@mail.ru)

*Valerii DEMBITSKYI* PhD. in Engineering, senior lecturer of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: [dvm2@meta.ua](mailto:dvm2@meta.ua)

Стаття надійшла в редакцію 29.05.2017р.

Муравинець Ю. В., Селезньов Д. Е.  
Луцький національний технічний університет

## НАУКОВІ ПЕРЕДУМОВИ УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРВИННОЇ ПЕРЕРОБКИ ТРЕСТИ ЛЬОНУ

Проаналізовано процес первинної переробки трести з метою виявлення причин виникнення втрат довгого волокна у ході первинної переробки трести. З цією метою здійснена формалізація технологічного процесу переробки лляної трести, що дозволило визначити множину факторів впливу на параметри окремих технологічних операцій процесу первинної переробки лляної трести та обґрунтувати напрями удосконалення обладнання. Виконана оцінка деяких показників льоносолом та льонотрести.

**Ключові слова:** первинна переробка, лляна треста, формалізація, довге волокно, льоносировина, м'яльно-тіпальні агрегати, льон-довгунець, волокно.

**Постановка проблеми.** В умовах Полісся льонарство – суттєвий елемент системи ведення агропромислового виробництва. Ця система повинна мати свої особливості, що забезпечать її ефективне функціонування. Виробництво льоносировини в сучасних умовах може позитивно впливати на економічну, соціальну та екологічну ситуацію системи земледення та загального розвитку агропромислових підприємств.

**Мета роботи.** Розробити наукові засади економічної та виробничо-аграрної структури, які б сприяли організації господарств, що спеціалізуються не лише на вирощуванні льону-довгунця, а й на переробці лляної трести з метою отримання волокна. Основою організації господарств є наявне обладнання, яке повинне модернізуватись з метою підвищення ефективності використання.

Організація комплексних льоносіючих і переробних господарств повинна базуватись на наступних положеннях:

- 1) об'єм посівних площ повинен відповідати поточним вимогам господарства і попиту внутрішнього та зовнішнього ринків;
- 2) задачею господарства є отримання високих врожаїв лляної соломки з урахуванням можливостей забезпечення її вилежування у тресту максимально можливої високої якості навіть за несприятливих агрокліматичних умов;

В умовах сучасного розвитку агропромислового комплексу України та низького рівня розвитку спеціалізованих підприємств первинної переробки льону, доцільно здійснювати в одному спеціалізованому господарстві наступні етапи: товарне виробництво репродукційного насіння; вирощування льону; отримання трести; зберігання трести та її первинну переробку. Для досягнення основної мети дослідження необхідно було вирішити такі задачі:

- проаналізувати найважливіші технологічні операції процесу первинної переробки льону-довгунця та технічні засоби для його здійснення, виявити його недоліки, а також з'ясувати сутність недосліджених явищ, що відбуваються під час процесу тіпання;
- розробити наукові передумови модернізації обладнання для первинної переробки льону;
- виконати теоретичні дослідження процесу м'яття з метою обґрунтування раціональних геометричних параметрів рифлів м'яльних вальців і забезпечення оптимального натягу віток пасма;
- дослідити вплив роботи затискного транспортера м'яльно-тіпального агрегату на вихід і якість волокна та розробити напрями його удосконалення з метою оптимізації параметрів процесу тіпання;
- удосконалити технологічну операцію розмотування рулонів, базуючись на результатах експериментальних досліджень та розробити удосконалену конструкцію розмотувача рулонів з метою підвищення ефективності даної операції;
- обґрунтувати напрями удосконалення м'яльних вальців з метою підвищення ефективності процесу м'яття;
- визначити параметри удосконаленого технологічного процесу первинної переробки льону;
- обґрунтувати економічну доцільність впровадження удосконаленої технології первинної переробки трести льону-довгунця.

Первинна переробка лляної продукції потребує наявності відповідного обладнання.

Питання ефективного функціонування підприємств первинної переробки лляної сировини повинні вирішуватись за рахунок використання низькотоннажного обладнання.

Ефективність роботи підприємств по переробці льону і збільшення об'ємів виробництва довгого волокна, в значній мірі, залежить від оптимізації технологічних режимів процесу переробки льону; дослідження взаємодії робочих органів машин з льоном та виявлення впливів цієї взаємодії на параметри машини та технологічного процесу.

Широкого застосування в Україні знайшла комбайнова технологія збирання льону. При цьому тресту отримують шляхом вилежування соломи на льонищі із наступним формуванням із неї рулонів.

Застосування технології отримання сланцевої трести у рулонах призвело до появи таких негативних якостей трести, як нерівномірність стрічки, зміщеність стебел по гузирях, дезорієнтація стебел. Все це призводить до появи значної кількості недообробленого волокна, що, в свою чергу, є основною причиною зменшення виходу довгого волокна й рентабельності переробного підприємства.

Отримати сланцеву тресту високої якості можливо за умови дотримання вимог агровиробництва. Величина показника відокремлюваності варіюється по довжині рулону від 4,0 до 8,0 одиниць. Різниця за показником відокремлюваності ще більш значуща між різними рулонами, які поступають на переробку.

Режими функціонування м'яльно-тіпального агрегату встановлюють з урахуванням відомих показників, отриманих внаслідок проведення інструментального аналізу рулонів. Враховуються: середня довжина стебел, відокремлюваність, тощо. Але слід зауважити, що дослідженню підлягають 2-3 рулони з цілої партії, яка поступає на переробку.

Вибіркове визначення показників призводить до невідповідності властивостей трести, що поступає на переробку, та параметрів і режимів роботи робочих органів м'яльно-тіпальних агрегатів.

Проаналізуємо деякі причини виникнення неоднорідності властивостей льняної трести.

Закладається неоднорідність сланцевої трести ще на етапах росту та розвитку рослин льону. Рівномірність стеблостою по висоті залежить від норм посіву, забур'яненості посіву, стійкості сорту до полеглості. На етапі збирання формується наступний впливовий фактор створення нерівномірності стрічок трести – розтягнутість, яка залежить від величини відносного зміщення стебел у стрічці по гузирях та середньої довжини стебел у ній. На величину розтягнутості також впливають такі параметри, як [1]:

- ширина захвату збиральної машини, зокрема л/з комбайна;
- форма робочої кромки подільників;
- висота встановлення подільників над площиною поля та інші.

**Матеріали та результати досліджень.** Вплив деяких параметрів на величину розтягнутості, згідно експериментальних досліджень, виконаних у польових умовах, відображено нижче.

Збирання льону проводилось за допомогою агрегату, який складався з трактора МТЗ-8, льонокомбайна ЛК-4А.

Збирання проводили у стадії жовтої та ранньої жовтої стиглості стеблостою льон-довгунця. Агрегат рухався по полю з середньою швидкістю 1,5-1,8 м/с [2].

Таблиця 1.1

Результати визначення розтягнутості стебел у польових умовах

Висота стеблостою (середня), мм	Висота встановлення носика подільника, мм	Ширина захвату прутка, мм	Довжина стебел, мм						Середня абсолютна розтягнутість, мм
			центрального			крайнього			
			№ заміру			№ заміру			
			1	2	3	1	2	3	
560	50	130	91	89	90	121	120	121	120,67
		180	98	97	100	140	142	140	140,67
	100	130	136	137	136	164	171	170	168,33
		180	172	169	172	205	212	210	209,00
	150	130	180	184	182	200	205	201	202,00
		180	216	220	220	225	256	259	246,67
1162	400	130	451	464	467	502	516	519	512,33
		180	479	483	483	534	548	545	542,33
	500	130	460	473	479	500	524	526	516,67
		180	519	502	502	541	553	547	547,00



Вплив розтягнутості стебел, вибраних при різній ширині захвату бральної секції, на вихід і якість волокна

Ширина захвату бральної секції, см	Абсолютна розтягнутість, см	Вихід волокна, %		Номер волокна	
		довгого	короткого	довгого	короткого
38,0	22,4	11,3	4,7	12,0	4,0
26,0	14,2	12,7	3,1	13,5	4,0

Виконана нами оцінка деяких показників льоносоломи та льонотрести виявила, що зменшення ширини захвату бральної секції привело до зростання розривного навантаження льоносоломи [2].

Позитивний вплив зменшення ширини захвату бральної секції на якість льоносоломи пояснюється тим, що область пошкодження пасами брального апарата стебел в момент брання змістилась ближче до гузирів стебел, тобто у ту частину стебла яка містить незначну кількість волокна.

На неоднорідність властивостей трести впливає й величина ГТК (гідротермічного коефіцієнта) у період вилежування, який залежить від кількості атмосферних опадів і температурного режиму.

Наведені вище (табл. 1.1 – 1.2) результати експериментальних досліджень свідчать про значну кількість факторів впливу на процес формування показників якості лляної трести та на вихід довгого волокна.

Вихід довгого волокна, крім того, залежить й від ряду факторів, які формуються на етапі первинної переробки лляної трести.

Як на стадії отримання лляної соломи, так й у ході первинної переробки на якість кінцевого продукту волокна впливають параметри машин і механізмів із якими взаємодіє стрічка трести.

Проаналізуємо процес первинної переробки трести з метою виявлення причин виникнення втрат довгого волокна у ході первинної переробки трести. [3], [4], [5].

З цією метою формалізуємо технологічний процес отримання волокна (рис.1.1). Формалізація, в першу чергу, потребує деталізації об'єкту (процесу). У нашому випадку процес можна розділити на три етапи:

- формування шару трести (шароутворення);
- м'яття трести вальцями;
- тіпання трести.

Кожен із етапів здійснюється під впливом певного переліку вхідних величин.

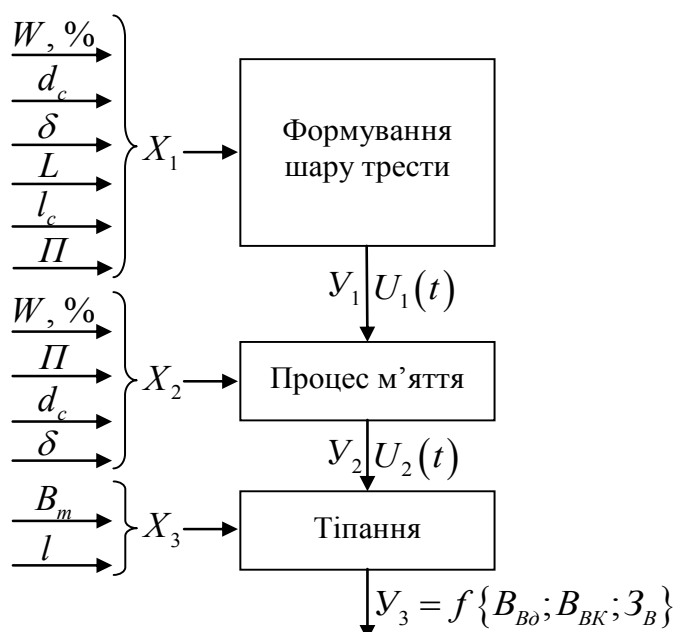


Рис.1.1. Схема формалізації процесу переробки трести з метою виділення волокна

Зі схеми (рис.1.1) бачимо, що переробка трести ( $U_i(t)$ ), відбувається поетапно. Кожен із етапів характеризується вхідними –  $X_i$  та вихідними –  $Y_i$  параметрами. Для аналізу причин втрат волокна на виділених етапах окреслимо основні дискретні фактори впливу  $X_i$ .

До факторів впливу на протікання операції шароформування віднесемо:

- вологість трести  $W$ , %;
- середній діаметр стебел  $d_c$ , мм;
- товщину шару трести  $\delta$ , мм;
- розтягнутість стрічки трести  $L$ , раз;
- середня довжина стебел  $l_c$ , мм;
- $\Pi$ , град – величина перекоосу стебел у стрічці;
- $B_{Bd}$  – втрата довгого волокна;
- $B_{BK}$  – втрата короткого волокна;
- $Z_B$  – маса відходів тіпання та % недоробки.

Вихідний параметр –  $Y_1$  оцінює якість трести, яка зходить із шароформуючої машини.

Вхідними параметрами другої операції – м'яття є:

- вологість  $W$ , %;
- перекіс,  $\Pi$ , град;
- середній діаметр стебел  $d_c$ , мм;
- товщина шару  $\delta$ , мм.

Вихідний параметр  $Y_2$  оцінює якість трести після впливу м'яльних вальців, який описано функцією  $U_2(t)$ .

Етап тіпання характеризується наступними параметрами:

- $B_m$  – властивості трести, до яких можна віднести: вологість  $W_m$ , відокремлюваність, міцність, гнучкість, придатність, середня довжина стебел.
- $L_c$  – розтягнутість стрічки, раз.

Зі схеми, наведеної на рис. 1.1, наглядно видно, що зміна параметрів  $X_i$  (вхідних) безумовно визначає зміну параметрів перетворень цих характеристик  $U_i(t)$  та вихідних функцій  $Y_i$  якості. Тобто властивості  $X_i$  льонотрести безпосередньо впливають на режими роботи  $U_i(t)$  обладнання. Якість волокна залежить від  $X_i$  та  $U_i(t)$ .

З урахуванням вищезазначеного сформуємо формалізовану модель процесу формування якості волокна:

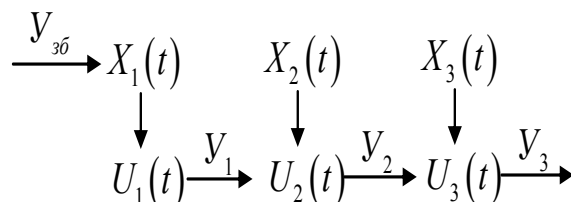


Рис. 1.2. Модель формалізації процесу переробки

Враховуючи рис. 1.1 і 1.2 можна зробити висновок про складність формування адекватної математичної моделі процесів шароутворення, м'яття та тіпання.

Опис процесів взаємодії трести з робочими органами машин можливо виконати з певними наближеннями. Для уточнення аналітичних виразів потрібно провести значну кількість дослідів по виявленню впливу окремих вхідних параметрів  $X_i$  на режими технологічних операцій.

**Висновки.** Як бачимо вихід довгого волокна залежить від значної кількості факторів, які формуються поетапно та інтегруються на етапі тіпання трести. До диференціальних факторів впливу відносять: однорідність стеблостою льону; висоту стебел; середній діаметр; густоту стеблостою; розтягнутість стрічки соломки; номер соломки; вологість соломки; вологість трести; розтягнутість стрічки (рулонів) трести; номер трести; дезорієнтацію стебел у шарі трести; товщину шару; придатність трести до обробки; відокремлюваність; тощо.

З урахуванням цієї множини факторів впливу та враховуючи, що сировина не однорідна по висоті рулонів, які поступають для переробки, необхідно обґрунтувати напрямки модернізації конструкторних елементів обладнання для первинної переробки лляної сировини.

1. Налобіна О.О. Механіко-технологічні основи взаємодії робочих органів льонозбирального комбайна з рослинним матеріалом: дис. доктора техн. наук: 05.05.11 / Налобіна Олена Олександрівна. – К., 2008. – 341 с.

2. Муравинець Ю.В. Удосконалення технології переробки лляної трести за рахунок модернізації м'яльно-тіпальних агрегатів: дис. кандидата техн. наук: 05.18.02 / Муравинець Юлія Вікторівна. – Х., 2014. – 127 с.

3. Крагельский И. В. Физико-механические свойства стеблей льна и конопли Крагельский И. В. – М.: ВИСХОМ, 1939 – (Сборник «Свойства с/х растений»). Москва, 1936.47 – 63с.

4. Пашин Е. Л. Формирование выхода длинного волокна при обработке стеблей льна на мяльно-трепальном агрегате // Изв.вузов. Технология текстильной промышленности – 1999, №3 с.24-27.

5. Марков В.В. Первичная обработка лубяных волокон / В.В. Марков Трифонов В.Г. / Известия вузов. Технология текстильной промышленности / .- 1977.- № 3.- С.27-31.

#### REFERENCES

1. Nalobina O.O. Mechanical and technological bases of interaction of working bodies flax harvesting of plant material: di ... dr. sc. sciences: 05.05.11 / Nalobina Elena. - K., 2008. - 341 p.

2. Muravynets Y.V. Improvement trusts linen processing technology by upgrading breaking-threshing units: dicandidate sc. sciences: 05.18.02 / Muravynets Yulia. - H., 2014. - 127 p.

3. Kragelsky I.V. Physical and mechanical properties of flax and hemp stalks Kragelsky I.V. - VISKHOM, 1939 - (Collection "Properties of Agricultural Plants"), Moscow, 1936.47 – 63 p.

4. Pashin E.L. "Formation of the yield of a long fiber during the processing of flax stems on the butcher-trellis aggregate," Izv. Technology of the textile industry - 1999, №3 p.24-27.

5. Markov V.V. Primary processing of bast fibers / V.V. Markov Trifonov V.G. / Izvestiya high schools. Technology of textile industry / .- 1977.- № 3.- P.27-31.

**Муравинець Ю. В., Селезнев Д. Е. Научные предпосылки совершенствования оборудования для первичной переработки тресты льна.**

Проанализирован процесс первичной переработки тресты с целью выявления причин возникновения потерь длинного волокна в ходе первичной переработки тресты. С этой целью сделана формализация технологического процесса получения волокна. Выполнена оценка некоторых показателей льносоломки и льнотресты.

**Ключевые слова:** первичная переработка, льяное треста, формализация, длинное волокно, льносырье, мяльно-трепальные агрегаты, лен-долгунец, волокно.

**Muravunets Y. V., Seleznev D. E. Scientific prerequisites for improving equipment for primary processing of flax trusts.**

The process of primary processing of trusts has been analyzed with the purpose of revealing the reasons for the loss of long fiber during the primary processing of trusts. To this end, the formalization of the technological process for obtaining fiber has been made. Some estimates of flax salt and flax truffles have been evaluated. Analyzes the process of primary processing trusts to identify the causes of losses in long fiber during processing trusts the primary. With this aim, made the formalization process of obtaining fibers. Evaluation of some indicators lonesome and flax. The aim of this work is the scientific and practical basis for the improvement of the technology for primary processing of flax trusts on m Alino-scutching units, which ensures the reduction of defects and increased yield of long fibers due to the modernization of technological equipment.

**Keywords:** primary processing, linen trust, formalization, long fiber, flax, kneading aggregates, flax-fiber, fiber.

**АВТОРИ:**

*МУРАВИНЕЦЬ Юлія Вікторівна*, кандидат технічних наук старший викладач кафедри «Машини легкої промисловості», Луцький НТУ e-mail: julia7396@ukr.net

*СЕЛЕЗНЬОВ Дмитро Едуардович*, кандидат технічних наук старший викладач кафедри «Машини легкої промисловості», Луцький НТУ e-mail:

**АВТОРЫ:**

*МУРАВИНЕЦ Юлия Викторовна*, кандидат технических наук старший преподаватель кафедры «Машины легкой промышленности», Луцкий НТУ e-mail: julia7396@ukr.net

*СЕЛЕЗНЕВ Дмитрий Эдуардович*, кандидат технических наук старший преподаватель кафедры «Машины легкой промышленности», Луцкий НТУ e-mail:

**AUTHORS:**

*Yulia MURAVYNETS*, Ph.D Senior lecturer of the department "Light Industry Machinery" of Lutsk NTU e-mail: julia7396@ukr.net

*Dmitry SELEZNEV*, Ph. D Senior lecturer of the department "Light Industry Machinery" Lutsk NTU e-mail:

Стаття надійшла в редакцію 12.05.2017 р.

Опанасюк Є.Г., Бегерський Д.Б., Опанасюк О.Є.  
Житомирський державний технологічний університет**ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ДВЗ ШЛЯХОМ СТВОРЕННЯ  
РОЗРІДЖЕННЯ В ВИПУСКНОМУ КОЛЕКТОРІ**

У статті представлено результати теоретичних досліджень впливу тиску відпрацьованих газів на процеси газообміну та впливу характеристик процесів газообміну на показники роботи двигуна. Для підтвердження результатів теоретичних досліджень, проведено експериментальні дослідження впливу тиску у випускній системі на показники роботи двигуна. Показано, що зменшення тиску у випускній системі призводить до збільшення потужності двигуна. Пояснено збільшення витрати палива при зменшенні тиску у випускній системі та запропоновано варіанти вирішення цієї проблеми.

**Ключові слова:** двигун внутрішнього згорання, система випуску відпрацьованих газів, коефіцієнт наповнення, коефіцієнт залишкових газів, тиск наприкінці випуску.

**Вступ**

Однією з головних задач, що стоять перед науковцями в галузі двигунобудування, є удосконалення робочих процесів двигунів, зокрема процесу газообміну. Основним із методів завжди було покращення наповнення циліндрів двигуна горючою сумішшю та очищення циліндрів двигуна від відпрацьованих газів. Говорячи про покращення наповнення, то тут існує багато методів поліпшення: збільшення розмірів впускних клапанів; використання нагнітачів та турбін; подача палива під тиском (використання форсунок; відкривання впускних клапанів ще до початку впускного такту; використання подвійних клапанів та ін.. Але, якщо мова йде про покращення випуску відпрацьованих газів то тут ми можемо побачити тільки раннє відкриття клапанів та збільшення кількості клапанів. Тому доцільним є такий метод покращення випуску відпрацьованих газів, як створення розрідження в випускному колекторі, що в свою чергу допоможе очистити циліндри двигуна більш швидше та якісніше [2, 3, 4, 6].

**Теоретичні дослідження процесів газообміну ДВЗ**

З форм. 1 [1] видно, що ефективна потужність двигуна з примусовим запалюванням

$$N_e = \frac{V_n \cdot i \cdot n}{30\tau} \cdot \frac{H_i}{\alpha \cdot l_0} \rho_k \cdot \eta_V \cdot \eta_i \cdot \eta_M, \quad (1)$$

де:  $V_n$  - робочий об'єм циліндрів;

$i$  - кількість циліндрів;

$n$  - кількість обертів колінчастого валу двигуна за хв.;

$\tau$  - такніть двигуна;

$H_i$  - нижча теплота згорання палива;

$\alpha$  - коефіцієнт надміру повітря;

$l_0$  - теоретичного необхідного кількість повітря для згорання 1 кг палива;

$\rho_k$  - густина заряду на впуску;

$\eta_V$  - коефіцієнт наповнення;

$\eta_i$  - індикаторний к.к.д.;

$\eta_M$  - механічний к.к.д.;

прямо пропорційно залежить від коефіцієнту наповнення.

В той же час з методики розрахунку процесу випуску [1] видно, що коефіцієнт наповнювання зростає зі збільшенням тиску наприкінці випуску і знижується із збільшенням тиску випуску.

Тиск випуску також впливає на чисельне значення коефіцієнту залишкових газів [1], а саме, зі збільшенням тиску наприкінці випуску значення коефіцієнту залишкових газів зростає.

На рис 1, представлено графічну залежність коефіцієнта залишкових газів  $\gamma_r$  від величини тиску наприкінці випуску [8, 9].



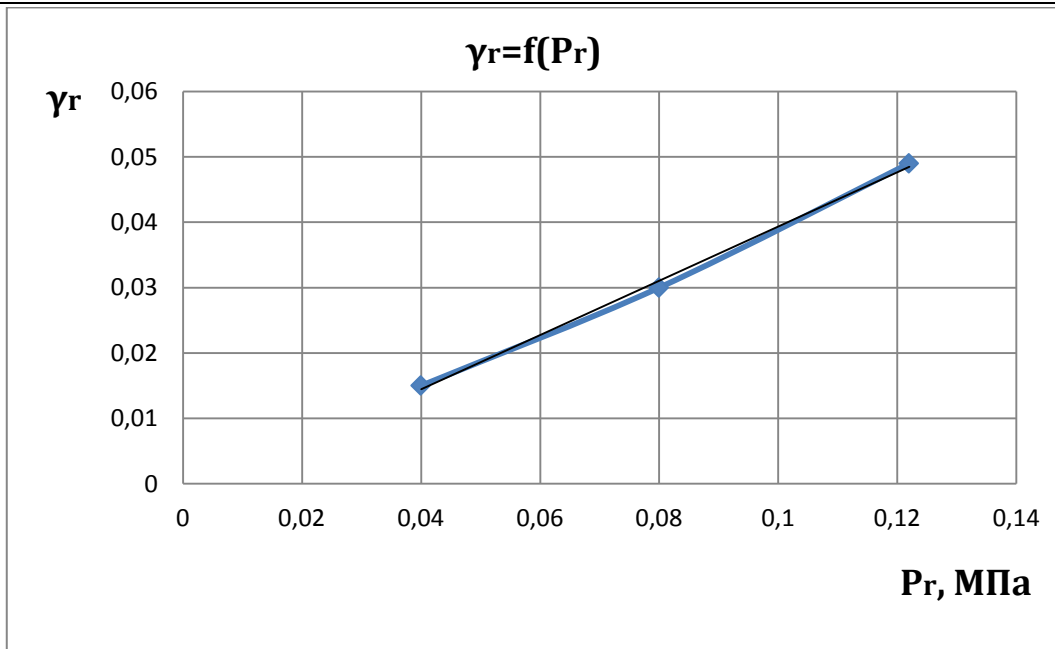
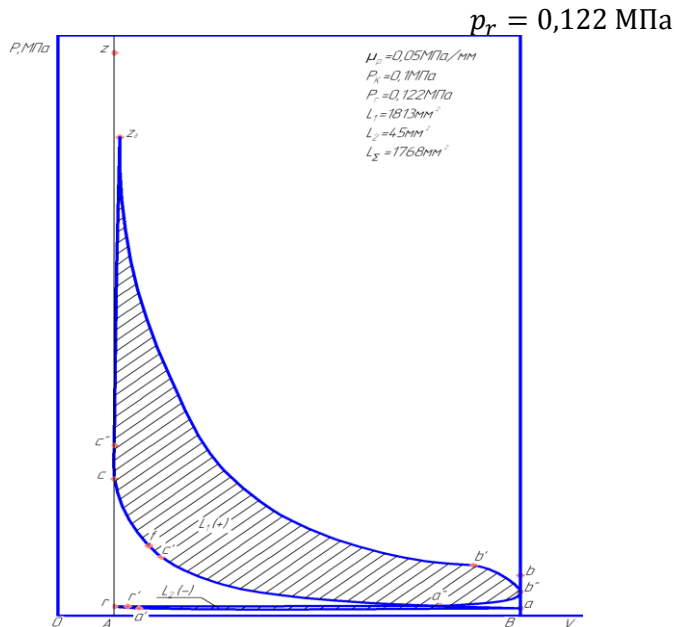


Рис.1. Залежність коефіцієнта залишкових газів  $\gamma_r$  від тиску залишкових газів  $P_r$

З графіку 1 видно, що для покращення показників газообміну та, у підсумку, збільшення потужності двигуна доцільно зменшити тиск у циліндрі двигуна наприкінці випуску.

Проведений тепловий розрахунок двигуна на основі вихідних даних (потужність, частота обертання колінчастого валу та міра стиску) бензинового двигуна 13N. За результатами аналізу згорнутих індикаторних діаграм з встановленими значеннями тиску наприкінці випуску  $P_r = 0,122$  МПа. (рис. 2а.),  $P_r = 0,08$  МПа. (рис. 2б.) та  $P_r = 0,04$  МПа. (рис. 2в.) зростання площі  $L_{\Sigma}$ , яка пропорційна індикаторній роботі циклу [8, 9].



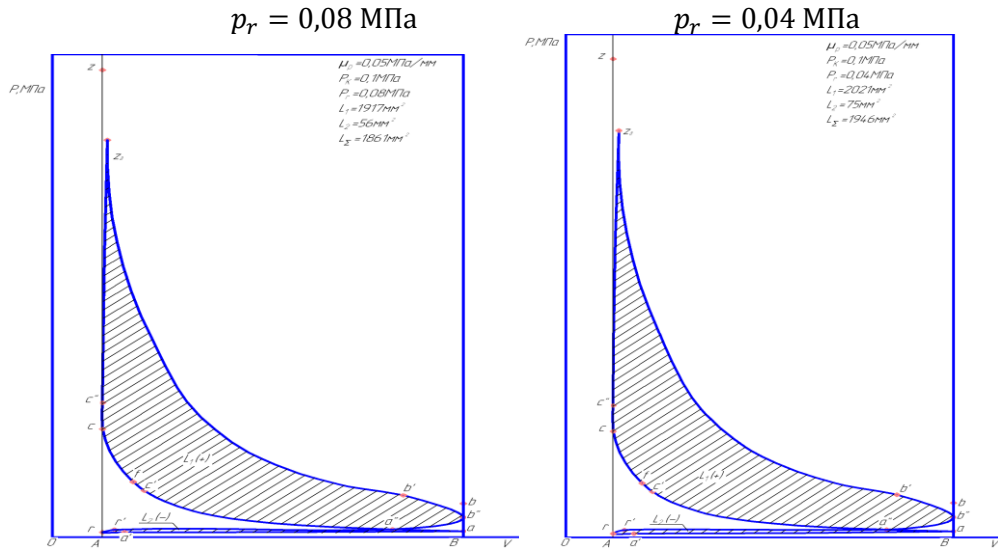


Рис.2. Згорнуті індикаторні діаграми

Отримані результати зведені до табл.1

Таблиця 1

Результати теоретичних досліджень роботи двигуна при різних значеннях  $p_r$

Тиск випуску, $P_r$ , МПа.	наприкінці	Площа, еквівалентна роботі циклу, $\text{мм}^2$	Відхилення від $P_{r1}$ , %
$P_r = 0,122$		1768	-
$P_r = 0,08$		1861	5,26
$P_r = 0,04$		1946	10,07

Визначено також розрахунковим шляхом питому годину витрату палива, що зросла при зменшенні  $P_r$  (з 0,08 МПа до 0,04 МПа) на 3,6% при зростанні індикаторної потужності на 5,5%.

**Експериментальні дослідження впливу тиску у випускній системі ДВЗ на показники його роботи**

Для перевірки коректності аналітичних досліджень впливу розрідження на витрату палива проведені експериментальні дослідження. Експериментальні дослідження проведені на автомобілі Опель-кадет з двигуном 13N, схема якого представлена на рис. 3.

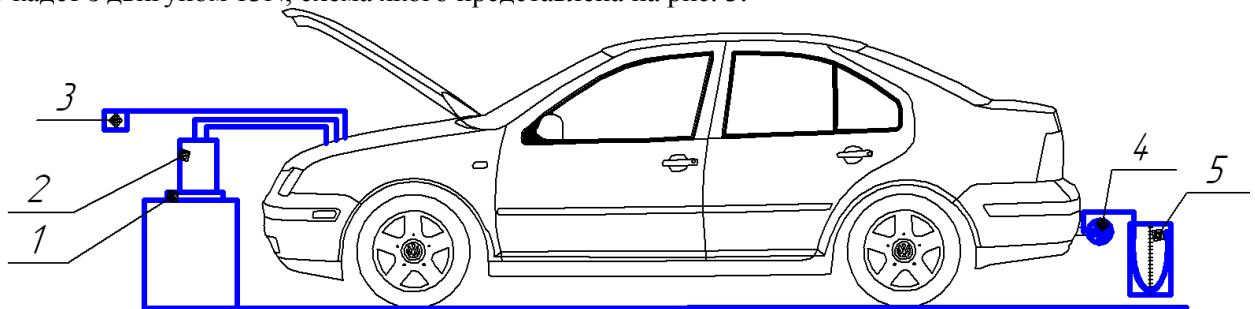


Рис.3.7. Схема установки для проведення дослідів  
1-вимірювальне обладнання (ваги); 2-система живлення двигуна;  
3-датчик холо; 4-вентилятор; 5-барометр (вакууметр)

Рис. 3. Схема установки для проведення дослідів  
1 – вимірювальне обладнання (ваги); 2 – система живлення двигуна; 3 – датчик холо; 4 – вентилятор; 5 – барометр (вакууметр).

Вимірювання витрати палива здійснено ваговим методом (рис. 4), для чого відбирання палива для двигуна проводилось з бачка, встановленого на цифрових вагах на 5 кг з ціною поділки 1 г.



Рис.4. Система для визначення витрати палива ваговим методом

Для створення розрідження у системі випуску відпрацьованих газів на випускную трубу глушника встановлено вентилятор (рис. 5).



Рис.5. Зовнішній вигляд монтованого вентилятора

Для створення розрідження у системі випуску відпрацьованих газів на випускную трубу глушника встановлено вентилятор (рис. 6).



Рис. 6. Пристрій для вимірювання розрідження у системі випуску.

Дослід проводився 6 разів, час проведення дослідів 10хв., на різних обертах двигуна з вентилятором та без нього.

1.  $n_1 = 600$  об/хв.;
2.  $n_2 = 2400$  об/хв.;
3.  $n_3 = 3600$  об/хв.;

Результати досліджень при роботі двигуна без навантаження представлені на рис. 7-9.

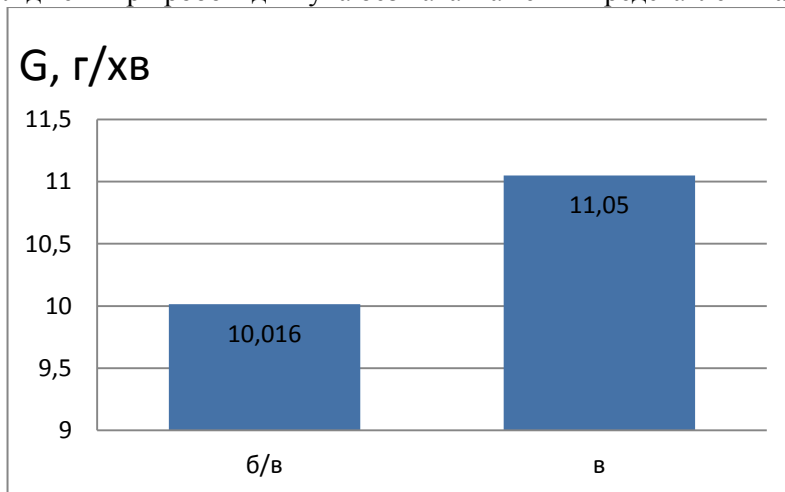


Рис.7. Витрати палива при розрідженні 147кПа і без розрідження при частоті  $n_1$

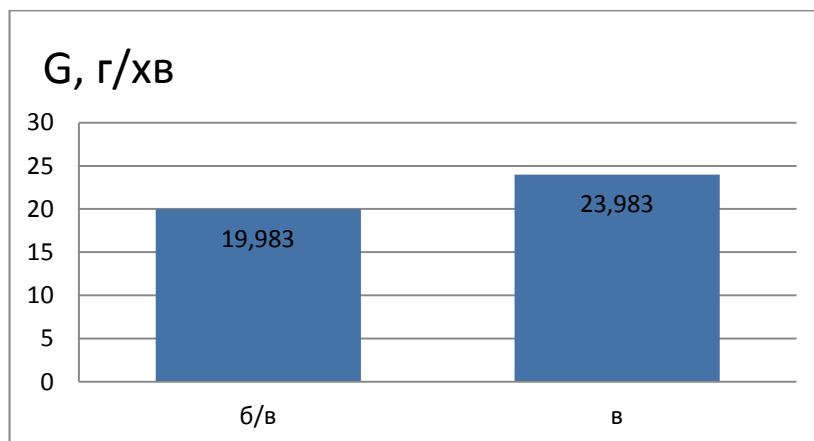
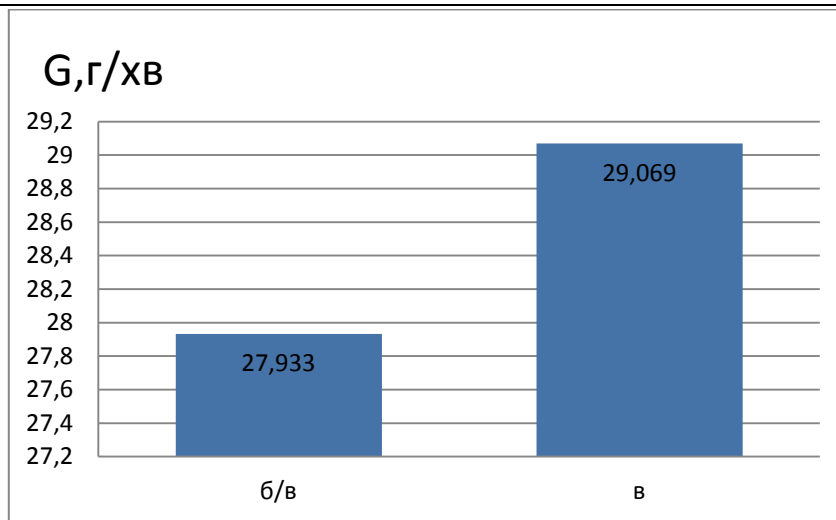


Рис.8. Витрати палива при розрідженні 186 кПа і без розрідження при частоті  $n_2$

Рис.9. Витрати палива при розрідженні 118 кПа і без розрідження при частоті  $n_3$ 

З наведених діаграм видно, що при частоті обертання  $n_1 = 600$  об/хв. і створенні розрідження 147 Па витрата палива зростає на 10,3%; при частоті обертання колінчастого валу двигуна  $n_2 = 2400$  об/хв. і – розрідженні 186 Па – на 20 %; при частоті  $n_3 = 3600$  об/хв. (розрідження 118 Па) – на 4,05%. При цьому чітко простежується тенденція зростання витрати палива від збільшення розрідження у випускній системі двигуна.

Причинами збільшення витрати палива при роботі двигуна 13N з використанням створення розрідження у випускному колекторі з метою покращення показників газообміну є особливості його конструкції, до яких слід відносити наступні :

- фіксовані фази газорозподілу (кути випередження і запізнення відкриття і закривання клапанів не залежать від частоти обертання і на вантажності двигуна; наявність періоду перекриття фаз наприкінці випуску і на початку впуску (проводить в цей період до передачі розрідження з випускного до впускного тракту, зокрема до змішувальної камери карбюратора;))

- залежність витрати палива через жиклера холостого ходу головної дозуючої системи і системи економайзера;

- відсутність ефективної системи регулювання подачі палива і повітря для створення необхідного складу горючої суміші залежно від частоти обертання колінчастого валу і завантаженості двигуна.

Проведені випробування карбюраторного двигуна з фіксованими фазами газорозподілу показали зростання витрати пального практично на всьому діапазоні частот обертання колінчастого валу двигуна, що пов'язане зі зростанням розрідження у змішувальній камері карбюратора в той час коли обидва клапани відкриті (перекриття фаз). При цьому витрата палива зростає при збільшенні частоти обертання колінчастого валу двигуна. При проведенні дослідів на холостому ході при частоті  $n_1$  витрата палива менша, при частоті  $n_2$  пальне подається через головну дозуючу систему плюс холостий хід, при частоті  $n_3$  додатково починає працювати система економайзера. Цим пояснюється збільшення витрати палива при проведенні дослідів рис.1.

Витрата палива, що проходить через жиклер карбюратора, визначається за формулою:

$$G_{\text{пал}} = \mu_{\text{ж}} f_{\text{ж}} \sqrt{2\Delta P_{\text{д}} \cdot \rho_{\text{пал}}}$$

де:  $\mu_{\text{ж}} = 0,75 \dots 0,85$  – коефіцієнт витрати жиклера;

$f_{\text{ж}}$  – площа прохідного перерізу жиклера,  $\text{м}^2$ ;

$\Delta P_{\text{д}}$  – розрідження в дифузорі,  $\text{Н}/\text{м}^2$ ;

$\rho_{\text{пал}}$  – густина палива,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Якщо записати формулу у вигляді

$$G_{\text{пал}} = \mu_{\text{ж}} f_{\text{ж}} \sqrt{2\rho_{\text{пал}}} \cdot \sqrt{\Delta P_{\text{д}}}$$



і зазначити, що величини  $\mu_{ж}$ ,  $f_{ж}$ ,  $\sqrt{2\rho_{пал}}$  є постійними, то , після заміни частини виразу  $\mu_{ж}f_{ж}\sqrt{2\rho_{пал}}$  на певний коефіцієнт  $N_K$ , отримаємо залежність витрати палива через жиклер від розрідження в дифузорі карбюратора:

$$G_{пал} = N_K \cdot \sqrt{\Delta P_d}$$

Графічно ця залежність в загальному вигляді має наступний характер, зображений на рис. 10 [5]

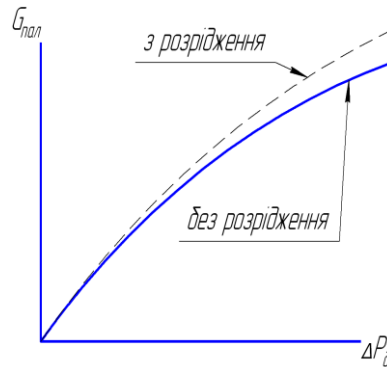


Рис.10. Залежність витрати палива через жиклер від розрідження в дифузорі карбюратора

При проведенні дослідів на холостому ходу при частоті  $n_1$  витрата палива менша, при частоті  $n_2$  пальне подається через головну дозуючу систему плюс холостий хід, при частоті  $n_3$  додатково починає працювати система економайзера. Цим пояснюється збільшення витрати палива при проведенні дослідів рис.11. [5]

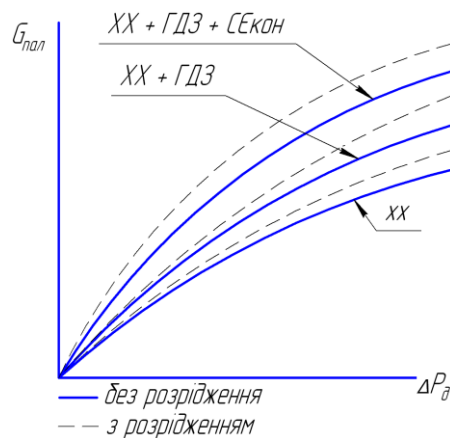


Рис.11. Залежність витрати палива через жиклери від розрідження в дифузорі карбюратора при різних частотах обертання колінчастого вала

Цей метод не є ідеальним для карбюраторного двигуна тому, що проводячи дослід було виявлено те, що коли за допомогою насоса створювали розрідження в випускному колекторі , в момент перекриття клапанів, воно передавалось і в камеру змішування карбюратора , що в свою чергу спричиняло збільшення витрат палива . Але це можна було б легко компенсувати , але для цього потрібно змінювати технічні показники системи живлення (рівень пального в поплавковій камері , поперечні перерізи жиклерів, налаштування системи живлення карбюратора до необхідних параметрів).

Враховуючи той фактор ,що переважна більшість двигунобудівників використовує інжекторні системи живлення [10], відмовившись від карбюраторних, задача використання розрідження у системах випуску відпрацьованих газів спрощується за рахунок того, що регулювання складу суміші здійснюється бортовим комп'ютером в залежності від частоти обертання колінчастого вала двигуна та ступеня використання потужності. Зміна подачі палива і повітря для створення горючої суміші здійснюється відповідно до лямда-зонду, який доречі також знаходиться в випускному колекторі , як і насос який буде створювати розрідження. У випадку використання інжекторної системи живлення

можна зробити висновок, що побічного впливу системи створення розрідження у випускному колекторі на роботу двигуна не очікується тому, що лямда-зонд аналізує склад суміші не по фізичним показникам (температура, тиск, вологість і т.д.) [10], а тільки по наявності кисню в складі відпрацьованих газів, регулюючи суміш до більш ідеального складу

1. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І. Автомобільні двигуни: Підручник. – К.: Арістей, 2004. – 476 с.
2. Белов П.М., Бурячко В.Р., Акатов Е.И. Двигатели армейских машин. Часть первая: Теория. – М.: Воениздат, 1971. – 512 с.
3. Белов П.М., Бурячко В.Р., Акатов Е.И. Двигатели армейских машин. Часть вторая: Конструкция и расчет. – М.: Воениздат, 1972. – 568 с.
4. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей / Под ред. А.С.Орлина, М.Г.Круглова. – М.: Машиностроение, 1983. – 375 с.
5. Захарчук В.І. Основи теорії, конструкції та розрахунку автомобільних двигунів: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Луцьк: ЛДТУ, 2007. – 216 с.
6. Колчин А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учебное пособие для вузов / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – 4-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2008. – 496 с.
7. Опанасюк Є.Г., Бегерський Д.Б., Опанасюк О.Є. Спосіб підвищення ефективності роботи двигуна внутрішнього згорання./ Патент на винахід №103439 – 2013.
8. Опанасюк Є.Г., Бегерський Д.Б., Опанасюк О.Є. Характеристики роботи двигуна з регульованим тиском відпрацьованих газів Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство») /Випуск 46.- Луцьк: НТУ, 2014. -С.382-385.
9. Опанасюк Є.Г., Бегерський Д.Б., Опанасюк О.Є. Аналітичні дослідження впливу процесу газообміну на показники роботи двигуна Науковий журнал «Вісник Житомирського державного технологічного університету». – 2014. – № 2 (69). / Технічні науки. – С. 168 – 175.
10. Росс Твег Системы впрыска бензина. – М.: Издательство «За рулем», 1996. – 144 с.

## REFERENCES

1. Abramchuk F.I., Hutarevych Yu.F., Dolhanov K.Ie., & Tymchenko I.I. (2004) Avtomobilni dvyhuny: Pidruchnyk. K.: Aristei, 476 p.
2. Belov P.M., Buriachko V.R., & Akatov E.Y. (1971) Dvyhately armeiskykh mashyn. Chast pervaia: Teoriya. M.: Voennydat, 512 p.
3. Belov P.M., Buriachko V.R., & Akatov E.Y. (1972) Dvyhately armeiskykh mashyn. Chast vtoraiia: Konstruktsiia y raschet. M.: Voennydat, 568 p.
4. Orlyna A.S. & Kruhlova M.H. (1983) Dvyhately vnutrenneho shoranyia. Teoriya porshnevnykh y kombynirovanykh dvyhatelei. M.: Mashynostroeniye, 375 p.
5. Zakharchuk V.I. (2007) Osnovy teorii, konstrukttsii ta rozrakhunku avtomobilnykh dvyhuniv: Navchalnyi posibnyk dlia studentiv vyshchyykh navchalnykh zakladiv. Lutsk: LDTU, 216 p.
6. Kolchyn A.Y. Demydov V.P. (2008) Raschet avtomobylnykh y traktornykh dvyhatelei: Uchebnoe posobyie dlia vuzov M.: Vysshaiia shkola, 496 p.
7. Opanasiuk Ye.H., Beherskyi D.B., & Opanasiuk O.Ie. (2013) Sposib pidvyshchennia efektyvnosti roboty dvyhuna vnutrishnoho zghoriannia. Patent na vynakhid №103439.
8. Opanasiuk Ye.H., Beherskyi D.B., & Opanasiuk O.Ie. (2014) Kharakterystyky roboty dvyhuna z reholovanyim tyskom vidpratsovanykh haziv Naukovi notatky. Mizhvuzivskyi zbirnyk (za haluziamy znan «Mashynobuduvannia ta metaloobrobka», «Inzhenerna mekhanika», «Metalurhiia ta materialoznavstvo») Vypusk 46, pp.382-385.
9. Opanasiuk Ye.H., Beherskyi D.B., & Opanasiuk O.Ie. (2014) Analitychni doslidzhennia vplyvu protsesu hazoobminu na pokaznyky roboty dvyhuna Naukovyi zhurnal «Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu». № 2 (69). pp. 168 – 175.
10. Ross Tveh (1996) Systemy vpryska benzyna. M.: Yzdatelstvo «Za rulem», 144 p.

### *Опанасюк Є.Г., Бегерський Д.Б., Опанасюк О.Є. Улучшение показателей работы двс путем создания разрежения в выпускном коллекторе*

В статье представлены результаты теоретических исследований влияния давления отработавших газов на процессы газообмена и влияния характеристик процессов газообмена на показатели работы двигателя. Для подтверждения результатов теоретических исследований, проведены экспериментальные исследования влияния давления в выпускной системе на показатели работы двигателя. Показано, что уменьшение давления в выпускной системе приводит к увеличению мощности двигателя. Объяснено увеличение расхода топлива при уменьшении давления в выпускной системе и предложены варианты решения этой проблемы.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, системы выпуска отработавших газов, коэффициент наполнения, коэффициент остаточных газов, давление в конце выпуска.

*E. Opanasyuk, D. Beherskiy, O. Opanasyuk Improvement in internal combustion engine performance by creating a vacuum in the exhaust manifold*

Based on analysis of current research conclusions about the relevance of research topic. The article presents the results of theoretical studies of the impact pressure of the exhaust gases on the process of gas exchange and influence processes of gas exchange characteristics on the performance of the engine. It was shown that reducing the pressure at the end of the process issue, leading to increased filling ratio and reduction in the residual gas. To confirm the results of theoretical research, experimental researches influence of pressure in the exhaust system on the performance of the engine. Presented equipment used in conducting experimental studies described method of experimental research. It was shown that reducing the pressure in the exhaust system results in increased engine power and increase fuel consumption. Based on analysis of current research, found reasons for increase in fuel consumption while reducing the pressure in the exhaust system, namely fixed phase timing; availability period overlapping phases output end and the beginning of the inlet; dependence of jet fuel through the idling of the main metering system and economizer; the lack of effective regulation fuel and air to create the required fuel mixture composition depending on the speed of the crankshaft and engine load. Thus we can conclude that in the case of power injection systems create dilution in the exhaust manifold increase in fuel consumption is not expected that lambda probe analyzes the composition of the mixture is not in physical parameters (temperature, pressure, humidity, etc.), and only the presence of oxygen in the exhaust gases, adjusting the mixture to a perfect composition

**Keywords:** internal combustion engines, exhaust system, filling ratio, coefficient of residual gas, pressure at the end of release.

**АВТОРИ:**

*ОПАНАСЮК Євген Григорович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Житомирський державний технологічний університет, e-mail: [amts\\_oeg@ztu.edu.ua](mailto:amts_oeg@ztu.edu.ua)*

*БЕГЕРСЬКИЙ Дмитро Богданович, кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій, Житомирський державний технологічний університет, e-mail: [begerskiy@gmail.com](mailto:begerskiy@gmail.com)*

*ОПАНАСЮК Олександр Євгенович, пошукач кафедри автомобілів і транспортних технологій, Житомирський державний технологічний університет, e-mail: [amts\\_oeg@ztu.edu.ua](mailto:amts_oeg@ztu.edu.ua)*

**АВТОРЫ:**

*ОПАНАСЮК Евгений Григорьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобилей и транспортных технологий, Житомирский государственный технологический университет, e-mail: [amts\\_oeg@ztu.edu.ua](mailto:amts_oeg@ztu.edu.ua)*

*БЕГЕРСКИЙ Дмитрий Богданович, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и транспортных технологий, Житомирский государственный технологический университет, e-mail: [begerskiy@gmail.com](mailto:begerskiy@gmail.com)*

*ОПАНАСЮК Александр Евгениевич, соискатель кафедры автомобилей и транспортных технологий, Житомирский государственный технологический университет, e-mail: [amts\\_oeg@ztu.edu.ua](mailto:amts_oeg@ztu.edu.ua)*

**AUTHORS:**

*Eugen OPANASIUK, Ph.D. in Engineering, Assoc. Professor of cars and transport technologies Department, Zhytomyr State Technological University, e-mail: [amts\\_oeg@ztu.edu.ua](mailto:amts_oeg@ztu.edu.ua)*

*Dmitry BEHERSKYY, Ph.D. in Engineering, Assoc. Professor of cars and transport technologies Department, e-mail: [begerskiy@gmail.com](mailto:begerskiy@gmail.com)*

*Alexander OPANASIUK., Applicant of cars and transport technologies Department, e-mail: [amts\\_oeg@ztu.edu.ua](mailto:amts_oeg@ztu.edu.ua)*

В.А. Познаховський, О.Г. Кірічок  
*Національний університет водного господарства та природокористування*

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

У статті розглянуто обґрунтування критеріїв і показників оцінки ефективності роботи автомобільного транспорту. Проаналізовано техніко-економічні показники, які впливають на ефективність використання рухомого складу.

**Ключові слова:** якість автомобільних перевезень, конкурентність автотранспортних послуг, продуктивність рухомого складу, техніко-економічні показники, рентабельність, ефективність автотранспорту.

**Постановка проблеми.** Автомобільний транспорт є однією з базових галузей національної економіки, ефективне функціонування якої є необхідною умовою для стійкого функціонування всіх галузей національної економіки [1, с. 5]. При організації автомобільних транспортних перевезень важливим є своєчасна доставка вантажу, пасажирів, збереження якості транспортних послуг, зниження матеріальних і трудових витрат, ефективне використання рухомого складу.

Ефективність діяльності автотранспортної системи України на сьогоднішній день залежить від результативності, стійкості та розвитку взаємовідносин перевізника і споживача транспортних послуг. У зв'язку з цим **метою роботи** є обґрунтування системи оцінювання ефективності й розвитку автотранспортного забезпечення галузей національної економіки.

**Результати досліджень.** Проблеми ефективності в економічній теорії приділяють значну увагу. Найчастіше поняття «ефективність» визначається наступним чином: «ефективність – це одне з найбільш загальних економічних понять, які характеризують систему, зокрема, економічну, з точки зору співвідношення витрат і результатів її функціонування» [2, с. 25].

Категорія «ефективність» займає ключове місце майже в усіх без винятку галузях знань та сферах діяльності людини. Для економічного розвитку як окремих суб'єктів господарювання, так і економіки держави загалом, необхідно, щоб діяльність підприємства була ефективною, тобто здійснювалася в умовах оптимального (раціонального) витрачання виробничих ресурсів, при мінімальних витратах та максимальній прибутковості виробництва.

На сьогодні розрізняють суспільну, виробничу, соціальну, технічну, економічну ефективність. Усі, разом взяті, види ефективності складають єдину систему ефективності виробничо-господарської діяльності підприємства [3, с. 51].

Важливе місце в процесі оцінювання функціонування підприємства має діагностика ефективності його діяльності, яка зумовлює перспективи розвитку підприємства та зміцнює його конкурентні позиції на ринку. Оцінювання ефективності відіграє важливу роль як у процесі поточного контролю за діяльністю, так і дає можливість оперувати необхідною інформацією для залучення власних, кредитних коштів та формує загальну базу економічних даних про об'єкт дослідження.

Основним етапом оцінювання ефективності діяльності є вибір системи показників, за якими вона буде проводитись.

Традиційно ефективність діяльності компанії визначають за допомогою зіставлення досягнутих обсягів реалізації продукції (робіт або послуг) та витрат усіх видів ресурсів для забезпечення цього обсягу виробництва [4, с. 109].

З метою систематизації методів оцінки ефективності функціонування підприємств багато науковців розділяють існуючі методики на два види: кількісний і якісний [4, с. 15].

Найчастіше при кількісній оцінці ефективності підприємств застосовуються вартісні і фінансово-економічні методи. Якісні підходи до оцінки ефективності підприємств акцентують увагу на окремих аспектах (організаційному, соціальному, екологічному та ін.) діяльності підприємств.

Ключовими показниками ефективності прийнято називати обмежений набір основних параметрів, які використовуються для моніторингу і діагностики результатів діяльності компанії і подальшого ухвалення на їх основі управлінських рішень.

Для оцінювання ефективності діяльності транспортних підприємств можна запропонувати як універсальні ключові показники ефективності, так і специфічні. До універсальних можна віднести: виручку від реалізації, прибуток до вирахування відсотків та податків, рентабельність послуг транспортних компаній, частку доходів від перевезень у загальній сумі доходів підприємства, продуктивність праці, рентабельність активів, операційний прибуток, коефіцієнт оборотності тощо. Специфічними для транспортного підприємства ключовими показниками ефективності можуть бути: відношення порожнього пробігу до навантаженого; дохід на одну вантажну операцію; технічна швидкість, яка вимірюється в км/рік; доходи від експортно-імпортних операцій; частка замовлень постійних клієнтів; штрафи при перевезеннях тощо [4, с. 46].

Для досягнення максимальної ефективності в процесі надання транспортної послуги необхідно показувати високі показники господарської діяльності та порівнювати з тими витратами, в результаті використання яких вони отримані.

Основні показники для розрахунку ефективності можна умовно розділити на такі групи:

*I група. Узагальнюючі показники економічної ефективності:* рівень задоволення потреб ринку, надання однієї послуги на одиницю витрат ресурсів, витрати на одиницю вантажу/пасажирів, прибуток на одиницю загальних витрат, рентабельність перевезень.

*II група. Показники ефективності використання живої праці:* трудомісткість одиниці перевезень, відносне вивільнення працівників, темпи росту продуктивності праці, частка приросту продукції за рахунок росту продуктивності праці, коефіцієнт ефективності використання робочого часу, економія фонду оплати праці, випуск продукції на 1 грн.

*III група. Показники ефективності використання основних засобів:* фондovіддача підприємства, фондovіддача транспортних засобів, фондovіддача транспортних засобів.

*IV група. Показники ефективності використання матеріальних ресурсів:* матеріаломісткість перевезень, матеріалovіддача, коефіцієнт використання найважливіших видів сировини і матеріалів, витрати палива і енергії на 1 грн чистої продукції, економія матеріальних витрат.

*V група. Показники ефективності використання фінансових ресурсів:* коефіцієнт оборотності оборотних коштів, тривалість одного обороту нормованих оборотних коштів, відносне вивільнення оборотних коштів, питомі капіталовкладення, капіталовкладення на одиницю введених потужностей, рентабельність інвестицій, термін окупності інвестицій.

*VI група. Показники якості транспортних послуг:* економічний ефект від поліпшення якості продукції, яка відповідає кращим світовим і вітчизняним зразкам.

Аналіз перевезень вантажів і пасажирів на автомобільному транспорті дає можливість оцінити ефективність функціонування транспорту.

Основними завданнями аналізу перевезень вантажів і пасажирів є:

- 1) загальна оцінка виконання плану перевезень і змін в натуральних, вартісних і відносних показниках;
- 2) оцінка змін техніко-експлуатаційних показників і виявлення причин, що впливають на характеристики транспортного процесу;
- 3) дослідження втрат і виявлення резервів росту обсягів перевезень;
- 4) розробка комплексу організаційно-технічних заходів щодо підвищення конкурентоспроможності на ринку автотранспортних послуг, їх кількості та якості.

При аналізі виконання плану перевезень вантажів спочатку необхідно визначити загальні підсумки виконання плану за обсягом перевезень, транспортної роботи і кількості відпрацьованих автомобіле-годин.

Для того, щоб зробити правильний висновок про діяльність автомобільного транспорту, недостатньо встановити ступінь виконання плану перевезень за аналізований період. Потрібно зіставити обсяги перевезень за ряд відповідних періодів, що дасть уявлення про динаміку зазначеного показника. При цьому слід встановити причини, які зумовили ту чи іншу динаміку обсягу перевезень або вантажообігу.

Всі зміни, що відбуваються в організації перевезень, позначаються на значенні техніко-експлуатаційних показників і, в кінцевому підсумку, визначають ефективність функціонування автомобільного транспорту в регіоні в результаті організаційних, технічних, технологічних, економічних, соціальних та інших заходів.

Отже, ефективність функціонування автомобільного транспорту оцінюється системою техніко-експлуатаційних показників, які характеризують кількість і якість виконаної роботи. Техніко-



експлуатаційні показники, що впливають на ефективність функціонування автомобільного транспорту, можна розділити на дві групи [5, с. 92].

До першої групи слід віднести показники, що характеризують ступінь ефективності використання рухомого складу вантажного автомобільного транспорту: коефіцієнти технічної готовності, випуску і використання рухомого складу; коефіцієнти використання вантажопідйомності і пробігу, середня відстань їздки з вантажем і середня відстань перевезення; час простою під навантаженням-розвантаженням; технічна та експлуатаційна швидкості та ін.

Друга група характеризує ефект від результатів роботи рухомого складу: кількість їздок, загальна відстань перевезення і пробіг з вантажем, обсяг перевезень і транспортна робота.

Аналіз техніко-експлуатаційних показників дозволяє виявити внутрішні резерви для покращання роботи АТП. До техніко-експлуатаційних показників роботи вантажних автомобілів належать [6, с. 93]:

1. Середньодобова тривалість перебування автомобіля у наряді

$$\bar{T}_n = \frac{\sum AT_n}{\sum AD_p}, \text{ год.}, \quad (1)$$

де  $\sum AT_n$  – загальна кількість автомобіле-годин у наряді;  $\sum AD_p$  – загальна кількість автомобіле-днів роботи.

2. Коефіцієнт використання часу у наряді, який застосовують для виявлення резервів невикористаного часу

$$k_{en} = \frac{\sum t_{pyx} + \sum t_n + \sum t_p}{\sum AT_n}, \quad (2)$$

де  $\sum t_{pyx}$  – час руху автомобіля, год.;  $t_n$  – час навантаження автомобіля, год.;  $t_p$  – час розвантаження автомобіля, год.

3. Середня дальність їздки, яка характеризує середню величину пробігу автомобіля з вантажем, що припадає на кожну виконану їздку

$$\bar{l}_e = \frac{l_e}{n}, \text{ км}, \quad (3)$$

де  $l_e$  – пробіг автомобіля із вантажем, км;  $n$  – кількість здійснених їздок.

4. Середня відстань перевезення однієї тонни вантажу, яка характеризує середній пробіг вантажу у конкретних умовах експлуатації

$$\bar{l}_m = \frac{P}{Q}, \text{ км}, \quad (4)$$

де  $P$  – вантажооборот, тонно-км;  $Q$  – загальна кількість перевезених тонн вантажу.

5. Швидкість доставки вантажів, що є найважливішим якісним показником роботи автомобільного транспорту, характеризується такими двома показниками:

а) середня технічна швидкість руху автомобіля

$$\bar{v}_m = \frac{L}{t_{pyx}}, \text{ км/год.}, \quad (5)$$

де  $L$  – загальний пробіг, км;  $t_{pyx}$  – час автомобіля у русі, включаючи зупинки біля світлофорів та шлагбаумів, год.

б) середня комерційна (експлуатаційна) швидкість

$$\bar{v}_e = \frac{L}{\sum AT_n}, \text{ км/год.} \quad (6)$$

Комерційна швидкість є узагальнюючим показником, оскільки синтезує вплив головних елементів транспортного процесу (технічної швидкості, часу простою під навантаженням-розвантаженням, середньої відстані перевезення, коефіцієнта використання пробігу) на швидкість доставки вантажів.

6. Час простою під навантаженням-розвантаженням, який залежить від вантажопідйомності автомобіля і його типу, а також організації навантажувально-розвантажувальних робіт і характеризується такими двома показниками:

а) середній час простою під навантаженням-розвантаженням, що припадає на одну їздку

$$\bar{t}_{n-p} = \frac{\sum t_n + \sum t_p}{n}, \text{ год.}; \quad (7)$$

б) середній час простою під навантаженням-розвантаженням на одну тонну вантажу

$$\bar{t}_{n-p(m)} = \frac{\sum t_n + \sum t_p}{Q}, \text{ год.} \quad (8)$$

7. *Коефіцієнт використання вантажопідйомності*, що характеризує використання номінальної вантажопідйомності автомобілів (причепів). Розрізняють статичний і динамічний коефіцієнти:

а) *коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності*

$$\gamma_{cm} = \frac{\sum Q}{\sum n \cdot q_i}, \quad (9)$$

де  $\bar{q}_i$  – середня вантажопідйомність спискового автомобіля, тонн.

б) *коефіцієнт динамічного використання вантажопідйомності*

$$\gamma_d = \frac{\sum P}{\sum l_e \cdot q_i}, \quad (10)$$

де  $\sum P$  – фактичний вантажооборот, тонно-км;  $\sum l_e$  – пробіг автомобіля із вантажем, км.

Динамічний коефіцієнт, на відміну від статичного, враховує, при яких їздах (ближніх, дальніх) краще використана вантажопідйомність.

8. Для оцінки використання загального пробігу застосовують відносний показник – *коефіцієнт використання пробігу*

$$\beta = \frac{\sum l_e}{\sum L}, \quad (11)$$

де  $L$  – загальний пробіг, км.

Даний показник дозволяє встановити співвідношення виробничих пробігів автомобілів із невиробничими (порожніми, нульовими).

9. *Середньодобовий пробіг автомобіля* визначається за формулою

$$\bar{l}_o = \frac{L}{\sum AD_p}, \text{ км,} \quad (12)$$

де  $\sum AD_p$  – загальна кількість автомобіле-днів роботи.

10. *Показники продуктивності автомобілів*, які вимірюються у тонно-кілометрах на одну тону вантажопідйомності автомобіля за одиницю часу: 1 автомобіле-тонно-годину наряда, 1 автомобіле-день роботи, 1 спискову автомобіле-тону.

а) *продуктивність на одну автомобіле-тонно-годину наряда*

$$W_{m.zod} = \sum P / \sum ATG_n, \quad (13)$$

де  $\sum ATG_n$  – загальна кількість автомобіле-тонно-годин наряда.

б) *продуктивність на один автомобіле-тонно-день роботи*

$$W_{m.o} = \sum P / \sum ATD_p, \quad (14)$$

де  $\sum ATD_p$  – сума автомобіле-тонно-днів роботи.

в) *продуктивність на одну спискову автомобіле-тону*

$$W_{a.m} = \sum P / \sum m_a, \quad (15)$$

де  $\sum m_a$  – загальна кількість спискових автомобіле-тонн.

Особливість і рівень впливу техніко-експлуатаційних показників на ефективність функціонування автомобільного вантажного транспорту проводиться способом ланцюгових підстановок у вигляді, котрий дозволяє зробити практичні розрахунки.

Аналіз перевезень пасажирів за методикою мало чим відрізняється від вантажних перевезень. Послідовність етапів аналізу перевезень пасажирів рейсовими автобусами здійснюється в наступній послідовності:

1) проводять порівняння загальних базисних підсумків і звітних даних про кількість перевезених пасажирів і пасажирообороту, оцінюють вплив виконання завдання на окремих маршрутах на загальні результати роботи;

2) визначають рівень дотримання маршрутного розкладу і виконання запланованих рейсів;

3) оцінюють рівні показників, що характеризують ефективність функціонування транспорту, а потім визначають ступінь їх впливу на транспортну роботу.

Для характеристики умов виконання автобусних перевезень обчислюють такі техніко-експлуатаційні показники роботи рухомого складу [6, с. 95]:

1. *Середньодобова тривалість перебування автобуса у наряді* ( $\bar{T}_n$ ).

2. Середньодобовий пробіг автобуса ( $\bar{l}_d$ ).

Перші два показника обчислюються так само, як і для вантажних автомобілів.

3. Середня швидкість сполучення

$$\bar{v}_c = \Sigma l_k / \Sigma AT_p, \quad (16)$$

де  $\Sigma l_k$  – корисний пробіг, км;  $\Sigma AT_p$  – загальна кількість автомобіле-годин у русі.

4. Коефіцієнт корисного пробігу

$$\beta = \frac{\Sigma l_k}{\Sigma L}, \quad (17)$$

де  $L$  – загальний пробіг, км.

5. Коефіцієнт використання пасажиромісткості (коефіцієнт наповнення) визначають за формулою

$$\gamma_n = \frac{\Sigma Q_{nac}}{\Sigma Q_{nac.n}} = \frac{\Sigma Q_{nac}}{(\Sigma l_k) \cdot q_{nac}}, \quad (18)$$

де  $Q_{nac}$  – фактичний пасажирооборот у пасажиро-кілометрах;  $Q_{nac.n}$  – пасажирооборот при повному використанні місткості рухомого складу. Він визначається множенням середньої місткості спискового автомобіля ( $\bar{q}_{nac}$ ) на корисний пробіг ( $l_k$ ).

6. Показники продуктивності автобусів вимірюють у пасажиро-кілометрах на: одну автомобіле-місце-годину наряда, один автомобіле-місце-день роботи, одне спискове автомобіле-місце.

7. Найважливішим якісним показником роботи автобусних підприємств є регулярність руху. Визначають відсоток регулярності руху – співвідношення кількості рейсів без порушення розкладу до загальної кількості рейсів.

Вплив техніко-експлуатаційних показників на оцінку ефективності функціонування пасажирського транспорту, як і при вантажних перевезеннях, визначають за допомогою ланцюгових підстановок.

Для автомобілів-таксі основним показником, що впливає на ефективність їх використання, є коефіцієнт використання пробігу, що сприяє збільшенню пробігу і доходів. Він залежить від попиту населення на цей вид перевезень, раціонального розміщення стоянок автомобілів-таксі і більшості розглянутих техніко-експлуатаційних показників [6, с. 97].

Первинним документом з обліку таксомоторних перевезень є подорожній лист автомобіля-таксі. Для таксі його заповнюють аналогічно як для вантажного автомобіля та автобуса.

Абсолютні показники, отримані на основі зведення даних подорожніх листів, використовують для визначення техніко-експлуатаційних показників, які характеризують умови виконання таксомоторних перевезень. До них належать:

1. Середньодобова тривалість перебування автомобіля-таксі у наряді ( $\bar{T}_n$ ).

2. Середньодобовий пробіг таксі ( $\bar{l}_d$ ).

3. Середня комерційна швидкість ( $\bar{v}_e$ ).

Названі вище показники обчислюють так само, як і для вантажних автомобілів та автобусів.

4. Коефіцієнт платного пробігу, що характеризує частку платного пробігу від загальної величини пробігу автомобілів-таксі

$$\beta = \frac{\Sigma l_n}{\Sigma L}, \quad (19)$$

де  $\Sigma l_n$  – оплачений пробіг за звітний період, км;  $L$  – загальний пробіг, км.

5. Прибуток (виручка) на: одну автомобіле-годину роботи ( $\Pi_{1ag}$ ), один списковий автомобіль ( $\Pi_A$ ).

а) продуктивність на одну автомобіле-годину наряда

$$\Pi_{1ag} = \Sigma \Pi / \Sigma AT_n, \quad (20)$$

де  $\Sigma \Pi$  – загальна сума прибутку (виручки за звітний період).

б) продуктивність на один автомобіле-день роботи

$$\Pi_{1ad} = \Sigma \Pi / \Sigma AD_p, \quad (21)$$

де  $\Sigma AD_p$  – загальна кількість автомобіле-днів роботи за звітний період.

в) продуктивність на один списковий автомобіль

$$P_A = \sum \Pi / \sum A, \quad (22)$$

де  $\sum A$  – середньоспикова кількість автомобілів-таксі у звітному періоді.

Необхідною умовою ефективного функціонування автомобільного транспорту в ринкових умовах є висока конкурентоспроможність автотранспортного підприємства.

Конкурентоспроможність транспортних послуг визначається, в основному, двома факторами – рівнем собівартості послуг і рівнем їх якості. Зниження собівартості та підвищення якості перевезень конкретних вантажів і пасажирів – найважливіші напрямки підвищення конкурентоспроможності транспортних послуг.

Зниження собівартості перевезень може бути досягнуто за рахунок економії палива, запасних частин, шин, а також за рахунок підвищення ефективності функціонування автомобільного транспорту в регіоні.

Підвищення якості перевезень вантажів передбачає здійснення доставки точно у встановлені терміни при високій збереженості кількості і якості вантажів, що перевозяться. На перевезеннях пасажирів якість послуг визначається виконанням їх відповідно до розкладу руху та рівнем комфортності (зручності), які перевізник може надавати пасажирам.

Зміна собівартості перевезень залежить від двох груп факторів: I група – зумовили звітне значення загальної суми витрат, II група – визначили звітний обсяг перевезення (тонно-кілометрів, пасажиро-кілометрів, платні кілометри пробігу).

Вплив їх на собівартість обумовлюється різними причинами. Наприклад, зросла середньооблікова кількість автомобілів великої вантажопідйомності, що сприяло зміні структури автомобільного парку. Наслідком цього стало збільшення сум амортизаційних відрахувань, витрат на паливо, технічне обслуговування тощо. Однак погіршилось використання автомобілів на лінії за часом, зросли простой в очікуванні навантаження і розвантаження. І те, і інше сприяло зміні собівартості, але між собою ці причини не пов'язані.

При аналізі впливу техніко-експлуатаційних показників на собівартість перевезення виходять з того, що за ступенем впливу вони поділяються на дві групи.

До першої групи належать вантажопідйомність (місткість) рухомого складу, коефіцієнт використання вантажопідйомності і коефіцієнт використання пробігу.

Із збільшенням показників цієї групи підвищується ефективність функціонування автомобільного транспорту без підвищення величини пробігу. Вплив цієї групи показників на собівартість є ефективним, оскільки знижуються змінні і постійні витрати, що припадають на 10 ткм. При цьому сума змінних витрат змінюється несуттєво, тобто підвищення ефективності функціонування автомобільного транспорту випереджає зростання витрат.

Показники другої групи – коефіцієнт випуску автомобілів на лінію, тривалість роботи в наряді, технічна швидкість тощо – підвищують ефективність функціонування рухомого складу при значному збільшенні пробігу. З ростом пробігу підвищуються змінні витрати, що залежать від руху (паливно-мастильні матеріали, запасні частини, шини). Таким чином, ця група показників впливає на собівартість тільки через загальногосподарські витрати.

Правильний глибокий аналіз собівартості перевезень має надзвичайно важливе значення для виявлення внутрішніх невикористаних резервів, спрямованих на підвищення ефективності функціонування автомобільного транспорту.

Прибуток являє собою важливий узагальнюючий показник діяльності автомобільного транспорту. Балансовий прибуток складається з прибутку від перевезень, виконання транспортно-експедиційних операцій, вантажно-розвантажувальних робіт та інших видів діяльності.

Одним з найважливіших економічних показників, що характеризують ефективність функціонування автомобільного транспорту, є рентабельність. Показники рентабельності розраховуються відношенням ефекту (прибутку) до готівкових або використовуваних ресурсів (капітал, витрати та ін.).

Розрізняють рентабельність: продажів (розподіл прибутку на отриману виручку), рентабельність виробництва (відношення прибутку до витрат на виробництво), рентабельність інвестицій (розподіл прибутку на суму інвестицій), рентабельність капіталу (відношення прибутку до вартості капіталу). Необхідно зазначити, що показник рентабельності є складним, що враховує дію багатьох чинників.

Результати аналізу рентабельності повинні бути спрямовані на підвищення ефективності функціонування автомобільного транспорту за часом і продуктивністю.

**Висновки.** Проведене дослідження дозволило визначити основні підходи до оцінювання ефективності роботи автотранспортного підприємства в ринкових умовах. Подальші дослідження

проблематики будуть спрямовані на підвищення ефективності та створення умов для інноваційного розвитку транспортного забезпечення галузей національної економіки України.

1. Корецька С.О., Якимчук А.Ю. Економіка автомобільного транспорту: Навч. посібник. – Рівне: НУВГП, 2012. – 309 с.
2. Кулаєв Ю.Ф., Щелкунов В.И. Экономика гражданской авиации Украины: Монография. 2-е издание, дополненное и переработанное. – К.: «Фенікс», 2010. – 736 с.
3. Кучерук Г.Ю. Економічні методи управління якістю транспортних послуг: [Електронний ресурс] / Г.Ю. Кучерук // Ефективна економіка. – 2012. – № 7. – Режим доступу: <http://www/economy.nayka.com.ua>
4. Криворучко О.М. Системне оцінювання якості транспортних послуг // Стандартизація. Сертифікація. Якість. – 2011. – № 2(69). – С. 46-51.
5. Корецька С.О., Познаховський В.А. Аналіз виробничо-економічної діяльності автотранспортного підприємства: Навч. посібник. – Рівне: НУВГП, 2013. – 158 с.
6. Познаховський В.А., Кірічок О.Г. Транспортна статистика: Навч. посібник. – Рівне: НУВГП, 2016. – 198 с.

## REFERENCES

1. Koretskaya S., Yakymchuk A. (2012). The economy of road transport [Ekonomika avtomobilnogo transportu]: Textbook. – Rivne, NUWEE, 309 p.
2. Kulayev Y, Schelkunov V. (2010). Economy of Civil Aviation of Ukraine [Ekonomika grazhdanskoj aviatsii Ukrayiny]: Monograph. 2 nd edition, supplemented and revised. – Kyiv, Feniks Publ., 736 p.
3. Kucheruk G. Economic methods of quality management of transport services [Ekonomichni metody upravlinia yakistiu transportnyh poslug [electronic resource] / GU // Kucheruk efficient economy. – 2012. – № 7. – Access: <http://www/economy.nayka.com.ua>
4. Kryvoruchko O. Systematic evaluation of quality of transport service [Systemne otsiniuvania yakosti transportnyh poslug] // Standardization. Certification. Quality. – 2011. – № 2(69). – P. 46-51.
5. Koretskaya S., Poznahovskyy V. (2013). Analysis of production and economic activity of the motor company [Analiz vyrobnycho-ekonomichnoyi diyalnosti avtotransportnogo pidpryyemstva]: Training manual. – Rivne, NUWEE, 158 p.
6. Poznahovskyy V., Kirichok O. (2016). Transport statistics [Transportna statystyka]: Training manual. – Rivne, NUWEE, 198 p.

### *Познаховский В.А., Киричок А.Г. Оценка эффективности функционирования автомобильного транспорта.*

В статье рассмотрено обоснование критериев и показателей оценки эффективности работы автомобильного транспорта. Проанализированы технико-экономические показатели, которые влияют на эффективность использования подвижного состава.

**Ключевые слова:** качество автомобильных перевозок, конкурентность автотранспортных услуг, производительность подвижного состава, технико-экономические показатели, рентабельность, эффективность автотранспорта.

### **V. Poznahovskiy, O. Kirichok. Evaluation of road transport service.**

The requirements of transport processes mathematical models are presented in the article. The specific and structure of passenger traffic mathematical models are considered. The ways of optimization techniques and basic passenger traffic is proposed.

**Keywords:** quality road transport competition transport services, the performance of the rolling stock, technical and economic performance, profitability, efficiency vehicles.

### АВТОРИ:

**ПОЗНАХОВСЬКИЙ Віктор Анатолійович**, кандидат економічних наук, доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: [vik-1992@mail.ru](mailto:vik-1992@mail.ru)

**КІРІЧОК Олександр Георгійович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: [kirichokolexandr@gmail.com](mailto:kirichokolexandr@gmail.com)

### АВТОРЫ:

**ПОЗНАХОВСКИЙ Виктор Анатоліевич**, кандидат экономических наук, доцент кафедры транспортных технологий и технического сервиса, Национальный университет водного хозяйства и природопользования, e-mail: [vik-1992@mail.ru](mailto:vik-1992@mail.ru)

**КИРИЧОК Александр Георгиевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортных технологий и технического сервиса, Национальный университет водного хозяйства и природопользования, e-mail: [kirichokolexandr@gmail.com](mailto:kirichokolexandr@gmail.com)



**AUTHORS:**

*Victor POZNAHOVSKYY*, PhD in Economics, Assoc. Professor of Transport Technology and Service Department, National University of Water and Environmental Engineering,, e-mail: [vik-1992@mail.ru](mailto:vik-1992@mail.ru)

*Oleksandr KIRICHOK*, PhD in Engineering, Assoc. Professor of Transport Technology and Service Department, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: [kirichokolexandr@gmail.com](mailto:kirichokolexandr@gmail.com)

Стаття надійшла в редакцію

30.04.2017 р.

Пустюльга С.І., Самостян В.Р., Клак Ю.В.  
Луцький національний технічний університет

## ПОБУДОВА ДИСКРЕТНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОСТОРОВИХ ЗАМКНУТИХ ТРАЕКТОРІЙ ІЗ ЗАДАНИМИ ГЕОМЕТРИЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

У роботі досліджуються процеси формоутворення дискретних моделей замкнутих просторових кривих із врахуванням заданих вихідних вимог до геометрії модельованих об'єктів. Розроблено комплексний параметричний підхід до врахування поставлених геометричних вимог при формуванні образів. Запропоновано математичну модель дискретного формоутворення замкнутих траєкторій із використанням апарату числових послідовностей. Досліджено вплив розподілу складових формоутворюючого навантаження у вузлах модельованих замкнутих об'єктів на параметри їх гладкості. Запропоновано алгоритми переходу від дискретних моделей замкнутих просторових траєкторій до їх неперервних аналогів.

**Ключові слова:** дискретні моделі, параметричний підхід, замкнуті траєкторії, просторові криві, апарат числових послідовностей, неперервні аналоги дискретних моделей.

**Постановка проблеми.** При практичній інженерній реалізації траєкторних задач однією із основних вимог є повна відсутність різких змін або стрибків кривини на замкнутих чи не замкнутих плоских криволінійних контурах. Реалізація такої геометричної вимоги до криволінійних траєкторій технічних об'єктів дозволяє, наприклад, мінімізувати турбулентні завихрення в гідро-аеродинаміці, негативні удари та поштовхи при експлуатації різних механічних вузлів і т.і. [1]. Для вирішення такого роду завдань потрібні не просто гладкі плоскі замкнуті лінії, а криві з плавною зміною кривини або з іншими подібними властивостями. Однак використання кривих з неперервною зміною кривини не завжди є можливим через технологічні та алгоритмічні особливості, а застосування сегментів кривих із кусково-неперервною кривиною - не завжди надає можливість досягти ефективного результату [10].

Ще складніша ситуація виникає, якщо модельовані траєкторії є просторовими замкнутими кривими і проектувальнику необхідно контролювати не тільки плавну зміну кривини, а і скруту. Наприклад, задача проектування просторової кільцевої автомобільної дороги на острові-вулкані Aogashima потребує не тільки виконання умови проходження моделі через набір попередньо заданих, реперних точок але і забезпечення плавної зміни кривини та скруту модельованої траєкторії (рис. 1). Тому, для успішної роботи над наведеним проектом, інженери повинні бути обізнаними із різними геометричними характеристиками просторових кривих, уміти їх інтерпретувати та використовувати.

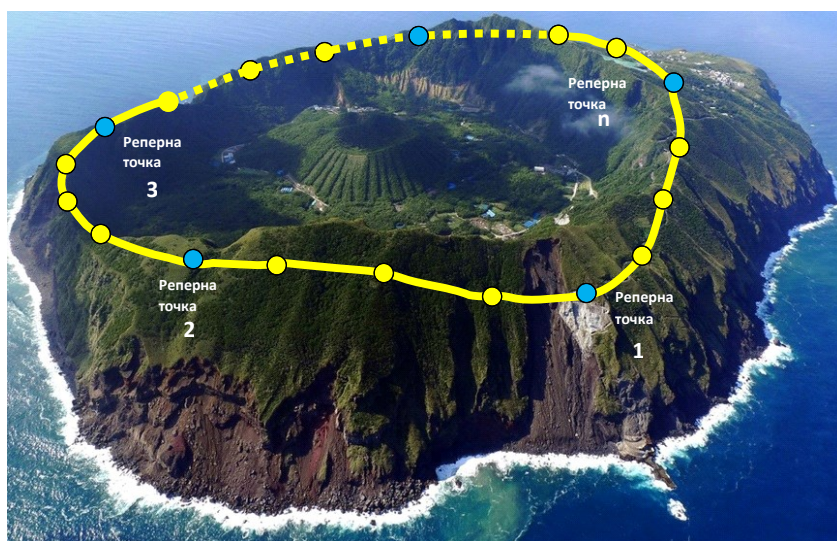


Рис.1. Острів Aogashima з вулканом і проект туристичної дороги

Вищеназвані проблеми проектування можуть, у ряді випадків, зняти дискретні методи моделювання замкнутих просторових одновимірних образів із набором заданих геометричних властивостей.

При цьому важливими характеристиками створюваних моделей залишаються: дискретний аналог гладкості утворених точкових множин, наявність особливих точок, орієнтація моделі просторової кривої, значення дискретних аналогів кривини та скруту у вузлах, площа проєкції замкнутої області, довжина дискретної моделі ділянки або

всієї замкнутої траєкторії і т. і.

**Аналіз останніх досліджень.** Серед найбільш відомих методів дискретного моделювання геометричних образів довільної розмірності є статико-геометричний метод формування дискретно представлених об'єктів за рахунок дії функціонально заданого формоутворюючого навантаження на вузли моделі [2]. Маючи певні переваги над іншими дискретними методами, статико-геометричний метод, завдяки практично необмеженій кількості вільних параметрів для врахування вихідних умов, зовсім не використовувався для задач моделювання дискретних аналогів просторових замкнутих траєкторій, а тим паче із врахуванням плавної зміни кривини та скруту у вузлах моделі.

Розроблений у роботі [3] метод дискретного моделювання технічних об'єктів за допомогою математичного апарату числових послідовностей, адекватний системам лінійних рівнянь статико-геометричного методу, вирішив низку проблем дискретного формоутворення геометричних образів із рівновагою у вузлах і відкрив можливість ефективного переходу від дискретних моделей до неперервних і навпаки. У наукових працях [4,5,6,7,8,9], за допомогою апарату одновимірних числових послідовностей, були розроблені алгоритми дискретного моделювання кривих із врахуванням функціональної зміни кривини, плоских замкнутих траєкторій за заданими геометричними вимогами, еквідистант до сформованих дискретних моделей кривих. Однак відсутні роботи із розробки алгоритмів дискретного моделювання замкнутих просторових кривих із рівновагою у вузлах формованої моделі за допомогою математичного апарату числових послідовностей. Відтак, розробка підходів та алгоритмів дискретного моделювання просторових кривих такого класу, із врахуванням низки заданих метричних та диференціальних вимог до об'єктів, може суттєво спростити розв'язання цілої низки практичних задач.

**Формування цілей роботи.** Метою даних досліджень є розробка підходів та алгоритмів дискретного моделювання зрівноважених просторових замкнутих кривих із визначеними метричними та диференціальними властивостями за допомогою математичного апарату числових послідовностей, а також програмна реалізація розроблених алгоритмів в середовищі **Mathcad**.

**Основна частина.** Відповідно до результатів, отриманих у роботі [8], при дискретному моделюванні плоских одновимірних геометричних об'єктів апаратом числовими послідовностями основним формоутворюючим фактором є множина векторів зовнішнього формоутворюючого навантаження, прикладених до вузлів моделі. Координатні складові формоутворюючого навантаження у багатьох випадках дають можливість прогнозувати динаміку зміни геометрії моделі, виражати метричні та диференціальні характеристики формованого образу через параметри складових навантаження, керувати функцією навантаження на вузли образу у процесі можливих ітерацій.

Дискретне моделювання просторових замкнутих кривих має певні свої особливості. Моделювання проходить по окремим координатним складовим моделі у параметричному вигляді. Для такої інтерпретації процесу дискретного моделювання графіки координатних складових функцій навантаження в розрахованих точках моделі, у сукупності, з одного боку забезпечують виконання метричних вимог, а з іншого боку однозначно характеризують ступінь гладкості замкнутої кривої на множині вузлів формованого образу. Якщо всі функції розподілу координатних складових навантаження є дискретними аналогами неперервних функцій то, відповідно до цього, буде забезпечуватись і гладкість кінцевої моделі формованого образу. За наявності стрибків на хоча б одному із графіків навантаження втрачається гладкість між сформованими вузлами модельованої замкнутої кривої, а при наявності стрибків навантаження у вузлах формованої моделі - з'являться точки розривів. Коефіцієнти у функціях розподілу складових навантаження слугують крім того вільними параметрами для врахування практично необмеженої кількості вихідних даних та умов при дискретному моделюванні замкнутих одновимірних образів. Процес дискретного моделювання зрівноважених просторових замкнутих кривих апаратом числових послідовностей можна описати, у параметричному вигляді, наступною системою рівнянь:

$$\begin{cases} x_n = (1 - \frac{n}{N})x_0 + \frac{n}{N}x_N + \frac{n}{N} \sum_{v=1}^{N-1} \sum_{s=1}^v kP_s^x - \sum_{v=1}^{n-1} \sum_{s=1}^v kP_s^x, \\ y_n = (1 - \frac{n}{N})y_0 + \frac{n}{N}y_N + \frac{n}{N} \sum_{v=1}^{N-1} \sum_{s=1}^v kP_s^y - \sum_{v=1}^{n-1} \sum_{s=1}^v kP_s^y, \\ z_n = (1 - \frac{n}{N})z_0 + \frac{n}{N}z_N + \frac{n}{N} \sum_{v=1}^{N-1} \sum_{s=1}^v kP_s^z - \sum_{v=1}^{n-1} \sum_{s=1}^v kP_s^z. \end{cases} \quad (1)$$

де  $x_0, x_N, y_0, y_N, z_0, z_N$  - крайові умови,

$N$  - порядковий номер вузла замикання,

$kP_s^x, kP_s^y, kP_s^z$  - складові функціонально розподіленого навантаження у вузлах моделі.

Систему числових послідовностей (1), для спрощення, можна замінити одним рівнянням виду (2) із узагальненою координатною складовою  $u$ .

$$u_n = \left(1 - \frac{n}{N}\right)u_0 + \frac{n}{N}u_N + \frac{n}{N} \sum_{v=1}^{N-1} \sum_{s=1}^v (k \times P_s^u f(s)) - \sum_{v=1}^{n-1} \sum_{s=1}^v (k \times P_s^u f(s)) \quad (2)$$

Система (1) буде у тому випадку представляти просторову чи плоску замкнуту траєкторію, якщо знайдеться такий період  $\mu$ , на якому при фіксованому значенні  $n$  одночасно виконуються умови:

$$\begin{aligned} x_n &= x_{n+\mu} \\ y_n &= y_{n+\mu} \\ z_n &= z_{n+\mu} \end{aligned} \quad (3)$$

Якщо елементи таких трьох числових послідовностей (3) представляють собою числові ряди, фіксована множина елементів яких повторюється із певною періодичністю  $\mu$ , то відповідні числові послідовності називаються періодичними і графічно інтерпретують замкнуті просторові дискретно представлені криві на відповідному проміжку. При цьому для будь-яких  $n$  у числових послідовностях (1) необхідне виконання умови (3).

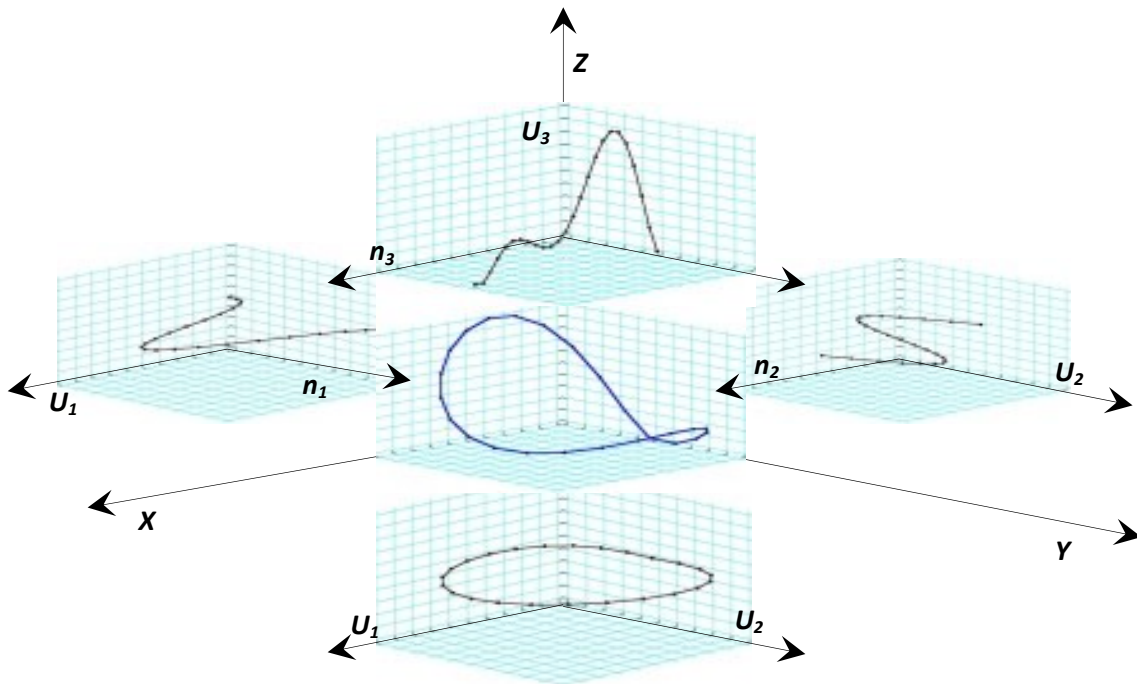


Рис.2. Дискретне моделювання координатних складових просторової

Числові послідовності, певна множина елементів яких на границях циклу повторюються із періодом  $\mu$  будемо називати циклічними послідовностями. Умовою для таких послідовностей з фіксованими значеннями  $n$  та  $\mu \in$ , наприклад:

$$\begin{aligned} x_n &= x_{n+\mu}, x_{n-1} = x_{n-1+\mu}, x_{n+1} = x_{n+1+\mu} \dots \\ y_n &= y_{n+\mu}, y_{n-1} = y_{n-1+\mu}, y_{n+1} = y_{n+1+\mu} \dots \\ z_n &= z_{n+\mu}, z_{n-1} = z_{n-1+\mu}, z_{n+1} = z_{n+1+\mu} \dots \end{aligned} \quad (4)$$

Як було зазначено вище, при дискретному моделюванні і плоских, і просторових замкнутих кривих однією із найважливіших геометричних характеристик є дискретний аналог порядку гладкості супровідної ламаної заданого образу, або якщо точніше – гладкості дискретних моделей їх окремих координатних складових (рис. 2).

При моделюванні дискретних аналогів просторових замкнутих гладких кривих можна використовувати властивості порядків центральних різниць у вузлах для визначення “ступеня гладкості” супровідних ламаних, побудованих на отриманих числових рядах. Порядок центральних різниць між членами послідовності або координатами вузлів моделі (з точністю до множника) є дискретним аналогом порядку похідних у визначеній точці кривої.

Дискретне моделювання зрівноважених замкнутих просторових кривих у параметричному вигляді (1) прямо залежить від значень складових зовнішнього формоутворюючого навантаження. Якщо значення складових навантаження у вузлах дискретної моделі для визначених граничних умов мають функціональний розподіл – дискретну модель замкнутої просторової кривої будемо вважати гладкою у всіх точках моделі, у тому числі і в точці замикання. Якщо значення навантаження хоча б однієї із координатних складових будуть мати кусково-функціональний розподіл – дискретна модель просторової кривої буде включати особливі точки. Тому треба звернути увагу на те, що для забезпечення гладкості замкнутої просторової кривої у точці замикання, необхідним є функціональний розподіл всіх координатних складових значень навантаження не тільки між граничними вузлами, але й у самих граничних вузлах.

Відповідно до наведених вище міркувань, при дискретному моделюванні гладкої у точці замикання зрівноваженої замкнутої просторової кривої із  $n$  внутрішніми вузлами на проміжку  $[0, n+3]$  повинна формуватися система числових послідовностей виду (5), із якої знаходяться невідомі параметри моделювання.

$$\begin{aligned}
 & \left(1 - \frac{3}{N}\right)u_0 + \frac{3}{N}u_N + \frac{3}{N} \sum_{v=1}^{N-1} \sum_{s=1}^v (k \times P_s^v f(s)) - \sum_{v=1}^{3-1} \sum_{s=1}^v (k \times P_s^v f(s)) = u_r, \\
 & \left(1 - \frac{N+2}{N}\right)u_0 + \frac{N+2}{N}u_N + \frac{N+2}{N} \sum_{v=1}^{N-1} \sum_{s=1}^v (k \times P_s^v f(s)) - \sum_{v=1}^{3-1} \sum_{s=1}^v (k \times P_s^v f(s)) = u_r, \\
 & \left(1 - \frac{\frac{1}{4}(N-1)+3}{N}\right)u_0 + \frac{\frac{1}{4}(N-1)+3}{N}u_N + \frac{\frac{1}{4}(N-1)+3}{N} \sum_{v=1}^{N-1} \sum_{s=1}^v (k \times P_s^v f(s)) - \\
 & \frac{1}{4} \sum_{v=1}^{(N-1)+3-1} \sum_{s=1}^v (k \times P_s^v f(s)) = u_k, \\
 & \left(1 - \frac{\frac{2}{4}(N-1)+3}{N}\right)u_0 + \frac{\frac{2}{4}(N-1)+3}{N}u_N + \frac{\frac{2}{4}(N-1)+3}{N} \sum_{v=1}^{N-1} \sum_{s=1}^v (k \times P_s^v f(s)) - \\
 & \frac{2}{4} \sum_{v=1}^{(N-1)+3-1} \sum_{s=1}^v (k \times P_s^v f(s)) = u_t, \\
 & \left(1 - \frac{\frac{3}{4}(N-1)+3}{N}\right)u_0 + \frac{\frac{3}{4}(N-1)+3}{N}u_N + \frac{\frac{3}{4}(N-1)+3}{N} \sum_{v=1}^{N-1} \sum_{s=1}^v (k \times P_s^v f(s)) - \\
 & \frac{3}{4} \sum_{v=1}^{(N-1)+3-1} \sum_{s=1}^v (k \times P_s^v f(s)) = u_w, \\
 & \left(1 - \frac{2}{N}\right)u_0 + \frac{2}{N}u_N + \frac{2}{N} \sum_{v=1}^{N-1} \sum_{s=1}^v (k \times P_s^v f(s)) - \sum_{v=1}^{2-1} \sum_{s=1}^v (k \times P_s^v f(s)) = \\
 & \left(1 - \frac{N+1}{N}\right)u_0 + \frac{N+1}{N}u_N + \frac{N+1}{N} \sum_{v=1}^{N-1} \sum_{s=1}^v (k \times P_s^v f(s)) - \sum_{v=1}^N \sum_{s=1}^v (k \times P_s^v f(s)), \\
 & \left(1 - \frac{4}{N}\right)u_0 + \frac{4}{N}u_N + \frac{4}{N} \sum_{v=1}^{N-1} \sum_{s=1}^v (k \times P_s^v f(s)) - \sum_{v=1}^{4-1} \sum_{s=1}^v (k \times P_s^v f(s)) = \\
 & \left(1 - \frac{N+3}{N}\right)u_0 + \frac{N+3}{N}u_N + \frac{N+3}{N} \sum_{v=1}^{N-1} \sum_{s=1}^v (k \times P_s^v f(s)) - \sum_{v=1}^{N+2} \sum_{s=1}^v (k \times P_s^v f(s))
 \end{aligned} \tag{5}$$

де  $u_0, u_N$  - узагальнені координати крайових умов,

$u_r$  - узагальнені координати граничних умов,

$u_k, u_t, u_w$  і т. д. - узагальнені координати реперних точок,



$N$  - порядковий номер вузла замикання,

$k \times P_s^u f(s)$  - координатні складові функціонально розподіленого навантаження у вузлах моделі.

Система лінійних рівнянь (5) включає: сукупність рівнянь координатних складових, що відповідають за замкнутість просторової моделі кривої, множину рівнянь, що забезпечують проходження кривої через визначені реперні точки, множину рівнянь, що забезпечують диференціальні характеристики, тобто порядок гладкості у вузлах модельованого образу. Розв'язком системи (5) будуть визначені коефіцієнти рівнянь системи (1) для побудови дискретної моделі зрівноваженої замкнутої просторової кривої.

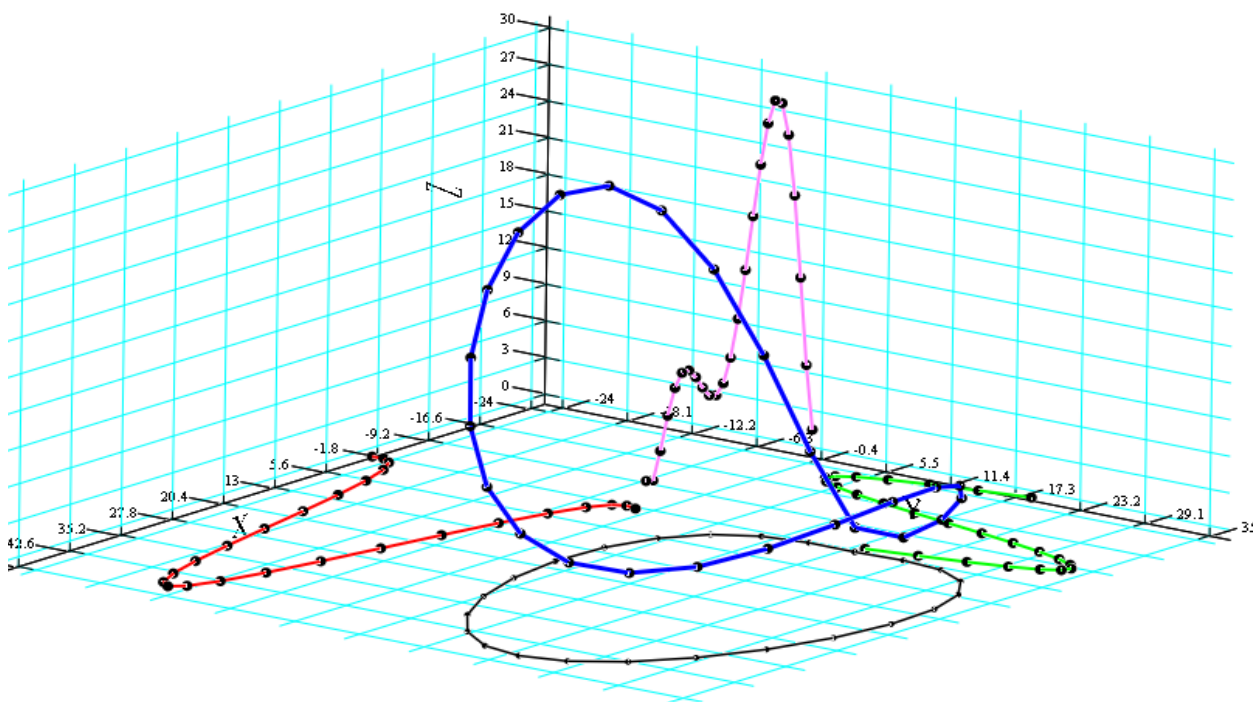


Рис.3. Параметричне представлення процесу дискретного моделювання гладкої просторової

Параметричний аналіз на сумісність системи рівнянь (5) дає можливість ефективно підібрати порядок функцій розподілу навантаження у вузлах дискретної моделі для кожної із координатних складових, керуючи якими можна в динаміці змінювати геометричні характеристики формованих образів, а відтак і кінцевої дискретної моделі замкнутої просторової кривої (рис.3).

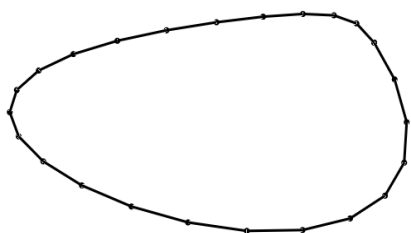


Рис.4. Приклад розрахункової моделі осі туристичної дороги для острова **Aogashima**

При дискретному моделюванні просторових замкнутих траєкторій числовими послідовностями слід особливо відмітити, що розміри системи рівнянь (5) зовсім не пов'язані із кількістю внутрішніх вузлів для формування образу.

Розроблена модель векторного представлення навантаження у вузлах дає всі можливості для динамічного коригування геометрії дискретної моделі гладкої просторової кривої, забезпечує можливість врахування заданої довжини просторової кривої, визначати дискретні аналоги кривини та скруту у вузлах моделі, а також дозволяє швидко проводити згущення вузлів, при заміні дискретних змінних на неперервні - переходити до неперервних аналогів модельованих кривих, тощо. Приклад побудови дискретної розрахункової моделі замкнутої гладкої просторової кривої відповідно умов (рис.1) наведено на рис. 4.

**Висновки.** У роботі запропоновано спосіб формоутворення дискретних моделей замкнутих просторових кривих із врахуванням заданих вихідних вимог до геометрії модельованих об'єктів.

Розроблено комплексний параметричний підхід до врахування поставлених геометричних вимог при формуванні образів. Запропоновано математичну модель дискретного формоутворення просторових замкнутих траєкторій із використанням апарату числових послідовностей. Досліджено вплив розподілу складових формоутворюючого навантаження у вузлах модельованих об'єктів на параметри їх гладкості. Запропоновано алгоритми переходу від дискретних моделей замкнутих просторових траєкторій до їх неперервних аналогів.

1. Лигун А. Асимптотические методы восстановления кривых / А. Лигун, А. Шумейко ; Институт математики - Киев, 1997. – 357 с.
2. Ковалев С.Н. Формирование дискретных моделей поверхностей пространственных архитектурных конструкций. Дисс. докт. техн. наук: 05.01.01 / Ковалев Сергей Николаевич ; – Москва, 1986. – 348 с.
3. Пустюльга С.І. Дискретне визначення геометричних об'єктів числовими послідовностями. Дис. докт. техн. наук. 05.01.01. / Пустюльга Сергій Іванович ; Київ: КНУБА, 2006. – 320с.
4. Пустюльга С.І. Дискретне моделювання одновимірних образів на рівномірній сітці за заданою функцією розподілу кривини / С.І. Пустюльга, В.Р. Самостян // Прикладна геометрія та інженерна графіка: Зб. наук. пр. - К., 2007. - Вип. 78. – С. 58-63.
5. Пустюльга С.І. Дискретне геометричне моделювання зрівноважених замкнутих кривих числовими послідовностями / С.І. Пустюльга, В.Р. Самостян // Прикладна геометрія та інженерна графіка: Зб. наук. пр. - К., 2011. - Вип. 87. – С. 314-319.
6. Пустюльга С.І. Дискретне геометричне моделювання зрівноважених замкнутих кривих числовими послідовностями / С.І. Пустюльга, В.Р. Самостян, Ю.В. Клак, А.А. Хомич // Наукові нотатки ЛНТУ. – Луцьк: ЛНТУ, 2011. - Вип.31. - С. 295-298.
7. Пустюльга С.І. Дискретне векторне формування моделей еквідистантних кривих / С.І. Пустюльга, В.Р. Самостян, А.А. Хомич // Прикладна геометрія та інженерна графіка: Зб. наук. пр. - К., 2012. - Вип. 90. – С. 281-285.
8. Пустюльга С.І. Формування дискретних моделей зрівноважених замкнутих кривих за заданими вимогами математичним апаратом числових послідовностей / С.І. Пустюльга, В.Р. Самостян, А.А. Хомич // Наукові нотатки ЛНТУ. – Луцьк: ЛНТУ, 2013. - Вип. 41. - С. 144-147.
9. Пустюльга С.І. Дискретне формування еквідистант до моделей замкнутих кривих апаратом числових послідовностей / С.І. Пустюльга, В.Р. Самостян, А.А. Хомич // Наукові нотатки ЛНТУ. – Луцьк: ЛНТУ, 2014. - Вип. 44. - С. 227-232.
10. Малоземов В.Н. Избранные главы дискретного гармонического анализа и геометрического моделирования / В.Н. Малоземов // Санкт-Петербургский государственный университет., 2009. – 584с.

#### REFERENCES

1. Ligon A. Asimptoticheskie metody vosstanovleniya krivykh / A. Ligon, A. Shumejko ; Institut matematiki - Kiev, 1997. – 357 s.
2. Kovalev S.N. Formirovanie diskretnykh modelej poverhnostrykh prostranstvennykh arhitekturnykh konstrukcij. Diss. dokt. tekhn. nauk: 05.01.01 / Kovalev Sergej Nikolaevich ; – Moskva, 1986. – 348 s.
3. Pustjul'ga S.I. Diskretnne viznachennya geometrichnih ob'ektiv chislovimi poslidovnostyami. Dis. dokt. tekhn. nauk. 05.01.01. / Pustjul'ga Sergij Ivanovich ; Kiiv: KNUBA, 2006. – 320s.
4. Pustjul'ga S.I. Diskretnne modelyuvannya odnovimirnih obraziv na rivnomirnij sitci za zadanoyu funkcieyu rozpodilu krivini / S.I. Pustjul'ga, V.R. Samostyan // Prikladna geometriya ta inzhenerna grafika: Zb. nauk. pr. - K., 2007. - Vip. 78. – S. 58-63.
5. Pustjul'ga S.I. Diskretnne geometrichne modelyuvannya zrivnovazhenih zamknutih krivykh chislovimi poslidovnostyami / S.I. Pustjul'ga, V.R. Samostyan // Prikladna geometriya ta inzhenerna grafika: Zb. nauk. pr. - K., 2011. - Vip. 87. – S. 314-319.
6. Pustjul'ga S.I. Diskretnne geometrichne modelyuvannya zrivnovazhenih zamknutih krivykh chislovimi poslidovnostyami / S.I. Pustjul'ga, V.R. Samostyan, YU.V. Klak, A.A. Homich // Naukovi notatki LNTU. – Luc'k: LNTU, 2011. - Vip.31. - S. 295-298.
7. Pustjul'ga S.I. Diskretnne vektorne formuvannya modelej ekvidistantnih krivykh / S.I. Pustjul'ga, V.R. Samostyan, A.A. Homich // Prikladna geometriya ta inzhenerna grafika: Zb. nauk. pr. - K., 2012. - Vip. 90. – S. 281-285.
8. Pustjul'ga S.I. Formuvannya diskretnih modelej zrivnovazhenih zamknutih krivykh za zadanimi vimogami matematichnim aparatom chislovih poslidovnostej / S.I. Pustjul'ga, V.R. Samostyan, A.A. Homich // Naukovi notatki LNTU. – Luc'k: LNTU, 2013. - Vip. 41. - S. 144-147.
9. Pustjul'ga S.I. Diskretnne formuvannya ekvidistant do modelej zamknutih krivykh aparatom chislovih poslidovnostej / S.I. Pustjul'ga, V.R. Samostyan, A.A. Homich // Naukovi notatki LNTU. – Luc'k: LNTU, 2014. - Vip. 44. - S. 227-232.
10. Malozemov V.N. Izbrannye glavy diskretnogo garmonicheskogo analiza i geometricheskogo modelirovaniya / V.N. Malozemov // Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet., 2009. – 584s.

**Пустюльга С.І., Самостян В.Р., Клак Ю.В. Построение дискретных моделей пространственных замкнутых траекторий с заданными геометрическими свойствами.**

В работе исследуются процессы формообразования дискретных моделей замкнутых пространственных кривых с учетом заданных исходных требований к геометрии моделируемых объектов. Разработан комплексный параметрический подход к учету поставленных геометрических требований при формировании образов. Предложена математическая модель дискретного формообразования замкнутых

траекторий с использованием аппарата числовых последовательностей. Исследовано влияние распределения составляющих формообразующей нагрузки в узлах моделируемых объектов на параметры их гладкости. Предложены алгоритмы перехода от дискретных моделей замкнутых пространственных траекторий к их непрерывным аналогам.

**Ключевые слова:** дискретные модели, параметрический подход, замкнутые траектории, пространственные кривые, аппарат числовых последовательностей, непрерывные аналоги дискретных моделей.

**S. Pustiulha, V. Samostian, Yu. Klak. Construction of discrete models of spatial closed trajectories with given geometric properties.**

In the paper, the processes of formation of discrete models of closed spatial curves are investigated with allowance for given initial requirements to the geometry of the objects being modeled. The complex parametric approach to the account of the put geometrical requirements at formation of images is developed. A mathematical model of discrete formation of closed trajectories using the apparatus of numerical sequences is proposed. The influence of the distribution of the components of the forming load in the nodes of the simulated objects on the parameters of their smoothness is investigated. Algorithms of transition from discrete models of closed spatial trajectories to their continuous analogues are proposed.

**Keywords:** discrete models, parametric approach, closed trajectories, spatial curves, the apparatus of numerical sequences, continuous analogues of discrete models.

**АВТОРИ:**

*ПУСТЮЛЬГА Сергій Іванович*, доктор технічних наук, професор кафедри інженерної та комп'ютерної графіки, декан МБФ, Луцький національний технічний університет e-mail: mbf.dec@mail.ru.

*САМОСТЯН Віктор Русланович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерної та комп'ютерної графіки, Луцький національний технічний університет e-mail: [cvmbf@ukr.net](mailto:cvmbf@ukr.net).

*КЛАК Юрій Володимирович*, асистент кафедри інженерної та комп'ютерної графіки, Луцький національний технічний університет e-mail: uklak@i.ua

**АВТОРЫ:**

*ПУСТЮЛЬГА Сергей Иванович*, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной и компьютерной графики, декан МСФ, Луцкий национальный технический университет e-mail: mbf.dec@mail.ru

*САМОСТЯН Виктор Русланович*, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной и компьютерной графики, Луцкий национальный технический университет e-mail: [cvmbf@ukr.net](mailto:cvmbf@ukr.net).

*КЛАК Юрий Владимирович*, ассистент кафедры инженерной и компьютерной графики, Луцкий национальный технический университет e-mail: uklak@i.ua

**AUTHORS:**

*Serhii PUSTIULHA*, Doctor of Technical Sciences, Professor of Engineering and Computer Graphics department, Dean of MBF, Lutsk National Technical University e-mail: mbf.dec@mail.ru

*Viktor SAMOSTIAN*, Ph.D in Engeneering, associate professor of engineering and computer graphics department, Lutsk National Technical University e-mail: [cvmbf@ukr.net](mailto:cvmbf@ukr.net).

*Yuri KLAК*, assistant of engineering and computer graphics department, Lutsk National Technical University e-mail: uklak@i.ua

Стаття надійшла в редакцію 30.04.2017 р.

Рибай О.В.  
Луцький національний технічний університет**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОБУСІВ  
В УКРАЇНІ**

Помітне зростання обсягів перевезення пасажирів в Україні за останні кілька років в значній мірі забезпечується збільшенням парку автобусів.

Аналіз експлуатації автобусів у Волинській області щодо пасажирських перевезень показав досить низьку ефективність їх використання – позапланові простой дуже значні. Аналогічні дані були отримані й іншими дослідниками. Однією з головних причин такої ситуації є недосконала система технічного обслуговування.

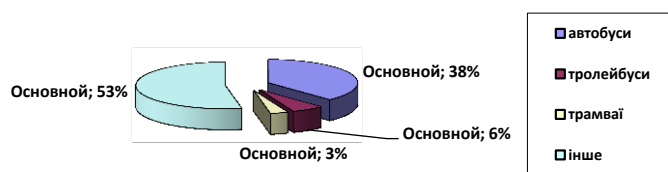
**Ключові слова:** автобус, перевезення, конкурентоздатність, маршрут, виробництво, перевізник, відмова, роботоздатність.

**Постановка проблеми.** Пасажирський автомобільний транспорт є дуже важливим видом транспорту для суспільства. Цей вид транспорту випереджає всі інші види транспорту за обсягами перевезень пасажирів, відіграючи важливу роль у житті людей.

За даними Міністерства інфраструктури України[1], за 2015 рік у міжміському сполученні автобусами було перевезено 148 млн. пасажирів із 225 млн., у приміському сполученні автобусами було перевезено 621 млн. пасажирів із 990 млн., у міському сполученні перевезено 5407 млн. пасажирів, з них:

- автобусами 2575 млн.;
- тролейбусами 1300 млн.;
- трамваями 757 млн.;
- метрополітеном 775 млн.;

Пасажирообіг автомобільним транспортом, а саме автобусами, склав 49 млрд.пас.км, що становить 38 % від всіх видів транспорту, тролейбусами – 7,6 млрд.пас.км, що становить 6 %, трамваями – 4.1 млрд.пас.км, що становить 3 %.

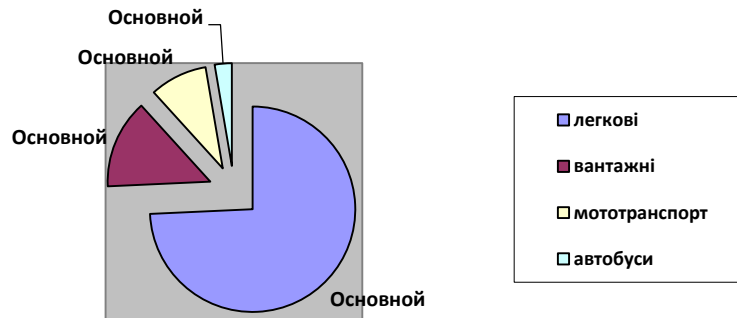
**Пасажирообіг автомобільним транспортом, млрд.пас.км.****Пасажирообіг автомобільним транспортом і кількість перевезених пасажирів в Україні у 2008 – 2014рр.[1]**

Показник	Роки						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014 р.
Пасажирообіг, млн. пас. км	61433,8	55296,2	52063,8	51396,2	50368,6	49091,7	42696,9
Перевезено пасажирів, млн.	4368,7	4012,9	3719,4	3604,6	3448,7	3340,8	2915,3

На даний час автомобільна транспортна система України налічує більше 9,2 млн. транспортних засобів, у тому числі:

- 6,9 млн. легкових автомобілів;
- ≈ 250 тис. автобусів;
- ≈ 1,3 млн. вантажних автомобілів;
- понад 840 тис. од. мототранспорту.

### Склад автомобільної транспортної системи України



У цілому, на ринку комерційних перевезень в цей час здійснюють підприємницьку діяльність майже 56,2 тис. перевізників, які в своїй діяльності використовують більш 154 тис. транспортних засобів.

240 підприємств, які виконують міжнародні перевезення пасажирів. Маршрутна мережа єднає Україну з 23 іноземними країнами та становить понад 400 регулярних автобусних маршрутів. На обслуговуванні цих маршрутів задіяно понад 1,5 тисячі автобусів.

Парк автобусів українських перевізників, у зв'язку з відсутністю в Україні виробництва автобусів для міжнародних перевезень та високими ставками ввізного мита (20% від митної вартості + 20% ПДВ), на 80% складається з транспортних засобів віком понад 10 років, що викликає негативні наслідки і в питаннях комфортності перевезень, в питаннях екології та підтримки їх належного технічного стану.

За даними асоціації «Укравтопром» [2] виробництво автобусів в Україні за останні 8 років мало два значних падіння – у 2009 році і в 2014 році. Причиною цьому є наслідки Світової економічної кризи і воєнних дій на території України відповідно.

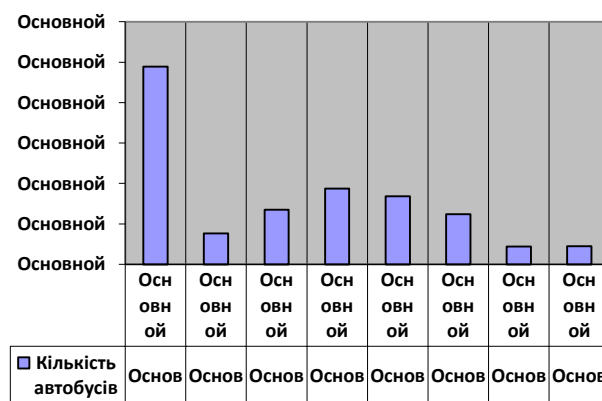


Рис 1.1. Динаміка виробництва автобусів в Україні



**Динаміка виробництва автобусів в Україні в 2008-2015 роках[2]**

Заводи, які здійснювали виробництво/збирання	Рік							
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
ПАТ «ЗАЗ»	571	184	344	300	669	297	31	84
ЗАТ «ЗКТ»/ ТОВ «ЛАЗ»	107	0	89	97	0	0	0	0
Корпорація «Богдан»	3744	605	867	144	455	496	64	54
ПрАТ «БАЗ» (Корпорація «Еталон»)	2380	208	698	1163	1116	700	110	1
ТОВ «Автомобільний завод «Анто-Рус»	56	15	66	84	1	0	0	0
ПАТ «Завод «Часівоярські автобуси»	1623	432	319	551	248	316	169	174
ПрАТ «Чернігівський автозавод»	1302	82	310	571	169	281	185	254
АТ «Черкаський автобус»	-	-	-	828	701	389	319	330
<b>Разом:</b>	<b>9783</b>	<b>1526</b>	<b>2693</b>	<b>3738</b>	<b>3359</b>	<b>2479</b>	<b>878</b>	<b>897</b>

**Результати досліджень.** Як можна побачити з таблиці, в останні роки в нашій державі суттєво змінилось виробництво автобусів. Не зважаючи на достатньо широкий асортимент при виборі даних транспортних засобів національного виробника, чимало автотранспортних підприємств та індивідуальних перевізників надають перевагу автобусам закордонного виробництва. Дуже часто це вживані транспортні засоби, які відпрацювали по 5...10 років. Що ж до українських автобусів, то їхня не завжди надто висока якість виготовлення компенсується відносно невисокою ціною порівняно із закордонними аналогами.

Дослідження ефективності експлуатації автобусного транспорту передбачає вирішення проблеми вибору рухомого складу для роботи на маршрутах. Проводячи дане дослідження, слід враховувати не лише вимоги щодо зниження витрат на автотранспортних підприємствах, захисту навколишнього середовища від шкідливого впливу автотранспорту, а й підвищувати показники основного функціонального призначення автобуса: максимально можливий комфорт, безпека пересування, швидкість перевезень.

Тому вирішення даної проблеми повинно мати позитивний результат для обох учасників системи «Перевізник – Пасажир».

Питання ефективності експлуатації автомобілів розглядалися українськими та зарубіжними науковцями [3-6]. В їхніх працях описано зв'язок ефективності з параметрами ТО і ПР, роботи персоналу, надійності, ефективного менеджменту на підприємстві.

Ефективність системи можна визначити за ефективністю всіх складових цієї системи. З одного боку, ефективність можна визначити по рентабельності експлуатації автобуса, з іншого боку – при порівнянні одержаного результату і максимально ймовірно можливого.

Отже, розглядаючи поняття ефективності експлуатації, можна говорити про оцінку роботи автобуса та можливості її вдосконалення.

Система експлуатації має найбільший вплив на ефективність автобусів, оскільки забезпечує їх роботоздатність. Функція виробничої експлуатації полягає у створенні оптимальних парків автомобілів для виконання перевезення пасажирів, організації всіх робіт високої якості. Основна ціль керуючої експлуатації полягає в успішному керівництві підприємством в питаннях перевезення пасажирів.

Функція технічної експлуатації забезпечує підвищення коефіцієнта технічної готовності автопарку, надійності рухомого складу та постійне вдосконалення системи технічного обслуговування та ремонту автобусів.

**Висновки.** Дуже часто можна почути думку щодо неможливості використання однакового підходу при проведенні технічного обслуговування різних автобусів однієї моделі. Це пов'язане з тим, що при проведенні чергового технічного обслуговування ми часто стикаємося або з передчасним його виконанням (транспортний засіб конструктивно справний і не вимагає втручання робітника), що призводить до невиправданих матеріальних витрат, або ж навпаки – надто запізниті строки проведення у зв'язку з інтенсивним зносом деталей та агрегатів[7].

Ці недоліки виникають тому, що всі періодичності робіт регламентуються, виходячи із стандартних нормативів і не враховуються індивідуальні особливості автобусів[8].

Вирішення даної проблеми може бути досягнутим завдяки ефективному використанню системи технічної діагностики рухомого складу як засобу оцінки технічного стану та попередження виникнення несправностей та відмов.

1. Офіційний сайт Міністерства інфраструктури України <http://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html>
2. Офіційний сайт Асоціації автовиробників України <http://ukrautoprom.com.ua/statistika/statistika-2014-2>
3. Кузнецов Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей /Кузнецов Е.С. – М. : Транспорт, 1990. – 272 с.
4. Арынин И.Н. Техническая эксплуатация автомобилей. Управление технической готовностью подвижного состава / Арынин И.Н., Коновалов С.И., Баженов Ю.В. и др. – Владимир, 1998. – 219 с.
5. Техническая эксплуатация автомобилей / [Под ред. Т.Е. Крамаренко] –М. : Транспорт, 1983. – 488 с.
6. Варфоломеев В.Н. Научные основы построения и реализации технологии поддержания автомобилей в работоспособном состоянии на базе диагностической информации: дисс. доктора техн. наук : 05.22.10 /Варфоломеев В.Н. // ХГАДТУ. – Харьков, 1994. – 362 с.
7. Лукинский В.С. Прогнозирование надежности автомобилей / Лукинский В.С., Зайцев Е.И. – Л. : Политехника, 1991. – 224 с.
8. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. – К. : Міністерство транспорту України, 1998. – 16 с.

#### REFERENCES

1. Official website of the Ministry of Infrastructure Ukraine <http://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html>
2. Official website of the Association of Automobile Manufacturers Ukraine <http://ukrautoprom.com.ua/statistika/statistika-2014-2>
3. E.S. Kuznetsov Management of cars exploitation / E.S. Kuznetsov - M: Transport, 1990. - 272 p.
4. Arynyn I.N. Exploitation of vehicles. Management technical readiness of vehicles / Arynyn I. N., Konovalov SI, Bazhenov Y. ets.- Vladimir, 1998. - 219 p.
5. Exploitation of cars / [Ed.T.E. Kramarenko] -M. : Transport, 1983. - 488 p.
6. V.N. Varfolomeev. Scientific fundamentals of construction and implementation of technologies for maintaining cars in an efficient state on the basis of diagnostic information: diss. Doctor of techn. Sciences: 05.22.10 / Varfolomeev V.N. // HGADU. - Kharkov, 1994. - 362 p.
7. Lukinsky V.S. Forecasting the reliability of cars / Lukinsky V.S., Zaitsev E.I. - L.: Polytechnic, 1991. - 224 p.
8. Position for technical maintenance and repair of road transport vehicles for vehicles. - K.: Ministry of Transport of Ukraine, 1998. - 16 p.

#### ***O.Rybai. Evaluation of Bus exploitation in Ukraine***

A noticeable increase of passenger transportation in Ukraine of the last few years provided the increase of the bus fleet.

The analysis of exploitation of buses in the Volyn region concerning passenger traffic showed a rather low effectiveness of their use - unscheduled downtime are significant. Similar results have been received by other researchers. One of the main reasons of this situation is an imperfect system of maintenance.

**Keywords:** bus, transportation, competitiveness, route, production, a carrier, refusal, workability.

#### ***Рибай А.В. Оценка эффективности эксплуатации автобусов в Украине***

Заметный рост объемов перевозки пассажиров в Украине за последние несколько лет в значительной степени обеспечивается увеличением парка автобусов.

Анализ эксплуатации автобусов в Волынской области по пассажирским перевозкам показал достаточно низкую эффективность их использования - внеплановые простои очень значительны. Аналогичные данные были получены и другими исследователями. Одной из главных причин такой ситуации является.

**Ключевые слова:** автобус, перевозки, конкурентоспособность, маршрут, производство, перевозчик, отказ, работоспособность.

**АВТОРИ:**

*Рибай Олександр Вікторович*, аспірант кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, викладач Володимир-Волинського агротехнічного коледжу.

**АВТОРЫ:**

**РЫБАЙ** Александр Викторович, аспирант кафедры автомобилей и транспортных технологий Луцкого национального технического университета, преподаватель Владимир-Волинского агротехнического колледжа.

**AUTHORS:**

Aleksandr RYBAI, postgraduate student of the department of automobiles and transport technologies of the Lutsk National Technical University, teacher of Volodymyr-Volyn Agro-technical College.

Стаття надійшла в редакцію 25.05.2017

Сахно<sup>1</sup> В.П., Яценко<sup>1</sup> Д.М., Мурований<sup>2</sup> І.С., Селезньов<sup>2</sup> В.Е.

<sup>1</sup> Національний транспортний університет

<sup>2</sup> Луцький національний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ МАНЕВРНОСТІ ШАРНІРНО-З'ЄДНАНИХ АВТОБУСІВ ОСОБЛИВО ВЕЛИКОГО КЛАСУ ЗА ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ПОВОРОТУ

Для перевірки результатів математичного моделювання маневреності шарнірно-з'єданого автобусу особливо великого класу розроблена самохідна масштабна модель. Модель обладнана необхідною контрольно-вимірною апаратурою. Розроблене програмне забезпечення моделі дозволяє реалізувати алгоритм управління задньою віссю причепа, в основу якого закладено комбінований спосіб управління – кінематичний для тягача і динамічний для причепа. Доведено, що розроблений закон управління віссю причепа і математична модель ШЗА адекватно відтворюють реальний рух автопоїзда при русі вперед і виконанні різних маневрів як-то рух по колу, поворот на  $90^{\circ}$ , зміна смуги руху. Максимальні відхилення траєкторії причепа щодо траєкторії тягача не перевищують 6,9 %.

**Ключові слова:** шарнірно-з'єднаний автобус, тягач, причіп, маневреність, модель, управління, рух по колу, поворот, переставка.

**Постановка проблеми.** Історія розвитку автомобільної техніки [1] безпосередньо пов'язана з постійним тиском суспільства, яке вимагає скорочення витрат на розробку нової продукції, і в той же час підвищення якості транспортного засобу та його безпечності. Всебічно розглядаючи усі системи автомобіля [2], останнім часом особливу увагу приділяють електронним (гібридним) системам, а саме антиблокувальним гальмівним системам, аеродинаміці автомобіля, системам курсової стійкості, електронному управлінню системами двигуна.

Гібридні технології відомі більше 40 років. В силових установках легкових автомобілів використовують різні технології – електричні, гібридні, паливні елементи [3]. Перші спроби застосування гібридних силових установок на вантажних автомобілях і автобусах починаються у 80-х роках. Компанія HinoMotors, Ltd. [4], починаючи з 1981 року проводила дослідження дизель-електричних гібридних систем, в результаті чого у 1991 році почалися комерційні продажі та експлуатація гібридного дизельного автобуса великого класу. Пізніше, у 2003 р., з'явилися гібридні вантажні автомобілі малої та середньої вантажопідйомності.

Нові розробки в галузі силових установок і методик оптимізації орієнтованих на мінімізацію витрат палива та енергії розглянуто в роботах [5]. Багато теоретичних даних з питань оптимізації складних механічних систем і мультиоб'єктивних методів оптимізації, наведено в [6]. У роботі [7] розглянуті стохастичні моделі відтворення на ЕОМ методом Монте-Карло процесу руху автомобіля в різних дорожніх умовах з визначенням середньої швидкості руху, витрати палива, середнього відсотка використання потужності двигуна, часу руху на різних передачах, числа включень передач та ін.

Сучасний стан розвитку транспортних машин характеризується різноманітністю типів та видів, а також наявністю різних систем управління поворотом коліс (осей) причіпних ланок. Найбільше розповсюдження на-сьогодні отримали системи з використанням кінематичного способу повороту, за якого необхідно змінювати положення керованих коліс. При кінематичному способі повороту існують певні вимоги, а саме певна залежність між кутами повороту керованих коліс, яка визначається компоувальними параметрами транспортного засобу.

Недоліками кінематичного способу повороту колісних машин з керованими колесами є [8] :

- труднощі забезпечення малого радіуса повороту;
- відносна складність приводу рульового керування при числі керованих коліс більше двох;
- зменшення корисного об'єму транспортного засобу через наявність у його корпусі ніш, необхідних для розміщення керованих коліс при їхньому повороті.

Зазначені недоліки стають особливо істотними при колесах великого розміру, що характерно для вантажних і пасажирських автопоїздів з тягачами категорій N3 і M3.

Однією із можливостей щодо усунення перерахованих недоліків є використання силового способу повороту із примусовою зміною співвідношення швидкостей обертання неповоротних коліс різних бортів транспортного засобу. Відсутність керованих коліс на причіпній ланці значно спрощує конструкцію машини й збільшує корисний обсяг кузова, що дуже важливе для шарнірно-з'єднаних

автобусів особливо великого класу. Для таких автобусів перспективним є використання гібридної системи повороту, за якої використовується одночасно кінематичний для тягача та силовий способи повороту для причіпної ланки. Вочевидь такі транспортні засоби мають свої особливості, що викликає необхідність їхнього дослідження щодо показників експлуатаційних властивостей.

У роботах [9, 10] наведені результати досліджень маневреності шарнірно-з'єднаних автобусів особливо великого класу за прийнятого ряду припущень, які потребують експериментальної перевірки. Тому **метою роботи** є перевірка показників маневреності на масштабній моделі шарнірно-з'єданого автобуса особливо великого класу.

**Результати досліджень.** Рух шарнірно-з'єданого автобуса особливо великого класу на заокругленнях доріг, при маневруванні у пунктах посадки-висадки пасажирів здійснюється з малими швидкостями. Бічне відведення коліс у цьому випадку помітно не впливає на кінематику повороту автопоїзда. Ковзання коліс і інші попутні явища не значні. Це дозволяє не враховувати відмічені фактори при розробці моделі автопоїзда.

Згідно з теорією розмірності і подоби [11], моделювання представляє собою заміну відповідного явища в натурі вивченням цього явища на моделі меншого або більшого масштабу, як правило, у лабораторних умовах. Основна мета моделювання полягає в тому, щоб за результатами досліджень на моделі можна було прогнозувати поведінку натурального зразка.

У більшості випадків моделювання засновано на розгляді фізично подібних явищ. Дослідження реального явища замінюється вивченням його фізично подібного явища, яке можна просто і вигідно здійснити. Механічну або взагалі фізичну подобу можна розглядати як узагальнення геометричної подоби. Дві геометричні фігури подібні, якщо відношення усіх відповідних розмірів однакові. Якщо відомий коефіцієнт подоби – масштаб, то простим множенням на величину масштабу однієї геометричної фігури отримують розмір іншої, їй подібної геометричної фігури. Оскільки розглядається задача дослідження поведінки шарнірно-з'єданого автобуса особливо великого класу за гібридної схеми управління поворотом, що здійснює плоскопаралельний рух, то це дозволяє покласти в основу розробки моделі критерій геометричної подоби  $m_l = \frac{l_n}{l_m}$ . Цей критерій виражає

подобу геометричних параметрів натурального зразка  $l_n$  і моделі автопоїзда  $l_m$ , тобто сталість їх однакових лінійних розмірів (колії, бази тягача і причіпної ланки), а також рівність відповідних кутів (кутів повороту керованих коліс і складання ланок автопоїзда), у результаті чого положення моделі на площині повністю визначає собою положення автопоїзда на дорозі.

При дослідженні кінематики автопоїзда прийнято, що точка зчипки тягача з причепом збігається з його характерною точкою (середина задньої осі у двохосового тягача), що формує траєкторію тягача.

Модель шарнірно-з'єданого автобуса (ШЗА) особливо великого класу складається із моделі тягача і причепа. База тягача і причепа прийнята рівною 6,0 м, загальна довжина – 18,0 м. Повна маса ШЗА (МАЗ-105-065) 28000 кг, навантаження на передню вісь 7100 кг, середню – 11500 кг, задню (причепа) – 9400 кг. Довжина складає 5872 мм, колія 2240 мм, висота сидла 1185 мм, шини 315/80 R22,5.

Зважаючи на те, що модель розроблялася для оцінки маневрених властивостей автопоїзда за розробленого закону управління на задню вісь напівпричепа при русі з невеликою швидкістю, елементи підвіски не моделювались. Для розробки моделі перш за все потрібно визначити розмірність елементів (розмірна чи безрозмірна величина) і похідність (які величини будуть прийняті за базові, а які можна визначити з інших).

Для вивчення механічних явищ достатньо ввести три основні одиниці виміру: для довжини, маси або сили і часу. Залежність одиниці виміру похідної величини від одиниць виміру базових величин можна представити у вигляді формули розмірності. Для визначення фізичної подібності найбільше поширена на даний час система розмірності СГС. У даній системі розмірності всіх фізичних величин мають вигляд степеневого одночлена:

$$L^m M^n T^t \quad (1)$$



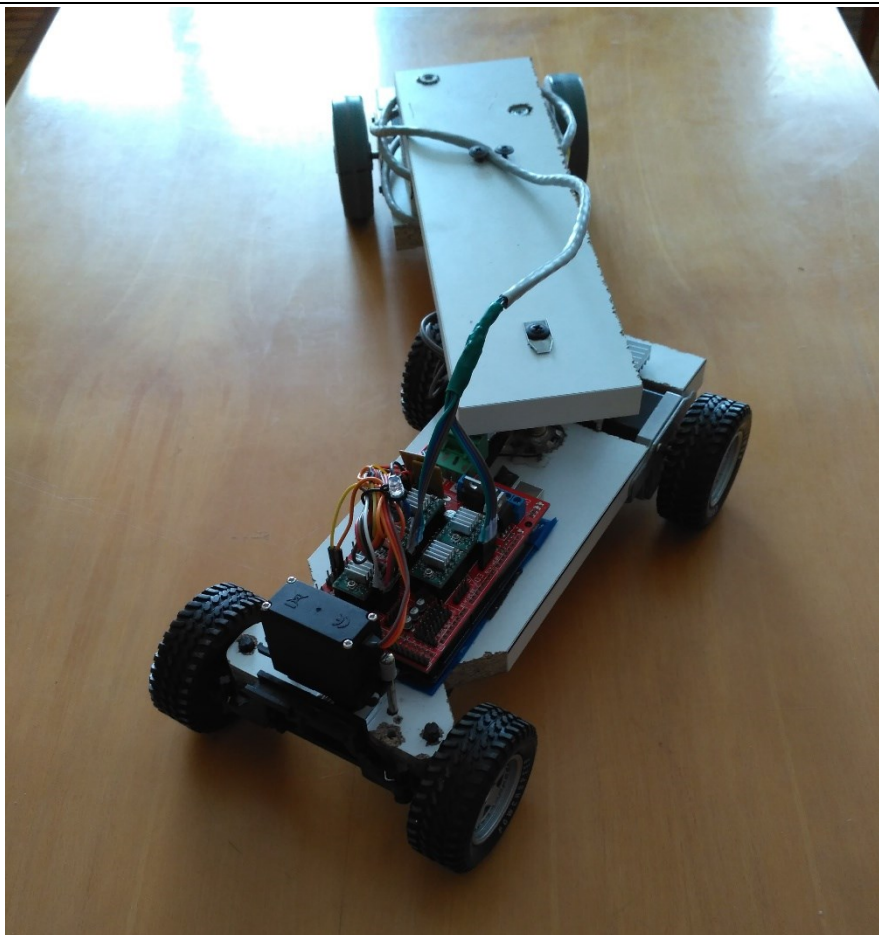


Рис. 1. Модель автопоїзда з керованою причіпною ланкою

При розрахунку подібності прийнято використовувати  $\pi$ -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  $\pi$ -теореми випливає, що якщо дві динамічні системи описані однаковими диференціальними рівняннями, то рішення диференціальних рівнянь буде масштабно незмінним при тих самих  $\pi$  групах. Щоб модель була динамічно подібна до оригіналу, величини цих  $\pi$  груп повинні бути однакові для обох систем. Базуючись на цій ідеї, можна підібрати параметри моделі, відповідні реальним.

Масштаб для зменшення 1:20. База тягача і причепа – фіксовані. Довжина моделі тягача 480 мм, колісна база 300 мм, колія 145 мм. Довжина моделі причепа 420 мм, відстань від задньої осі до точки зчеплення з причепом 60 мм, колісна база 300 мм, колія 140 мм. Розмір шин моделі розраховується прирівнюванням  $\pi$  групи, що відповідає розміру шин зменшеної копії, до  $\pi$  групи реального автомобіля, що є

$$(R/l)_{\text{оригіналу}} = (R/l)_{\text{моделі}} \quad (2)$$

Розмір шин тягача і причепа 315/80 R22,5. Підставляючи значення оригіналу, отримуємо  $R_{\text{моделі}} = 62$  мм. Ширина шин моделі тягача 25 мм. Для обчислення маси моделі припускаємо, що густина моделі і оригіналу однакова, тоді з подібності

$$(\rho l^3/m)_{\text{моделі}} = (\rho l^3/m)_{\text{оригіналу}} \quad (3)$$

отримуємо споряджену масу моделі 2,1 кг, масу моделі при максимальному завантаженні 4,5 кг.

Рама тягача зроблена з ДСП плити 2 мм. Даний матеріал легко піддається обробці, дозволяє швидко і просто замінити елементи, а також підгонку отворів для кріплення зчитуючих пристроїв. Для керованої осі з наявних коліс було обрано найбільш підходящі за розмірами, їхня ширина становить  $d=25$  мм, радіус  $R=65$  мм. Поворотом керує сервопривід MG995, який приводить у рух поздовжню тягу рульової трапеції, котра, у свою чергу, повертає цапфи коліс. Модель приводиться у рух двома

шаговими двигунами 17HS8401, від яких крутний момент передається на півосі. Шини коліс ведучих осей мають діаметр 130 мм і ширину 25мм, оскільки це найближча подібність до потрібних розмірів серед наявних коліс. Маса тягача становить 0,7 кг, тому при проведенні заїздів використовується додаткове навантаження 0,8 кг на передній частині моделі.

Модель причепа виконано із ДСП. Зчіпним шворнем виступає датчик купа повороту, що використовується для вимірювання кута складання. На причепі використовуються колеса з тими ж шинами шириною  $d = 25$  мм і радіусом  $R = 65$  мм. На осі причепа встановлено шаговий двигун 17HS8401.

Розроблена модель автопоїзда складеться з таких частин:

1. Плата для програмування Arduino Mega 2560 з мікроконтролером Atmel 2560, рис.2. Arduino Mega побудована на мікроконтролері ATmega2560. Плата має 54 цифрових входу / виходів (14 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ), 16 аналогових входів, 4 послідовних порту UART, кварцовий генератор 16 МГц, USB конектор, роз'єм живлення, роз'єм ICSP і кнопка перезавантаження. Для роботи необхідно підключити платформу до комп'ютера за допомогою кабелю USB або подати живлення за допомогою адаптера DC. Arduino Mega 2560 сумісна з усіма платами розширення, розробленими для платформ Uno або Duemilanove. Для роботи необхідно підключити платформу до комп'ютера за допомогою кабелю USB, або подати живлення за допомогою адаптера AC/DC або батареї.

На платформі Arduino Mega 2560 встановлено декілька пристроїв що для забезпечення зв'язку з комп'ютером, іншими пристроями Arduino або мікроконтролерами. ATmega2560 підтримують послідовний інтерфейс UART TTL (5В), що здійснюється виводами 0(RX) та 1 (TX). Установлена на платі мікросхема ATmega8U2 направляє даний інтерфейс через USB, програми на стороні комп'ютера "спілкуються" з платою через віртуальний COM порт.

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-порту. 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.

2. Потужний сервомотор MG995 для керування передніми колесами тягача. Вихідний вал сервоприводу повертається приблизно на 120 градусів та має максимальний крутний момент 0.85 Н\*м. Для управління MG995 можна використовувати будь-які контролери з живленням логіки 5 В, в тому числі і Arduino (рис. 3).

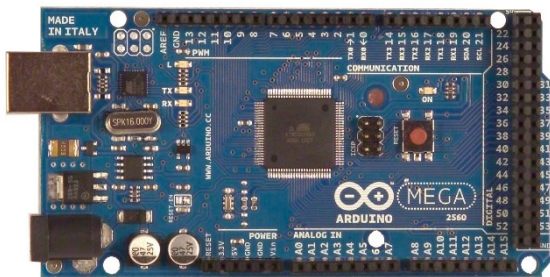


Рис. 2. Мікропроцесорна плата.



Рис. 3. Сервопривід MG995

У табл. 1 наведена технічна характеристика сервоприводу MG995.

Табл. 1. Технічна характеристика сервоприводу MG995

Параметр	Значення
Розміри	54 x 20 x 38 мм
Робоча швидкість (при 4.8V без навантаження)	0,12 с/ 120 град.
Крутний момент (при 4.8V)	9 кг*см
Діапазон робочих температур	-30 ... +60 °C
Робоча напруга	4.8 ... 7.2 В
Маса	55 г

Даний мотор підключається по трипровідній схемі. Один провідник (чорний або коричневий) приєднується на землю (GND), живлення (червоний провідник) на +5 V, і ще один провідник, по якому передаються сигнали (оранжевий або жовтий) підключається до одного із виходів контролера Arduino Mega 2560.

3. Погоджуюча плата Ramps 1.4 для встановлення драйверів та драйвери A4988, рис. 3. Драйвер двигунів A4988, рис. 4, для сприйняття імпульсів з мікроконтролера та подачі напруги на двигуни. Особливостями A4988 є регульований струм, захист від перевантаження і перегріву, драйвер також має п'ять варіантів мікрошагу (аж до 1/16-кроку). Він працює від напруги 8 - 35 V і може забезпечити струм до 1 A на фазу без радіатора.

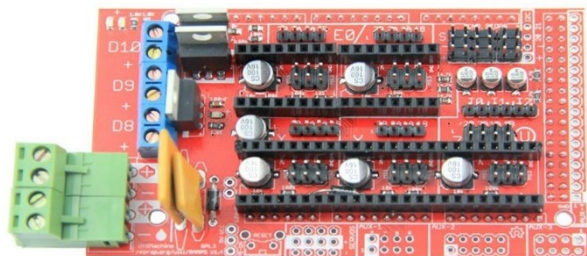


Рис. 4. Плата Ramps 1.4



Рис. 5. Драйвер двигунів A4988

У крокових двигунів зазвичай встановлена конкретна величина (наприклад 1,8 ° або 200 кроків на оборот), при якій досягається повний оборот в 360 °. Мікрошаговий драйвер, такий як A4988 дозволяє збільшити дозвіл за рахунок можливості управління проміжними кроками.

4. Шаговий двигун 17HS8401, рис. 6. Це безколекторний 2 фазний двигун з максимальним крутним моментом 0.52 Н\*м, маса двигуна складає 0.37 кг. Двигуни працюють від напруги 12-24В.

5. Аналоговий датчик обертання

Arduino – сумісний датчик обертання, максимальний кут повороту 270°, точність вимірів 0,2°, рис. 7.

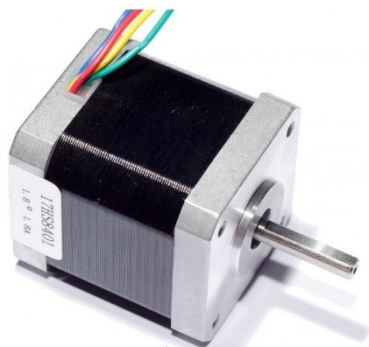


Рис. 6. Шаговий двигун 17HS8401

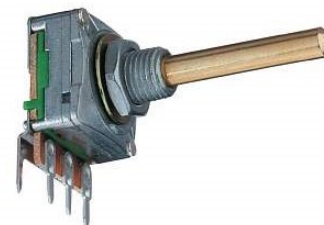


Рис. 7. Датчик обертання

У даній системі використовується для визначення кута складання між тягачем і причепом. Підключення датчика відбувається по трьох контактах: на живлення 5В, на землю і на аналоговий вхід мікроконтролера. У моделі автопоїзда датчик обертання жорстко закріплений на причепі, а його обертальний елемент відіграє роль шворня, що вставляється у зчипний пристрій тягача і фіксується у ньому. Під час руху положення ручки датчика відповідає напрямку тягача, а положення плати – напрямку причепа. Таким чином, покази датчика рівні куту складання автопоїзда.

Швидкість та поворот автопоїзда задається оператором за допомогою пульта керування. Сигнали з пульта передаються до мікроконтролера Arduino. В свою чергу, він, після обробки цих сигналів та виконання заданих алгоритмів руху, передає сигнал на драйвер двигунів A4988. Після підсилення сигналу відбувається керування двигунами ведучої осі, рульовим кермом та віссю причепа. Мікроконтролер Arduino дозволяє запрограмувати необхідні дії роботи двигунів на мові програмування C++. Програма складена таким чином: По-перше, перевіряється параметр швидкості руху, по-друге, параметр повороту коліс, якщо автопоїзд рухається прямо, то працюють лише ведучі двигуни тягача. Якщо ж параметр повороту коліс змінено і автопоїзд має повертати, то подається сигнал повороту на серводвигун передньої осі та в залежності від швидкості автопоїзда збільшується частота обертання одного з бортів причепа, при цьому протилежний борт починає зменшувати частоту обертання коліс, таким чином відбувається підрулювання причепа в залежності від кута повороту та швидкості автопоїзда.



Програмне забезпечення розробленого автопоїзда складається з програми записаної безпосередньо у мікроконтролер Arduino. Після успішної компіляції програма керування моделлю передається у процесор засобами віртуального СОМ-порта. Вона дозволяє діалог із користувачем, котрий вводить команди із клавіатури для виконання руху, поворот коліс чи певних маневрів. Дані про кути повороту керованих коліс, кут складання, напрям і сторону руху виводяться раз на 2 секунди.

У програмі керування використовуються дві зовнішні бібліотеки: AccelStepper.h і Servo.h, що використовуються для роботи моторної плати із двигунами постійного струму і сервоприводами відповідно.

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.

Експеримент проведено таким чином:

Для відстеження траєкторії руху характерних точок на них встановлено світлодіоди, червоного кольору для осі тягача і зеленого для осі причепа. Над тестовим стендом розміщено камеру, яка робить знімки через задані проміжки часу. Отримані фотографії оброблюються програмно, із зображення відсіюється все, крім маркерів. Потім отримані точки групуються за заїздами і з'єднавши їх можна отримати траєкторію руху характерних точок моделі для кожного тестового заїзду.

Для кожного заїзду було зроблено від 10 знімків. Результати 4-х тестових заїздів зображено на рис. 8. Точки на даній схемі відповідають положенню характерних точок у момент фотографування. Усереднена траєкторія руху середини керованих осей визначалась як середина між точками, які найменше і найбільше віддалені від центра описуваного кола. Усереднені траєкторії руху обох маркерів мають незначні відхилення, поведінку моделі можна вважати адекватною для маневру кола. Розбіжності між розрахунковими і експериментальними значеннями зміщення траєкторії причепа щодо траєкторії тягача не перевищують 5,2%.

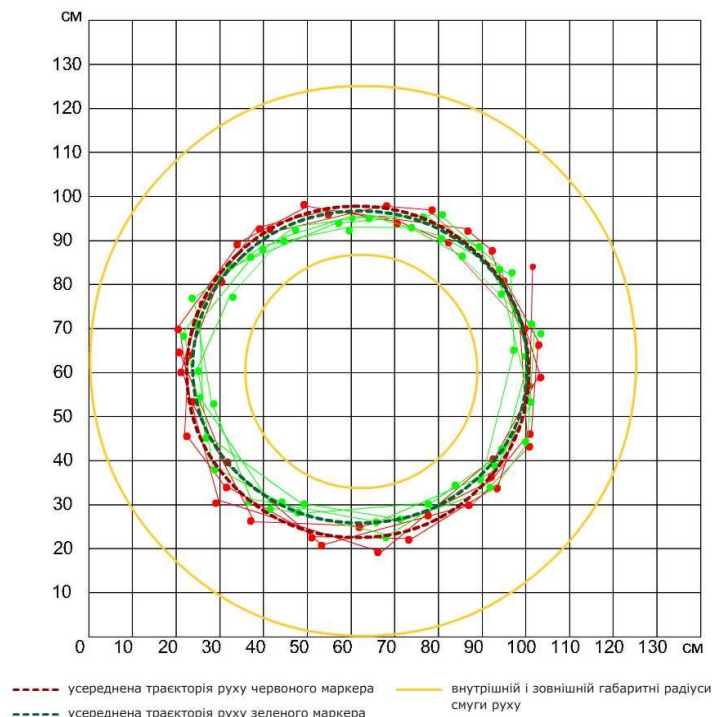


Рис. 8. Результати заїздів по колу

Маневр повороту на  $90^\circ$  виконується подібно до кола, але після проходження четвертої частини кола колеса тягача встановлюються на прямолінійний рух, а колеса причепа аналогічно маневру кола розвертаються залежно від реакції коліс тягача. Момент виходу тягача із повороту може задаватись користувачем командою з клавіатури або відбуватись автоматично через заданий проміжок часу після входження у поворот. Як видно зі схеми руху, зображеної на рис. 9, в кінці виконання маневру траєкторія руху причепа прямує в сторону зменшення внутрішнього радіуса повороту, але усереднені значення траєкторій руху характерних точок близькі, отже для даного маневру поведінку моделі

також можна вважати адекватною. Розбіжності між розрахунковими і експериментальними значеннями зміщення траєкторії причепа щодо траєкторії тягача не перевищують 6,1%.

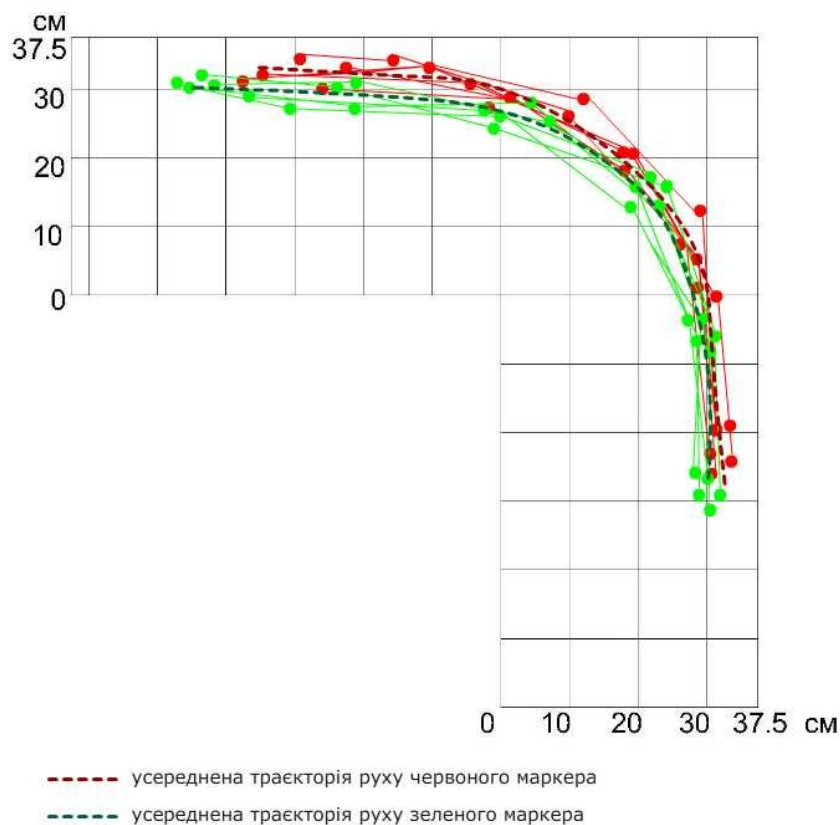


Рис. 9 Результати 5 заїздів при повороті на 90°

Маневр переставки виконується наступним чином: кут повороту тягача змінюється таким чином, щоб змінити смугу руху. Моменти на колесах причепа змінюються так, щоб характерна точка причепа повторила траєкторію руху характерної точки тягача. Наприклад, при зміні смуги руху з правої на ліву тягач повертає вліво, потім колеса вирівнюються і повертають направо, так щоб тягач опинився посередині лівої смуги. Відповідним чином змінюється і поворот причепа. Усереднені значення траєкторій руху характерних точок мають незначні відхилення на початку маневру, в цілому для даного маневру поведінку моделі можна вважати адекватною. Розбіжності між розрахунковими і експериментальними значеннями зміщення траєкторії причепа щодо траєкторії тягача не перевищують 6,9%.

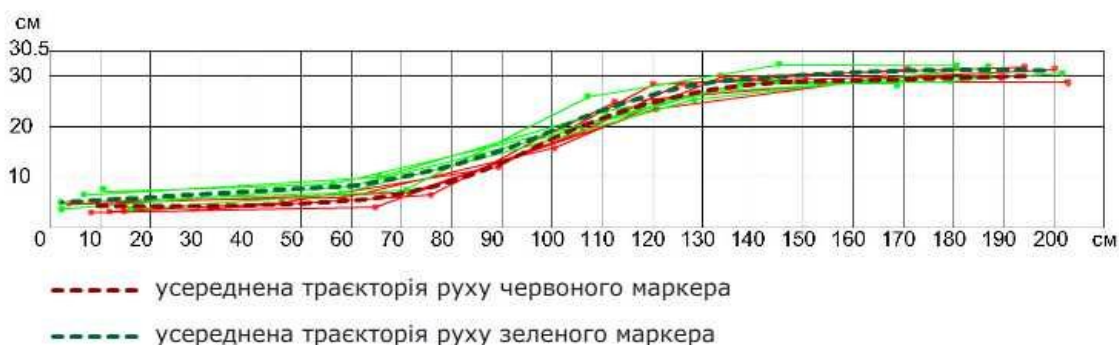


Рис. 10. Результати 5 заїздів при зміні смуги руху

#### Висновки:

1. Розроблена самохідна масштабна модель, що відтворює шарнірно-з'єднаний автобус особливо великого класу. Модель обладнана необхідною контрольно-вимірювальною апаратурою.

2. Програмне забезпечення моделі дозволяє реалізувати алгоритм управління задньою віссю причепа, в основу якого закладено комбінований спосіб управління – кінематичний для тягача і динамічний для причепа.



3. Доведено, що розроблений закон управління вісью причепа і математична модель ШЗА адекватно відтворюють реальний рух автопоїзда при русі вперед і виконанні різних маневрів як-то рух по колу, поворот на  $90^0$ , зміна смуги руху.

4. Максимальні відхилення траєкторії причепа щодо траєкторії тягача не перевищують 5,2 % при коловому русі, 6,1 % - при повороті на  $90^0$  і 6,9 % - при русі «переставкою».

Таким чином, доведена адекватність розробленої математичної моделі шарнірно-з'єданого автобуса особливо великого класу [9] для визначення показників маневреності автопоїздів.

1. Giancarlo Genta, Lorenzo Morello, Francesco Cavallino, Luigi Filtri. The Motor Car: Past, Present and Future — Springer Dordrecht Heidelberg New York London, 2014. XXIV, 662 p. 418 illus. — ISBN 978-94-007-8551-9, ISBN 978-94-007-8552-6 (eBook), DOI 10.1007/978-94-007-8552-6.

2. Heisler H. Advanced Vehicle Technology 2nd edition. Butterworth-Heinemann, 2002. 663 p. — ISBN: 0750651318.

3. Ehsani M., Gao Y., Emadi A. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design / Second Edition. CRC Press, 2010. 557p. International Standard Book Number (ISBN):978-1-4200-5398-2.

4. Koichi Yamaguchi Development of the New Light-Duty Hybrid Truck /The World Electric Vehicle Journal, Vol 2, Issue 4, 2008/P.108-117. ISSN 2032-6653.

5. Guzzella L., Sciarretta A. Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization / 2nd ed. — Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. XII, 338 p. 202 illus. — ISBN 978-3-540-74692-8.

6. Mastinu G., Gobbi M., Miano C. Optimal Design of Complex Mechanical Systems: With Applications to Vehicle Engineering Springer, 2006. 403 p. ISBN:3540343547

7. Фаробин Я. Е. Теория поворота транспортных машин / Я. Е. Фаробин — М. : Машиностроение, 1970. — 176 с.

8. Бобошко А.А. Нетрадиционные способы маневрирования колесных машин /А.А.Бобошко. — Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2006. — 172 с.

9. Сахно В.П., Мурований І.С., Селезньов В.Е. До визначення показників маневреності шарнірно-зчленованих автобусів /В.П.Сахно, І.С. Мурований, В.Е.Селезньов // Науковий журнал. Вісник Машинобудування та транспорту. Вінниця, 2016 - № 2. — С. 97-105.

10. Сахно В.П. До порівняльної оцінки маневреності гібридних автопоїздів за різних схем управління напівпричепом/ Сахно В.П., Поляков В.М., Ященко Д.М., Босенко В.М., Лисенко О.О. // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. — К.: НТУ, 2017. — Вип. 2 (38), с. 126-134.

11. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике /Л.И.Седов// М.: Наука, 1967. — 428 с.

## REFERENCES

1. Giancarlo Genta, Lorenzo Morello, Francesco Cavallino, Luigi Filtri. The Motor Car: Past, Present and Future — Springer Dordrecht Heidelberg New York London, 2014. XXIV, 662 p. 418 illus. — ISBN 978-94-007-8551-9, ISBN 978-94-007-8552-6 (eBook), DOI 10.1007/978-94-007-8552-6.

2. Heisler H. Advanced Vehicle Technology 2nd edition. Butterworth-Heinemann, 2002. 663 p. — ISBN: 0750651318.

3. Ehsani M., Gao Y., Emadi A. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design / Second Edition. CRC Press, 2010. 557p. International Standard Book Number (ISBN):978-1-4200-5398-2.

4. Koichi Yamaguchi Development of the New Light-Duty Hybrid Truck /The World Electric Vehicle Journal, Vol 2, Issue 4, 2008/P.108-117. ISSN 2032-6653.

5. Guzzella L., Sciarretta A. Vehicle Propulsion Systems: Introduction to Modeling and Optimization / 2nd ed. — Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. XII, 338 p. 202 illus. — ISBN 978-3-540-74692-8.

6. Mastinu G., Gobbi M., Miano C. Optimal Design of Complex Mechanical Systems: With Applications to Vehicle Engineering Springer, 2006. 403 p. ISBN:3540343547

7. Ya. Farobin, The Theory of Turning of Transport Machines / Ya. Farobin - M.: Machine Building, 1970. - 176 p.

8. A. Boboshko, Unconventional ways of maneuvering wheeled vehicles / A. Boboshko. - Kharkov: KhNADU Publishing House, 2006. - 172 p.

9. V. Sakhno, I. Murovaniy, V. Seleznov, By the determination of the mobility hinge-articulated buses /V. Sakhno, I. Murovaniy, V. Seleznov // Science journal. Journal of Mechanical Engineering and Transportation. Vinnitsa, 2016 - № 2. - P. 97-105.

10. V. Sakhno By comparative assessment of mobility hybrid trains under different management schemes trailers / V. Sakhno, V. Polyakov, D. Yaschenko, V. Bosenko, A. Lysenko, // Proceedings of the National Transport University. A series of "Engineering". Scientific and technical collection. - K. : NTU, 2017. - Vol. 2 (38), p. 126-134.

11. L. Sedov, Similarity and dimension methods in mechanics / L. Sedov // M. : Nauka, 1967. - 428 p.

**Сахно В.П., Ященко Д.М., Мурований І.С., Селезнев В.Е. Исследование маневренности шарнирно-соединенных автобусов особо большого класса по гибридной системе поворота.**

Для проверки результатов математического моделирования маневренности шарнирно-соединенного автобуса особо большого класса разработана самоходная масштабная модель. Модель оборудована необходимой контрольно-измерительной аппаратурой. Разработанное программное обеспечение модели

позволяет реализовать алгоритм управления задней осью прицепа, в основу которого заложен комбинированный способ управления - кинематическая для тягача и динамичный для прицепа. Доказано, что разработанный закон управления осью прицепа и математическая модель ШСА адекватно воспроизводят реальное движение автопоезда при движении вперед и выполнении различных маневров как-то движение по кругу, поворот на  $90^{\circ}$ , изменение полосы движения. Максимальные отклонения траектории прицепа по траектории тягача не превышают 6,9%.

**Ключевые слова:** шарнирно-соединенный автобус, тягач, прицеп, маневренность, модель, управление, движение по кругу, поворот, переставка.

**V. Sakhno, D. Yaschenko, I. Murovanyi, V. Seleznov. The study of the maneuverability of hinged-connected buses of a particularly large class with a hybrid turning system.**

To check the results of mathematical modeling flexibility hinge-connected bus specially designed large-scale self-propelled model. The model is equipped with the necessary test equipment. The developed software model allows to realize algorithm of the rear axle of the trailer, which laid the basis for a combined method of control - kinematic and dynamic for the tractor to the trailer. Proved that the designed control law axle trailer and a mathematical model HCB adequately reflect the real train movement when moving forward and doing various maneuvers such as moving around, turning  $90^{\circ}$ , change lanes. The maximum deviation of the trajectory path of the trailer on the tractor does not exceed 6.9%.

**Keywords:** hinged-connected bus, tractor, trailer, maneuverability, model, control, movement in a circle, turn, rearrangement.

**АВТОРИ:**

*САХНО Володимир Прохорович*, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Автомобілі», Національний транспортний університет, e-mail: [sakhno@ntu.edu.ua](mailto:sakhno@ntu.edu.ua)

*ЯЩЕНКО Дмитро Миколайович*, к.т.н., доцент кафедри «Автомобілі», Національний транспортний університет

*МУРОВАННИЙ Ігор Сергійович*, кандидат технічних наук, завідувач кафедри «Автомобілі і транспортні технології», Луцький НТУ, e-mail: [igor\\_lntu@ukr.net](mailto:igor_lntu@ukr.net)

*СЕЛЕЗНЬОВ Вадим Едуардович*, аспірант кафедри «Автомобілі і транспортні технології» Луцький НТУ, e-mail: [vadim.twist@gmail.com](mailto:vadim.twist@gmail.com)

**АВТОРЫ:**

*САХНО Владимир Прохорович*, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Автомобили», Национальный транспортный университет, e-mail: [sakhno@ntu.edu.ua](mailto:sakhno@ntu.edu.ua)

*ЯЩЕНКО Дмитрий Николаевич*, к.т.н., доцент кафедры «Автомобили», Национальный транспортный университет

*МУРОВАННИЙ Игорь Сергеевич*, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой автомобилей и транспортных технологий, Луцкий НТУ, e-mail: [igor\\_lntu@ukr.net](mailto:igor_lntu@ukr.net)

*СЕЛЕЗНЁВ Вадим Эдуардович*, аспирант кафедры автомобилей и транспортных технологий, Луцкий НТУ, e-mail: [vadim.twist@gmail.com](mailto:vadim.twist@gmail.com)

**AUTHORS:**

*Volodymyr SAKHNO*, Doctor of Science in Engineering, Professor, Head of Automobiles Department, National Transport University, e-mail: [sakhno@ntu.edu.ua](mailto:sakhno@ntu.edu.ua)

*Dmitry YASCHENKO*, Ph.D., Associate Professor, Department of Automobile, National Transport University

*Igor MUROVANYI*, Ph.D. in Engineering, Assoc. Professor, Head of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: [igor\\_lntu@ukr.net](mailto:igor_lntu@ukr.net)

*Vadym SELEZNOV*, Postgraduate Student of Motor Cars and Transport Technologies Department, Lutsk National Technical University, e-mail: [vadim.twist@gmail.com](mailto:vadim.twist@gmail.com)

Стаття надійшла в редакцію 13.05.2017 р.

Хомич С.М., Цизь І.Є.

*Луцький національний технічний університет*

Павлік В.А.

*Національний природний парк «Прип'ять-Стохід»*

## ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ПНЕВМАТИЧНОГО ДОБУВАННЯ ОЗЕРНОГО САПРОПЕЛЮ

У статті удосконалено технологію та наведено окремі конструкції забірних пристроїв пневматичного добування озерного сапропелю для виготовлення добрив. Результати досліджень показали, що застосування даної технології дозволить знизити економічні та енергетичні затрати при добуванні покладів у порівнянні з машинами-аналогами. Запропоновані машини покращать екологічну ситуацію заболочених озер та дадуть можливість їм відновлюватись, а добутий сапропель у складі добрив підвищить показники родючості ґрунту.

**Ключові слова:** сапропель, пневматична технологія, забірний пристрій, органічні добрива, конструктивна схема, озеро, екологічні наслідки.

**Постановка проблеми.** Обговорення питання накопичення природних відкладів у прісноводних водоймах, зокрема озерах, стає більш популярним. З кожним роком за рахунок швидкого процесу сапропелеутворення відбувається збільшення об'ємів органічних корисних копалин, а це в свою чергу призводить до появи певних проблем. Наслідком яких являється поступове вимирання озер та збільшення заболочуваних територій. До проблем також слід віднести зниження продуктивності та зміна режимів роботи циркуляційної системи водообміну приозерних територій, збільшення дефіциту окремих видів риб, птиць, тварин, рослин, вихід з ладу протічних каналів, тощо. Слід додати, що природні екосистеми втрачають здатність до самовідтворення і у зв'язку з відсутністю рекультиваційних щорічних робіт.

Тому на сьогоднішній день необхідно запроваджувати відповідні заходи щодо усунення таких проблем та попередження їх виникненню в майбутньому, а для відновлення та підтримки функціонування акваторії озер тепер, необхідно негайно приступати до робіт по видаленню сапропелів з даних об'єктів – методом очищення.

В свою чергу встановлено високий вплив органічних сапропелів, як добрив, на відновлення родючості ґрунтів і підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Об'єднання проблем щодо очищення озер з заповненими котловинами органічних сапропелів та забезпечення сільського господарства альтернативними видами органічних добрив є актуальним і своєчасним, особливо в теперішній період коли виробництво об'ємів мінеральних добрив суттєво скоротилось, а створення новітніх технологій та добувних машин – доцільним.

**Аналіз останніх досліджень.** Відома значна кількість машин для очищення озер (добування сапропелів) вони підпорядковуються традиційним гідравлічній і механічній та їх поєднання технологіям, в процесі розробки та впровадження зустрічаються машини пневматичної технології однак це лише насоси вакуумні або всмоктувальні. Згадувані машини забезпечують задовільні результати при роботі та малопродуктивні, а собівартість одиниці добутої ситовини дуже висока. В окремих випадках вони вимагають трудомістких підготовчих робіт [1, 6]. Зазвичай являються надто енергозатратними і матеріаломісткими [1, 2, 6], містять багато рухомих елементів та потребують встановлення полів фільтрації води при цьому забезпечують добування сапропелю у вигляді пульпи [1, 3, 4], для окремих з них потрібно осушувати водойму, а для окремих додатково постійно доливати (робота ведеться з утворенням пульпи) [7]. В більшості вони впливають на порушення екосистеми озера і несуть за собою катастрофічні екологічні наслідки та не задовольняють вимоги до добутого сапропелю, як сировини для виготовлення органічних добрив.

Пошук потрібних конструкцій машин для добування сапропелю з відсутністю перелічених недоліків зайшов у глухий кут. Тому виникає необхідність у подальшому удосконаленні пневматичної технології добування сапропелів з підводних родовищ та проектуванні нових машин (засобів і забірних пристроїв), які б при цьому забезпечували високу продуктивність при мінімальних енергетичних витратах, відповідали вимогам до очищення озер від органічних покладів, а також забезпечували б якісною органічною сировиною підприємства для виготовлення добрив. Не менш важливими при розробці таких машин є приділення уваги питанню унеможливлення проблем на екологічному рівні.

**Формування цілей роботи.** Обґрунтувати ефективність вибору пневматичної технології для

очищення озер від органічного сапропелю для формування добрив на основі конструктивних рішень з використанням екологічних вимог.

**Основна частина.** Визначивши динаміку і основні напрямки використання природного ресурсу та незадовільну роботу проаналізованих машин пропонується використовувати пневматичну технологію з подальшим удосконаленням. Застосування пневматичних машин для роботи з дрібнодисперсними речовинами потребують специфічного підходу та вимагають неабияких конструктивних рішень, тому зупинимось на конструкціях, які базуються на використанні енергії стисненого повітряного потоку. Такі машини працюють за рахунок подачі і виходу стиснутого повітря та формуванні двофазного середовища, де роботу по розпушенню, та заборі сапропелю з підводних родовищ виконує струмінь стиснутого повітря, а транспортування до надводної поверхні – снаряд. Використання машин, які працюють по такому принципу роботи дає різке зниження енергетичних витрат на отримання одиниці продукції в порівнянні з відомими машинами, які працюють на території Волинської області, а годинна продуктивність при прямих затратах в 1,73 грн. становить 1т. сапропелю вологістю  $W=85...95\%$  на суху речовину. Добування при таких затратах відбувається з глибини 3..5м з врахуванням 1м водного дзеркала, а час 15...18 хвилин [8]. З принципом роботи та фізичною моделлю процесу найпростішої конструкції пневматичного забірної пристрою можливо ознайомитись у [9].

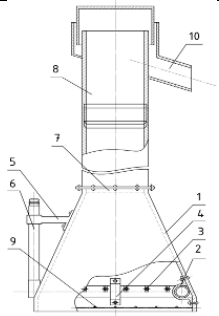
Основну увагу при створенні таких машин слід віднести проектуванню забірної частини так званим змішувачам, адже головні процеси забору і розрихлення відбуваються саме в них. Згідно правильного вибору параметрів змішувача по діаметру підбирається піднімальний трубопровід який з узгодженням глибини добування (довжиною) комплектується із змішувачем і формує забірний пристрій.

До основних переваг пневматичних сапропеледобувних засобів слід віднести: простоту конструкції; малу операційність; відсутність потреби в осушуванні і доливанні водою; можливість добування сапропелю природної вологості з потрібної глибини середнього шару. Також забезпечується присутність повної автоматизації процесу з високими показниками герметичності системи. Хороші санітарно-гігієнічні умови, добре поєднані з іншими технологічними процесами, незначні енергетичні затрати на одиницю добутого матеріалу, низькі експлуатаційні витрати а також зменшення металоємкості устаткування, з можливістю застосування полімерних та композитних матеріалів. Всі ці показники позитивно впливають на процес добування в результаті якого отримується якісна сировина, що в майбутньому підвищить показники родючості ґрунту.

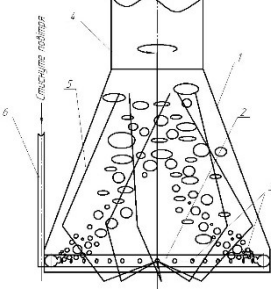
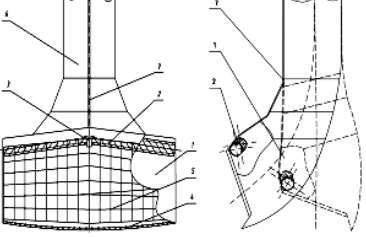
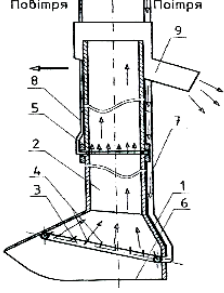
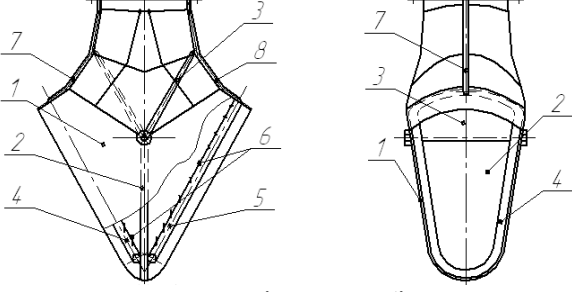
Створення альтернативних високоефективних пневматичних забірних пристроїв, які входять до складу засобу (машин) передбачає виконання різноманітних конструктивних схем, які на нашу думку їх можна було б економічно-доцільно застосовувати для різного роду родовищ. Це пов'язано з глибиною залягання покладів, масштабами озера, забрудненістю рослинним покривом, рельєфом дна, цільовим призначенням сапропелю тощо.

Окремі схеми конструкцій забірних пристроїв та змішувачів, засобів для пневматичного добування сапропелю наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Конструктивні особливості пневматичної технології добування сапропелю

№ п/п	Конструктивні схеми змішувачів та забірних пристроїв	Характеристики конструкції
1	2	3
1.	 <p>Забірний пристрій з пасивним розрихлювачем [10]: 1 – корпус; 2 – повітропровід з соплами 3; 4, 5 – кронштейни; 6 – магістраль подачі повітря; 7 – вихідне вікно; 8 – піднімальний трубопровід; 9 – захисна решітка; 10 – вивідний рукав</p>	<p>Найбільш перспективна конструкція з точки зору мінімізації, простоти та низьких енергетичних затрат, застосовується для розвідувальних робіт, або на малих озерах. Забірний пристрій містить пасивний пневматичний розрихлювач, дозволяє добувати поклади природної вологості середнього шару, забезпечує інтенсифікацію процесу при цьому не впливає на порушення екосистеми водою та не збовтує воду з пелогеном. Спосіб пересування воронковий з переміщенням у середовищі сапропелю без контакту з водою.</p>



№ п/п	Конструктивні схеми змішувачів та забірних пристроїв	Характеристики конструкції
1	2	3
2.	 <p>Пневматичний змішувач з фрезерним розрихлювачем [11]: 1 – корпус; 2, 3 – напірний трубопровід з соплами; 4 – піднімальний трубопровід; 5 – фреза; 6 – магістраль подачі повітря.</p>	<p>Конструкція призначена для добування сапропелів із завмерлих озер, де містяться невеликі водні залишки та значні рослинні забруднення. Містить ріжучу фрезу, яка подрібнює рослинний шар сапропелю, а також розрихлює нижні злежані сапропелеві поклади з метою покращення їх подальшого пневматичного піднімання до надводної поверхні. Ріжуча фреза приводиться в обертний рух шляхом потрапляння потоку стиснутого повітря, на бічну поверхню, при цьому утворює завихрюваний рух.</p>
3.	 <p>Забірний пристрій з активним нагнітачем [12]: 1 – корпус; 2 – нагнітач; 3 – турбіна; 4 – розрихлювач; 5 – захисна решітка 6 – піднімальний трубопровід; 7 – магістраль подачі повітря.</p>	<p>Конструкція даного пристрою дозволяє збільшувати робочу ширину захвату на великих територіях родовищ з підвищеною глибиною залягання, а пневматичний активний нагнітач забезпечує якісне розрихлення та примусове нагнітання покладів до піднімального трубопроводу. Спосіб пересування – траншейний.</p>
4.	 <p>Забірний пристрій для глибинних робіт [13]: 1 – корпус; 2 – трубопровід; 3 – напірний трубопровід; 4 – сопла; 5 – транспортуючий нагнітач; 6 – захисна решітка; 7, 8 – магістралі подачі повітря; 9 – вивідний рукав.</p>	<p>Забірний пристрій застосовується для добування сапропелів з глибоководних озер відрізняється тим, що містить пневматичний транспортуючий нагнітальний пристрій (ежектор), який встановлений у піднімальному трубопроводі на певній висоті. Ежектор в свою чергу доповнює і підвищує виштовхувальну енергію повітря залежно від глибини їх може бути кілька. Спосіб пересування – траншейний.</p>
5.	 <p>Пневматичний змішувач забірного пристрою: 1 – корпус; 2 – перегородка; 3 – рухома заслінка; 4, 5 – напірні повітропроводи; 6 – сопла; 7, 8 – магістралі подачі повітря.</p>	<p>Застосування даного змішувача дозволяє підвищити ефективність роботи збільшивши ширину захвату сапропелю за один прохід відповідно використовуючи папілонажний спосіб переміщення. На відміну від воронкового способу розробки родовищ використання такого змішувача підвищує продуктивність, оскільки виключаються енергозатрати на піднімання та перестановку, а при комплектуванні змішувача піднімальним трубопроводом з ежектором забезпечить збільшення глибини розробки.</p>



Прості конструкції пристроїв забезпечують виконання складних декількох операцій зокрема розрихлення, забір і піднімання. Запропоновані схеми можуть доповнювати одна одну заради підвищення продуктивності і ефективності роботи, та корегуватись в залежності від вибору озер та призначення добутих покладів. За даними конструктивними схемами можливо проектувати машини по добуванню сапропелів безпосередньо для прямого внесення в ґрунт, як добрив; для очищення і відновлення акваторій озер; для промислового використання сировини, тощо, при цьому мати екологічно безпечні наслідки після роботи.

Відповідно до складу пневматичного засобу для добування сапропелю слід віднести: плавзасіб, забірний пристрій, механізм транспортування сапропелів до берега, джерело енергії, компресор та піднімальний пристрій-маніпулятор (рис. 1.). Для транспортування сапропелів до берега також можна використовувати баржу, але це здорожчить добувний процес оскільки появляється додаткова розвантажувальна операція, а застосування забірних пристроїв за траншейного способу переміщення та розробки покладів забезпечить відсутність маніпулятора.

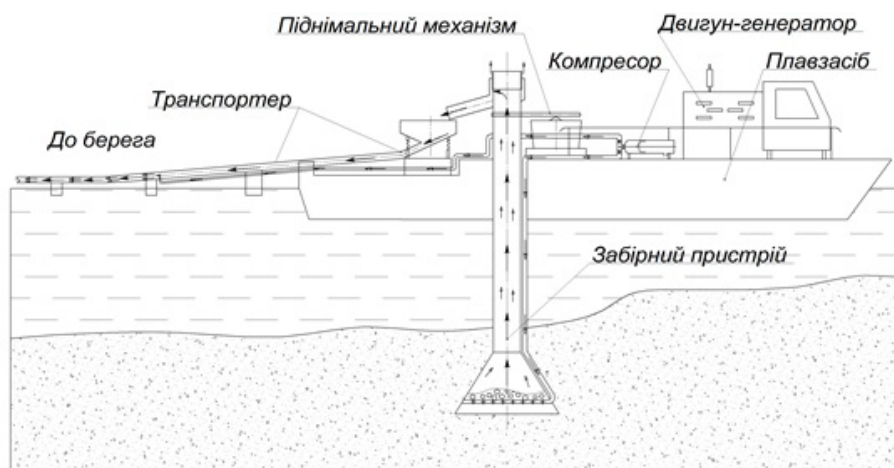


Рисунок 1. Схема пневматичного засобу для добування сапропелю

В свою чергу механізм транспортування добутих сапропелів з підводних родовищ до берега інакше поплавковий пневматичний транспортер складається з рамного приймального вібро-бункера, транспортуючого трубопроводу, ежекторного пристрою та підтримуючих поплавків.

Вібро-бункер призначений для постійного заповнення свіжодобутих сапропелем початкового відрізка похилого трубопроводу-транспортера. Даний відрізок трубопроводу знаходиться під кутом нахилу горизонту  $\alpha=20^\circ \dots 30^\circ$  на відстані між бункером та ежектором  $l=2,5 \dots 3$  м. Ежекторний пристрій встановлений у місці переходу транспортуючого трубопроводу з похилого положення у горизонтальне, тобто зона контакту трубопроводу з водним дзеркалом та призначений для штовхання сапропелю, який потрапляє з бункера до трубопроводу за допомогою вібрації. Ежекторних пристроїв в залежності від дальності транспортування може бути кілька, вони встановлюються у транспортуючому трубопроводі на певних відстанях – для підвищення виштовхувальної сили повітря.

Виконання бункера вібраційним дає можливість безперебійно подавати сапропель по похилому трубопроводі до ежектора, чим забезпечується унеможливлення втрат стиснутого повітря через бункер, що виходить з сопла ежектора.

Застосування пневматичного транспортування добутих сапропелів до берега на зміну транспортування баржою і насосами, підвищує технологічну ефективність засобу а також знижує енергетичні витрати та дає можливість вести розробки покладів на необмежених відстанях від берега.

Як результат на основі засобу для добування сапропелю такий процес можна назвати пневматичним добуванням а технологію – пневматичною.

**Висновки:** Застосування даної технологія дозволить знизити економічні та енергетичні затрати при добуванні озерних сапропелів при цьому забезпечить сільське господарство якісною органічною сировиною для формування добрив. Негайне та інтенсивне впровадження засобів покращить екологічну ситуацію заболочених озер та дасть можливість їм відновлюватись, а також зробить перший крок до розвитку еколого-орієнтованого добування сапропелю.

Розробка може додаватись та використовуватись у створенні екологічних паспортів заповідних територій у розділах планування природоохоронних заходів та особливості природоохоронної

діяльності.

1. Канатна установка для добування сапропелю [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/17365/4/Conf\\_2016\\_Nevko\\_B-Rope\\_RIG\\_for\\_sapropel\\_29-30\\_COVER.jpg](http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/17365/4/Conf_2016_Nevko_B-Rope_RIG_for_sapropel_29-30_COVER.jpg)
2. Технологія добычи і переробки сапропелю [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://z.mz.ua/tekhnologii-primeneniya/tekhnologiya-dobychi-i-pererabotki-sapropelya>
3. Добувний модуль озерних сапропелів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uapatents.com/2-62869-dobuvnij-modul-ozernikh-sapropeliv.html>
4. Дослідження добування озерного сапропелю з-під шару води та його використання під час виробництва органічних добрив [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.agrmash.info/zb/29/23.pdf>
5. Технические характеристики и принципы работы ПКН [Электронной ресурс]. – Режим доступу: <http://www.pneuma.lv>
6. Булік Ю.В. Обґрунтування процесу і параметрів механізму для добування сапропелю: дис. ... кандидата техн. наук: 05.05.11 / Булік Юрій Володимирович. – Луцьк, 2005. – 135 с.
7. Патентний пошук в РФ новые патенты, заявки на патент библиотека патентов на изобретения [Электронной ресурс]. Режим доступу: <http://www.freepatent.ru/MPK/E/E02/E02F/E02F3/E02F388>
8. Хомич С.М. Обґрунтування параметрів забірної пристрою засобу для добування сапропелю: дис. ... кандидата техн. наук: 05.05.11 / Хомич Сергій Миколайович. – Тернопіль, 2005. – 198 с.
9. Хомич С.М. Фізична модель пневматичного пристрою (ерліфта) для добування сапропелю / С.М. Хомич, І.Є. Цизь, С.Б. Артинюк // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. статей. - Вип. 21. – Т. II – Луцьк 2011. – С. 166-172.
10. Пат. 39044 України, E02F 3/08. Забірний пристрій / Цизь І.Є., Хомич С.М.; ЛНТУ. – №u200810917; заявл. 05.09.2008; опубл. 26.01.2009, Бюл. №2.
11. Пат. 99506 України, МПК E02F 3/08. Забірний пристрій / Хомич С.М., Цизь І.Є., Трохимчук Р.М.; заявник і патентовласник Луцький НТУ. – №u201413475; заявл. 15.12.2014; опубл. 10.06.2015, Бюл. №11.
12. Пат. 51535 Україна, E02F 3/08. Забірний пристрій / Хомич С.М., Цизь І.Є.; заявник і патентовласник Луцький НТУ. №u200913475; заявл. 24.12.2009 опубл. 26.07.2010, Бюл. №14.
13. Пат. 72008 України, МПК E02F 3/08. Забірний пристрій / Хомич С.М.; заявник і патентовласник Луцький НТУ. – №u201112474; заявл. 24.10.2011; опубл. 10.08.2012, Бюл. №15.

## REFERENCES

1. Kanatna ustanovka dlya dobuyannya sapropelyu [Elektronny`j resurs]. – Rezhym`m dostupu: [http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/17365/4/Conf\\_2016\\_Nevko\\_B-Rope\\_RIG\\_for\\_sapropel\\_29-30\\_COVER.jpg](http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/123456789/17365/4/Conf_2016_Nevko_B-Rope_RIG_for_sapropel_29-30_COVER.jpg)
2. Texnologiy`ya dobychy` y` pererabotky` sapropelya [Elektronny`j resurs]. – Rezhym`m dostupu: <http://z.mz.ua/tekhnologii-primeneniya/tekhnologiya-dobychi-i-pererabotki-sapropelya>
3. Dobuvny`j modul` ozerny`x sapropeliv [Elektronny`j resurs]. – Rezhym`m dostupu: <http://uapatents.com/2-62869-dobuvnij-modul-ozernikh-sapropeliv.html>
4. Doslidzhennya dobuyannya ozernogo sapropelyu z-pid sharu vody` ta jogo vy`kory`stannya pid chas vy`robny`chstva organichny`x dobry`v [Elektronny`j resurs]. – Rezhym`m dostupu: <http://www.agrmash.info/zb/29/23.pdf>
5. Texny`chesky`e karaktery`sty`ky` y` pry`ncy`ry` raboty` PKN [Elektronny`j resurs]. – Rezhym`m dostupu: <http://www.pneuma.lv>
6. Bulik Yu.V. Obg`runtuvannya procesu i parametriv mexanizmu dlya dobuyannya sapropelyu: dy`s. ... kandy`data techn. nauk: 05.05.11 / Bulik Yuriy Volody`my`rovych. – Lucz`k, 2005. – 135 s.
7. Patentny`j pou`sk v RF novye patenty, zayavky` na patent by`bly`oteka patentov na y`zobreteny`ya [Elektronny`j resurs]. – Rezhym`m dostupu: <http://www.freepatent.ru/MPK/E/E02/E02F/E02F3/E02F388>
8. Xomy`ch S.M. Obg`runtuvannya parametriv zabirnoho pry`stroyu zasobu dlya dobuyannya sapropelyu: dy`s. ... kandy`data techn. nauk: 05.05.11 / Xomy`ch Sergij My`kolajovy`ch. – Ternopil`, 2005. – 198 s.
9. Xomy`ch S.M. Fyzy`chna model` pnevmaty`chnogo pry`stroyu (erlifita) dlya dobuyannya sapropelyu / S.M. Xomych, I.Ye. Cy`z`, S.B. Arty`nyuk // Sil`s`kogospodars`ki mashy`ny`: Zb. nauk. statej. - Vy`p. 21. – Т. II – Lucz`k 2011. – S. 166-172.
10. Pat. 39044 Ukrayiny`, E02F 3/08. Zabirny`j pry`striy` / Cy`z` I.Ye., Xomy`ch S.M.; LNTU. – #u200810917; zayavl. 05.09.2008; opubl. 26.01.2009, Byul. #2.
11. Pat. 99506 Ukrayiny`, MPK E02F 3/08. Zabirny`j pry`striy` / Xomy`ch S.M., Cy`z` I.Ye., Troxy`mchuk R.M.; zayavny`k i patentovlasny`k Lucz`ky`j NTU. – #u201413475; zayavl. 15.12.2014; opubl. 10.06.2015, Byul. #11.
12. Pat. 51535 Ukrayina, E02F 3/08. Zabirny`j pry`striy` / Xomy`ch S.M., Cy`z` I.Ye.; zayavny`k i patentovlasny`k Lucz`ky`j NTU. – #u200913475; zayavl. 24.12.2009 opubl. 26.07.2010, Byul. #14.
13. Pat. 72008 Ukrayiny`, MPK E02F 3/08. Zabirny`j pry`striy` / Xomy`ch S.M.; zayavny`k i patentovlasny`k Lucz`ky`j NTU. #u201112474; zayavl. 24.10.2011; opubl. 10.08.2012, Byul. #15.

**Хомич С.М., Цизь І.Є., Павлік В.А. Технологические особенности пневматической добычи озерного сапропелю**

В статье усовершенствована технология и приведены отдельные конструкции заборных устройств пневматического добычи озерного сапропелю для изготовления удобрений. Результаты исследований показали, что применение данной технологии позволит снизить экономические и энергетические затраты при добыче залежей в сравнение с машинами-аналогами. Предложенные машины улучшат экологическую ситуацию заболоченных озер и дадут возможность им восстанавливаться, а добытый сапропель в составе удобрений повысит показатели плодородия почвы.

**Ключевые слова:** сапропель, пневматическая технология, заборное устройство, органические удобрения, конструктивная схема, озеро, экологические последствия.

**S. Khomych, I. Tsiz' V. Pavlik. Technological basis of pneumatic extraction of lake sapropel**

In this article technology has been improved and given some constructions of intake device the pneumatic extraction of lake sapropel for fertilizers.

This article provides improved technology and some construction fence devices pneumatic extraction lake sapropel fertilizer. The results showed that the use of these machines will reduce the economic and energy costs when extracting in comparison with engines counterparts. Also determined that these machines will improve the environmental situation wetlands and lakes and it will enable them to recover and extracted sapropel fertilizers consisting rates increase soil fertility.

**Keywords:** sapropel, pneumatic tekhnology, intake device organic fertilizers, constructive scheme.

**АВТОРИ:**

*ХОМИЧ Сергій Миколайович*, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри інженерного та комп'ютерного забезпечення АПК, Луцький національний технічний університет e-mail: smhh@mail.ru.

*ЦИЗЬ Ігор Євгенович*, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інженерного та комп'ютерного забезпечення АПК, Луцький національний технічний університет e-mail: lab-amb@ukr.net.

*ПАВЛІК Віталій Анатолійович*, начальник Ветлівського природоохоронного науково-дослідного відділення НПП «Прип'ять-Стохід».

**АВТОРЫ:**

*ХОМИЧ Сергей Николаевич*, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры инженерного и компьютерного обеспечения АПК, Луцкий национальный технический университет e-mail: smhh@mail.ru.

*ЦИЗЬ Игорь Евгеньевич*, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерного и компьютерного обеспечения АПК, Луцкий национальный технический университет e-mail: lab-amb@ukr.net.

*ПАВЛИК Виталий Анатольевич*, начальник Ветливського природоохоронного науково-исследовательского отделения НПП «Припять-Стоход».

**AUTHORS:**

*Serhii KHOMUCH*, Candidate of Technical Science, Senior librarian of engineering and computer providing Agro Industry, Lutsk National Technacal University.

*Igor TSIZ'*, Candidate of Technical Science, associate professor of engineering and computer providing Agro Industry, Lutsk National Technacal University.

*Vitalii PAVLIK*, The head of environmental research department of NPP "Pripyat Stochid" in Vetly.

Стаття надійшла в редакцію 11.05.2017р.

Шведик М.С., Гунько Ю.Л.  
*Луцький національний технічний університет,*  
Теслюк В.В.  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

## ВИЗНАЧЕННЯ УСТАНОВОЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛЕМЕША КАРТОПЛЕКОПАЧА З КОНІЧНО-СПІРАЛЬНИМ СЕПАРАТОРОМ

У статті наведено опис конічно-спірального сепаратора картоплекопача, розглянуто його технологічний процес та наведено схему взаємного розміщення лемеша і сепаратора. Встановлено, що на якість технологічного процесу картоплекопача впливають його конструктивні і технологічні параметри, зокрема розміщення точки входу лемеша в сепаратор та точка, яка визначає висоту падіння вороху з лемеша на твірну сепаратора, а також кут нахилу лемеша до горизонту. Обґрунтовано, що при недостатньому зазорі між лемешем і сепаратором не буде вільного простору для розміщення внутрішніх спіралей сепаратора, а недостатня висота падіння пласта на поверхню сепаратора не сприятиме його руйнуванню. При цьому недостатня довжина  $l_2$  гребінки лемеша негативно впливає на просіювання дрібних частинок ґрунту крізь прогалини між прутками, тому частина вороху буде зсіпатись разом з бульбами на поверхню поля. Встановлено залежність довжини лемеша від конструктивно-технологічних параметрів сепаратора та товщини пласта і глибини залягання бульб від основи гребеня. Наведено аналітичні залежності, які дають можливість з достатньою точністю визначити значення основних конструктивних параметрів лемеша та його установки відносно сепаратора.

**Ключові слова:** ґрунт, ворох, елеватор, бульби, сепаратор, леміш, гребінка, конус, спіраль, виток, сепарація, параметри.

**Постановка та актуальність проблеми.** В господарствах України для викопування бульб картоплі найбільш широко використовують картоплекопачі просіювального типу (КТН-2В, КВП-2М, КСТ-1,4) [1,2,3,4]. Основним робочим органом таких картоплекопачів є пруткові елеватори та коливальні грохоти. В деяких конструкціях картоплекопачів для сепарації ґрунту використовують кулачкові та валкові грохоти, а для роботи у важких умовах їх обладнують кількома прутковими елеваторами (наприклад в КСТ-1,4) або бітерами, чи сепаруючими решітками [5,6].

Однак, не дивлячись на такі конструктивно-технологічні рішення, вони мають один серйозний недолік – схильні до залипання ґрунтом, а під час сходження бульб з елеватора на поверхню поля допускають їх присипання ворохом та травмування, внаслідок чого різко зростають втрати врожаю. У зв'язку з цим господарники змушені з метою збору всього врожаю ще раз по тому ж самому полю пропускати картоплекопачі, що в залежності від урожайності та ґрунтово-кліматичних умов призводить до збільшення затрат праці на збирання бульб з 70 до 130 люд.-год./га.

Намагання поліпшити процес сепарації вороху шляхом збільшення довжини елеватора бажаних результатів не дає [5,6], при цьому таке конструктивне рішення різко збільшує не тільки матеріаломісткість процесу, але і його енергомісткість.

На нашу думку, усунути зазначені недоліки можна шляхом застосування нової конструкції картоплекопача з конічно-спіральним сепаратором, який під час свого обертання забезпечує переміщення підкопаного пласта як по коловій траєкторії, так і в осьовому напрямку. При цьому, внаслідок багаторазового підйому-падіння пласта на поверхню спіралі відбувається його інтенсивне руйнування до частинок, які вільно просіюються між витками спіралі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз літературних джерел, приурочених питанням викопування картоплі картоплекопачами, показує, що вони є достатньо вивчені. На основі результатів досліджень авторами [1,2,3,4,5,6,7] розроблені і запропоновані відповідні рекомендації, які знайшли своє практичне застосування під час розробки сучасних картоплекопачів.

Однак, питання, що стосуються безпосередньо визначення установочних параметрів лемеша відносно конічно-спірального сепаратора в літературних джерелах не висвітлювались, що створює певні труднощі під час розробки нової конструкції картоплекопача.

**Метою дослідження** є встановлення залежності довжини лемеша від конструктивно-технологічних параметрів сепаратора та товщини пласта і глибини залягання бульб від основи гребеня, а також установочних параметрів лемеша відносно сепаратора.

**Результати досліджень.** На нашу думку, найбільш перспективним способом підвищення ефективності сепарації вороху є застосування картоплекопача з конічно-спіральним ротором, що



обертається навколо осі нахиленій під деяким кутом до горизонту. Схема такого картоплекопача наведена на рис.1.

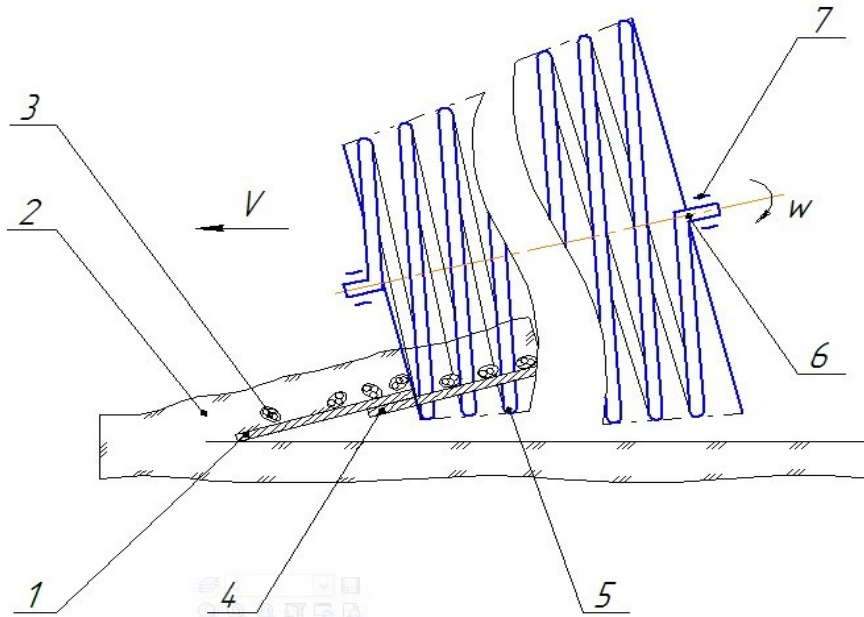


Рисунок 1.Схема технологічного процесу картоплекопача з конічно-спіральним сепаратором:

1 – леміш; 2 – пласт; 3 – бульба; 4 – гребінка; 5 – спіральний сепаратор; 6 – чапфа;  
7 – підшипниковий вузол

Технологічний процес картоплекопача протікає наступним чином. Під час руху картоплекопача леміш 1 підкопує пласт 2 з бульбами 3 і він в момент сходження з лемеша падає на спіраль 5 і руйнується. При цьому ворох, внаслідок кругового і осьового переміщення, інтенсивно переміщується, подрібнюється і просіюється між витками спіралі. Таким чином, дрібні частинки ґрунту і рослинні рештки падають на поверхню поля. При цьому бульби лягають вузьким рядком і не присипаються ґрунтом, що зручно для подальшого їх підбору.

З метою інтенсифікації процесу сепарації вороху на кінці традиційного лемеша 1 встановлено подовжувач виконаний у вигляді гребінки 4, на якій відбувається значне просіювання дрібних часток вороху ще до моменту їх сходу з лемеша і просіювання між витками спірального конуса на поверхню поля. Крім цього, кінець лемеша встановлюється відносно внутрішньої поверхні сепаратора на деякій висоті  $h$ . Таке рішення забезпечує падіння пласта на спіральну поверхню і його руйнування, внаслідок чого він розпадається на дрібні частинки, які під час обертання конуса переміщуються в коловому і осьовому напрямках, що сприяє інтенсифікації процесу сепарації вороху.

Очевидно, що на ефективність робочого процесу такого картоплекопача будуть впливати його конструктивні і технологічні параметри. Для виявлення основних параметрів, які впливають на якість технологічного процесу картоплекопача, розглянемо схему взаємного розміщення лемеша і сепаратора наведено на рис.2. З схеми видно, що на якість технологічного процесу картоплекопача впливає точка входу лемеша в сепаратор, яку позначимо символом А. Ця точка впливає на величину зазору  $\delta$  між лемешем і твірною сепаратора, а також на точку К, яка визначає висоту  $h''$  падіння вороху з лемеша на твірну сепаратора на рівні точки А у випадку горизонтального розміщення твірної сепаратора та кут  $\alpha$  нахилу лемеша до горизонту. Так, аналіз впливу цих параметрів на якість технологічного процесу показує, що при недостатньому зазорі  $\delta$  не буде вільного простору для розміщення внутрішні спіралей сепаратора (на рисунку не показані), а недостатня висота  $h''$  не сприятиме руйнуванню пласта під час його падіння на поверхню сепаратора. При цьому недостатня довжина  $l_2$  гребінки лемеша не створює сприятливих умов для просіювання дрібних частинок ґрунту між її прутками ще до моменту сходження з неї на спіраль сепаратора, що призводить до збільшення загального об'єму вороху, який подається на сепаратор.

Відстань між точкою А і центром осі обертання О сепаратора розділимо на два відрізки і позначимо їх відповідно буквами  $S$  і  $r$ . Відстань  $S = AO_1$  повинна бути достатньою для проходу пласта товщиною  $a$ , а відстань  $r = O_1O$  повинна бути достатньою для розміщення підшипникового вузла.

На підставі викладеного можемо записати, що:



де  $a$  – товщина пласта;  
 $S = a$ ,  
 $r = \frac{1}{2}d$ ,  
 тут  $d$  - діаметр корпусу підшипника.

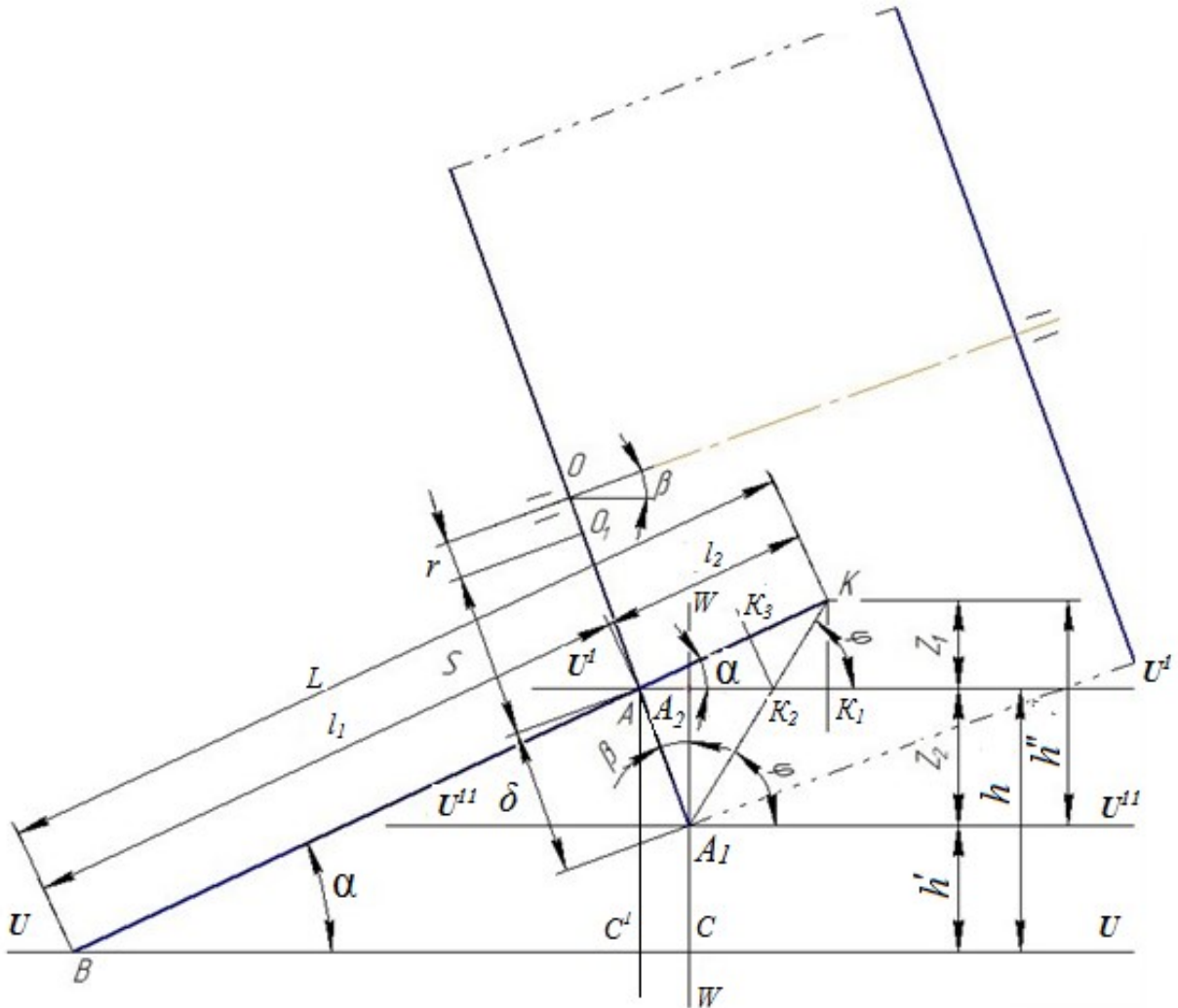


Рисунок 2. Схема до визначення установочних параметрів лемеша відносно сепаратора

Зазор  $\delta = AA_1$  між лемешем і сепаратором можна визначити за такою формулою:

$$\delta = \frac{1}{2}D - (a + r), \tag{1}$$

де  $D$  - діаметр сепаратора.

Проведемо через носок лемеша горизонтальну пряму  $u - u$ , а через точку  $A$  і  $A'$  паралельні прямі  $u' - u'$  і  $u'' - u''$ . Через точку  $A_1$  проведемо до горизонтальних прямих перпендикулярну пряму  $w - w$ . Позначимо точки перетину прямих буквами  $A_2$ , і  $C$ . З трикутника  $AA_1A_2$  знайдемо, що:

$$A_1A_2 = Z_2 = A_1A \cdot \cos \beta, \tag{2}$$

де  $\beta$  – кут нахилу вала (осі обертання) сепаратора до горизонту.

Висота  $A_1C$  повинна бути такою, щоб сепаратор не торкався поверхні поля. Мінімальне значення ця висота може мати при такій умові, що:

$$A_1C \geq h',$$

де  $h'$  - глибина залягання бульб від основи гребеня.

Тоді висоту  $h$  розміщення точки  $A$  відносно носка лемеша можна визначити за таким виразом:

$$h = h' + z_2,$$

який з врахуванням виразу (2) прийме вид:

$$h = h' + \delta \cdot \cos \beta. \tag{3}$$

Тепер визначимо довжину  $l_1$  лемеша від носка до точки  $A$ . Для цього з точки  $A$  на пряму  $U-U$  опустимо перпендикуляр і точку перетину позначимо символом  $C'$ . З  $\triangle ABC'$  видно, що:

$$l_1 = \frac{h}{\sin \alpha}.$$

Замінивши в останньому виразі  $h$  виразом (3), отримаємо:

$$l_1 = \frac{h' + \delta \cdot \cos \beta}{\sin \alpha}. \quad (4)$$

Проведемо через кінець лемеша (точка  $K$ ) пряму перпендикулярну до прямої  $u' - u'$  і позначимо точку їх перетину буквою  $K_1$ . Сполучимо точки  $K$  і  $A_1$  прямою і точку її перетину з прямою  $u' - u'$  позначимо буквою  $K_2$ . Пряма  $K_1A_1$  нахилена до горизонту під кутом  $\varphi$ , який будемо вважати рівним куту природного укусу вороху. Тепер розглянемо прямокутні трикутники  $\Delta A_1A_2K_2$  і  $\Delta KK_1K_2$ . Вони між собою подібні, оскільки кути при вершині  $K_2$  рівні.

З  $\Delta A_1A_2K_2$  знайдемо, що:

$$A_1K_2 = \frac{z_2}{\sin \varphi}, \quad (5)$$

де  $\varphi$  - кут природного укусу вороху.

З цього ж трикутника знайдемо, що:

$$A_2K_2 = \frac{A_1A_2}{\operatorname{tg} \varphi}.$$

Останній вираз з врахуванням виразу (5) можна записати так:

$$A_2K_2 = \frac{z_2}{\sin \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi}.$$

З  $\Delta AA_1A_2$  знайдемо, що:

$$AA_2 = \frac{A_1A_2}{\operatorname{ctg} \beta} = \frac{z_2}{\operatorname{ctg} \beta}.$$

Тоді можемо записати, що:

$$AK_2 = AA_2 + A_2K_2 = \frac{z_2}{\operatorname{ctg} \beta} + \frac{z_2}{\sin \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi}. \quad (6)$$

Опустимо з точки  $K_2$  перпендикуляр на сторону  $AK$  трикутника  $AKK_2$  і точку перетину позначимо буквою  $K_3$ . З цього трикутника знайдемо, що:

$$K_2K_3 = AK_2 \cdot \sin \alpha.$$

З врахуванням виразу (6) останній вираз прийме такий вигляд:

$$K_2K_3 = z_2 \left( \frac{1}{\operatorname{ctg} \beta} + \frac{1}{\sin \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi} \right) \sin \alpha. \quad (7)$$

Тепер з  $\Delta AK_2K_3$  визначимо, що  $\angle AK_2K_3 = 90^\circ - \alpha$ , а з  $\Delta AK_2K$   $\angle AK_2K = 180^\circ - \varphi$ . Тоді можемо записати, що:

$$\angle KK_2K_3 = \angle AK_2K - \angle AK_2K_3 = (180^\circ - \varphi) - (90^\circ - \alpha) = 90^\circ - \varphi + \alpha.$$

З  $\Delta KK_2K_3$  знайдемо, що:

$$KK_2 = \frac{K_2K_3}{\cos \angle KK_2K_3} = \frac{K_2K_3}{\cos(90^\circ - \varphi + \alpha)}, \quad (8)$$

а з  $\Delta KK_1K_2$  визначимо висоту катета  $KK_1$ , який рівний:  $KK_1 = z_1$ , тобто

$$Z_1 = KK_2 \cdot \sin \varphi.$$

Підставимо в останній вираз замість  $KK_2$  вираз (8), а замість  $K_2K_3$  вираз (7), і врахувавши вираз (2) отримаємо:

$$Z_1 = \frac{\delta \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta}{\cos(90^\circ - \varphi + \alpha) \cdot \left( \frac{1}{\operatorname{ctg} \beta} + \frac{1}{\sin \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi} \right)}. \quad (9)$$

Отже, висота  $h''$  падіння вороху на поверхню сепаратора на рівні точки  $A_1$  визначатиметься так:

$$h'' = Z_1 + Z_2.$$

Останній вираз з врахуванням виразів (2) і (9) остаточно прийме такий вигляд:

$$h'' = \delta \cdot \cos \beta \left[ 1 + \frac{\sin \alpha}{\cos(90^\circ - \varphi + \alpha) \cdot \left( \frac{1}{\operatorname{ctg} \beta} + \frac{1}{\sin \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi} \right)} \right]. \quad (10)$$

Довжину  $l_2$  кінця лемеша, яка входить в сепаратор визначимо з  $\Delta AK_1K$  за формулою:

$$l_2 = \frac{KK_1}{\sin \alpha} = \frac{Z_1}{\sin \alpha},$$

яка після заміни  $Z_1$  виразом (9) і після скорочень запишеться в такому вигляді:

$$l_2 = \frac{\delta \cdot \cos\beta}{\cos(90^\circ - \varphi + \alpha) \cdot \left( \frac{1}{\operatorname{ctg}\beta} + \frac{1}{\sin\varphi \cdot \operatorname{tg}\varphi} \right)}. \quad (11)$$

Отже, довжина лемеша  $L$  визначатиметься так:

$$L = l_1 + l_2,$$

або з врахуванням виразів (4) і (10) отримаємо:

$$L = \frac{h'_1 + \delta \cdot \cos\beta}{\sin\alpha} + \frac{\delta \cdot \cos\beta}{\cos(90^\circ - \varphi + \alpha) \cdot \left( \frac{1}{\operatorname{ctg}\beta} + \frac{1}{\sin\varphi \cdot \operatorname{tg}\varphi} \right)}.$$

Останній вираз із врахуванням виразу (1) запишеться так:

$$L = \frac{h'_1 + \left[ \frac{1}{2}D - a - r \right] \cdot \cos\beta}{\sin\alpha} + \frac{\left( \frac{1}{2}D - a - r \right) \cdot \cos\beta}{\cos(90^\circ - \varphi + \alpha) \cdot \left( \frac{1}{\operatorname{ctg}\beta} + \frac{1}{\sin\varphi \cdot \operatorname{tg}\varphi} \right)}. \quad (12)$$

Аналіз останнього виразу показує, що довжина лемеша прямо пропорційно залежить від діаметра  $D$  сепаратора і кута  $\beta$  його нахилу до горизонту, товщини пласта  $a$ , глибини  $h'$  залягання бульб від основи гребеня, а також радіуса  $r$  корпусу підшипника установки сепаратора і обернено пропорційно залежить від кута  $\alpha$  установки лемеша до горизонту та кута  $\varphi$  природного відкосу вороху.

Підставимо відповідні дані  $D = 0,6$  м;  $a = 0,22$  м,  $r = 0,06$  м,  $\beta = 15^\circ$ ,  $h' = 0,06$  м,  $\alpha = 15^\circ$ ,  $\varphi = 25^\circ$  у виразу (1), (2), (3), (4), (9), (10), (11) і (12) отримаємо чисельні значення установочних параметрів лемеша відносно сепаратора:

- зазор між лемешем і твірною сепаратора:

$$\delta = \frac{1}{2}0,6 - (0,22 + 0,06) = 0,02 \text{ м};$$

$$Z_2 = 0,02 \cdot \cos 15^\circ = 0,019 \text{ м};$$

- висота розміщення точки  $A$  відносно носка лемеша:

$$h = 0,06 + 0,019 = 0,079 \text{ м};$$

- висота розміщення кінця лемеша (точка  $K$ ) відносно точки  $A$ :

$$Z_1 = \frac{0,02 \cdot \sin 15^\circ \cdot \cos 15^\circ}{\cos(90^\circ - 25^\circ + 15^\circ) \cdot \left( \frac{1}{\operatorname{ctg} 15^\circ} + \frac{1}{\sin 25^\circ \cdot \operatorname{tg} 25^\circ} \right)} =$$

$$= \frac{0,02 \cdot 0,2588 \cdot 0,9659}{0,1736 \cdot \left( \frac{1}{3,732} + \frac{1}{0,4226 \cdot 0,4663} \right)} = \frac{0,005}{0,2322} = 0,022 \text{ м}.$$

- висота падіння вороху на поверхню сепаратора на рівні точки  $A_1$ :

$$h'' = Z_1 + Z_2 = 0,022 + 0,019 = 0,041 \text{ м};$$

- довжина кінця лемеша, яка входить в сепаратор:

$$l_2 = \frac{0,022}{\sin 15^\circ} = \frac{0,022}{0,2588} = 0,085 \text{ м};$$

- довжина лемеша від носка до точки  $A$ :

$$l_1 = \frac{0,06 + 0,02 \cdot \cos 15^\circ}{\sin 15^\circ} = \frac{0,06 + 0,02 \cdot 0,9659}{0,2588} = \frac{0,0793}{0,2588} = 0,3065 \text{ м};$$

- повна довжина лемеша:

$$L = 0,3065 + 0,085 = 0,392 \text{ м}.$$

Таким чином на основі отриманих результатів досліджень, можна зробити наступні

#### ВИСНОВКИ:

1. Довжина лемеша прямо пропорційно залежить від діаметра  $D$  сепаратора і кута  $\beta$  нахилу його вала до горизонту, товщини пласта  $a$ , глибини  $h'$  залягання бульб від основи гребеня, а також радіуса  $r$  корпусу підшипника установки сепаратора і обернено пропорційно залежить від кута  $\alpha$  установки лемеша до горизонту та кута  $\varphi$  природного укосу вороху.

2. Отримані аналітичні залежності (1), (2), (3), (4), (9), (10), (11) і (12) дають можливість з достатньою точністю визначити значення основних конструктивних і установочних параметрів лемеша відносно сепаратора, які відповідно становлять: зазор між лемешем і твірною сепаратора –  $\delta = 0,02$  м,  $Z_2 = 0,019$  м; висота розміщення точки  $A$  відносно носка лемеша –  $h = 0,079$  м; висота розміщення кінця лемеша (точка  $K$ ) відносно точки  $A$  –  $Z_1 = 0,022$  м; висота падіння вороху на поверхню сепаратора на рівні точки  $A_1$  –  $h'' = 0,079$  м; довжина кінця лемеша, яка входить в сепаратор –  $l_2 = 0,085$  м; довжина лемеша від носка до точки  $A$  –  $l_1 = 0,3065$  м; повна довжина лемеша –  $L = 0,392$  м.

1. Клименко В. Нова техніка і прогресивні технології в картоплярстві // *Агроекономіка*. - 2004. - № 9. - С43-44.
2. Козаченко Б.О., Кононученко В.В. Механізація виробництва картоплі. Довідник. – К.: Урожай, 1991. – 176с.
3. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. Под общ. ред. Г.Е. Листопада. М., «Колос», 1976.- 752 с.
4. Верещагин Н И., Пшеченков К.С. Рабочие органы машин для возделывания, уборки и сортировки картофеля. - М.: Машиностроение, 1965. - 266 с.
5. Герасимов А.А., Прохорова М.Ф. Особенности развития технологии уборки картофеля и конструкции картофелеуборочных машин // *Труды ВИМ*. - М., 1978. - Т. 80. - С. 41 - 52.
6. Петров Г.Д. Картофелеуборочные машины. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. - 320с.
7. Картопля / В.А. Вітенко, В.С. Куценко, М.Ю. Власенко та інш.; За редакцією В.А. Вітенка, В.С. Куценка. - К.: Урожай, 1990. - 256 с.

## REFERENCES

1. Klimenko V. Nova tehnica i progresivni tehnologii v kartopljrstvi// *Agroeconomica*. – 2004. - № 9. – p. 43-44.
2. Kozachenco B.O., Kononuchenco V.V. Mehanizacziji virobnictva kartopli. Dovidnic. – К.: Vrozaj, 191. – 176 s.
3. Silskogospodarski i meliorativnie mashinis. Pod obsh. red. G.E.Listopad. M., «Kolos», 1976. – 752 s.
4. Verezhagin N.I., Pshezhencov K,S. Rabothie organi mashinis dlji vozdelvanij, uborki i sortirovki kartofelj. – М.: Mashinostroenie, 1965. – 266 s.
5. Gerasimov A.A., Prohorova M.F. Osobennosti razvitij tehnologii uborki kartofelj i konstrukchiji kartofeleuborotzhnih mashinis // *Trudi VIM*. – М., 1978. – Т.80. S. 41 – 52.
6. Petrov G.D.. Kartofeleuborotzhnij mashinis. – 2-e izd. pererab. i dop. - М.: Mashinostroenie, 1984. – 320 s.
7. Kartoplj/ V.A. Vitenko, V.S.Kuzcenko. M.J.Vlasenko ta insh.; Za redakzciej V.A. Vitenko, V.S.Kuzcenko - К.: Vrozhaj, 1990. – 256 s.

**N.Shvedik, Y.L. Gunko, V.V. Teslyuk. Determination of the setting parameters of the share of the potato digger with a conical-spiral separator.**

The article describes the conical-spiral separator of the potato digger, examines its technological process and provides a diagram of the relative location of the share and separator. It is established that the quality of the technological process of the potato digger is affected by its design and technological parameters, in particular the location of the point of entry of the share to the separator and the point that determines the height of the heap drop from the share to the separator generator, and the angle of inclination of the share to the horizon. It is justified that, if there is insufficient clearance between the share and the separator, there will be no free space for the arrangement of the internal spirals of the separator, and not sufficient height of the fall of the formation on the surface of the separator will not contribute to its destruction. In this case, the insufficient length of the coulter's share adversely affects the sifting of soil particles between the openings of the rods, so part of the heap will be poured along with the tubers to the surface of the field. The dependence of the share on the structural and technological parameters of the separator and the thickness of the formation and the depth of bedding of tubers from the base of the crest was established. Analytical dependencies are given that allow to determine with sufficient accuracy the values of the basic design parameters of the share and its installation relative to the separator.

**Key words: soil, tubers, separator, share, comb, cone, spiral, coil, separation, parameters.**

**Н.С.Шведик, Ю.Л.Гунько, В.В.Теслюк. Определение установочных параметров лемеха картофелекопателя с коническо-спиральным сепаратором.**

В статье приведено описание коническо-спирального сепаратора картофелекопателя, рассмотрено его технологический процесс и приведено схему взаимного расположения лемеха и сепаратора. Установлено, что на качество технологического процесса картофелекопателя влияют его конструктивные и технологические параметры, в частности расположение точки входа лемеха в сепаратор и точка, которая определяет высоту падения вороха с лемеха на образующую сепаратора, а также угол наклона лемеха к горизонту. Обосновано, что при недостаточном зазоре между лемехом и сепаратором не будет свободного пространства для расположения внутренних спиралей сепаратора, а не достаточная высота падения пласта на поверхность сепаратора не будет способствовать его разрушению. При этом недостаточная длина  $l_2$

гребенки лемеха отрицательно влияет на просеивание частиц почвы между проемами прутков, поэтому часть вороха будет ссыпаться вместе с клубнями на поверхность поля. Установлено зависимость лемеха от конструктивно-технологических параметров сепаратора и толщины пласта и глубиной залегания клубней от основания гребня. Приведены аналитические зависимости, которые дают возможность с достаточной точностью определить значения основных конструктивных параметров лемеха и его установки относительно сепаратора.

**Ключевые слова:** почва, клубни, сепаратор, лемех, гребенка, конус, спираль, виток, сепарация, параметры.

**АВТОРИ:**

*ШВЕДИК Микола Степанович*, кандидат технічних наук, доцент, Луцький НТУ; e-mail: [Shvedyk\\_ms.@gmail.com](mailto:Shvedyk_ms.@gmail.com)

*ГУНЬКО Юрій Леонтійович*, кандидат технічних наук, доцент, Луцький НТУ; e-mail: [gunko.@gmail.com](mailto:gunko.@gmail.com)

*ТЕСЛЮК Віктор Васильович*, доктор технічних наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України, м.Київ, [vtesluk@i.ua](mailto:vtesluk@i.ua)

**АВТОРЫ:**

*ШВЕДИК Николай Степанович*, кандидат технических наук, доцент, Луцкий НТУ; e-mail: [shvedyk\\_ms.@gmail.com](mailto:shvedyk_ms.@gmail.com)

*ГУНЬКО Юрий Леонтьевич*, кандидат технических наук, доцент, Луцкий НТУ; e-mail: [gunko.@gmail.com](mailto:gunko.@gmail.com)

*ТЕСЛЮК Виктор Васильевич*, доктор технических наук, профессор, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г.Киев, [vtesluk@i.ua](mailto:vtesluk@i.ua)

**AUTHORS:**

*Mykola SHVEDYK*, Ph.D.Eng., Lutsk National Technical University.

*Yrij GUNKO*, Ph.D.Eng., Lutsk National Technical University.

*Viktor TESLYUK*, Ph.D.Eng., National University of Live and Environmental Sciences to Ukraine, s.Kiev.

Стаття надійшла в редакцію 11.05.2017р.



## ПЕРЕЛІК ЗОВНІШНІХ РЕЦЕНЗЕТІВ

## LIST OF INVITED REVIEWERS

**Євдокімова А.М.**, доктор технічних наук, професор, Одеська державна академія будівництва і архітектури, професор кафедри «Підйомно-транспортні, будівельні та дорожні машини», Одеса, Україна.

**Кравченко О.П.**, доктор технічних наук, професор, Житомирський державний технологічний університет, професор кафедри «Автомобілі та автомобільне господарство», Житомир, Україна.

**Налобіна О.О.**, доктор технічних наук, професор, Національний університет водного господарства та природокористування, професор кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин та обладнання, Рівне, Україна.

**Мурований І.С.**, кандидат технічних наук, доцент, Луцький національний технічний університет, завідувач кафедри автомобілі і транспортні технології, Луцьк, Україна.

**Плюський В. О.**, доктор технічних наук, професор, проректор із наукової роботи, Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ, Україна.

**Фесюк В. О.**, доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри фізичної географії Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки.

**Сахно В.П.**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Автомобілі», Національний транспортний університет, Київ, Україна

**Савуляк В.І.**, доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри Технології підвищення зностійкості (ТПЗ).

**Таран І.О.**, доктор технічних наук, професор, ДВНЗ «Національний гірничий університет», завідувач кафедри Управління на транспорті, Дніпро, Україна.

**Хайліс Г.А.**, доктор технічних наук, професор, Київ, Україна.

**Шваб'юк В.І.**, доктор технічних наук, Луцький національний технічний університет, професор кафедри технічної механіки, Луцьк, Україна

**Alla EVDOKIMOVA**, Doctor of Science in Engineering, Professor, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Professor of the department "Hoisting-and-transport, construction and road machines", ODESA, Ukraine.

**Alexander Kravchenko**, Doctor of Science in Engineering, Professor, Zhitomir state technological university, a professor of department is «Cars and motor-car economy», Zhitomir, Ukraine.

**Olena Nalobina**, Doctor of Science in Engineering, Professor, National University of Water and Environmental Engineering, Professor of Building, Road, Reclamation, Agricultural Machinery and Equipment Department, Rivne, Ukraine.

**Ihor Murovaniy**, Candidate of Science in Engineering, Docent, Lutsk National Technical University, Head of cars and transport technologies, Lutsk, Ukraine.

**Vitalii Ploskyi**, Doctor of Technical Sciences,, professor, vice rector of Research, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine.

**Vasyli FESUK**, Doctor of Technical Sciences, professor, Head of the Department of Physical Geography Eastern National University named after Lesya Ukrainka

**Volodymyr Sakhno**, Doctor of Science in Engineering, Professor, Head of Automobiles Department, National Transport University, Kiev, Ukraine

**SAVULYAK V.I.**, doctor of Science in Engineering, Professor, Vinnitsa National Technical University, Head of Technology Increase of znostiykosti (TPZ).

**Igor Taran**, Doctor of Science in Engineering, Professor, State Higher Educational Institution «National Mining University», Head of The department of Transport Control, Dnipro, Ukraine.

**Hailis G. A.**, doctor of technical Sciences, Professor, Kiev, Ukraine.

**Vasyl Shvabyuk**, DSc.-Eng., Lutsk National Technical University, Professor of the Technical Mechanics Department, Lutsk, Ukraine.

Ціна договірна

Колектив авторів

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МАШИНОБУДУВАННІ ТА ТРАНСПОРТІ**  
**ADVANCES IN MECHANICAL ENGINEERING AND TRANSPORT**

*НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ*

*SCIENTIFIC JOURNAL*

ISSN 2313-5425

**Випуск 1 (8), 2017**

**Volume 1 (8), 2017**

Видається двічі на рік

Publication Frequency: 2 issues per year

Комп'ютерний набір та верстка: В. Онищук  
Дизайн обгортки: В. Чернецький

**Матеріали друкуються в авторській редакції. За стилістику і орфографію статей відповідальність несуть автори.**

Адреса редакції:  
вул. Львівська, 75, ауд. 339, Луцьк,  
Волинська обл., Україна, 43018.  
тел. (0332) 74-61-31.  
e-mail: [tehavtomash@gmail.com](mailto:tehavtomash@gmail.com)  
<http://avtomash.lntu.edu.ua>

Підписано до друку 29.06.2017 р.  
Формат 60x84/8. Гарнітура Times. Папір офсетний.  
Ум. друк. арк. 18,37. Обл. вид. арк. 17,94. Тираж 100 прим.

Редакційно-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. № 107.  
(м. Луцьк, вул. Бойка, 1, тел. (0332)29-90-65).  
Свідоцтво Держ. комітету телебачення та радіомовлення України  
ДК № 4607 від 30.08.2013 р.